

O AGRÔNÔMICO

Boletim Técnico-Informativo do Instituto Agrônômico - Volume 75 - 2023 - Série Técnica APTA - ISSN 0365-2726

OS DESAFIOS DO

AMANHÃ

SUPERADOS HOJE



1887 - 2023
IAC 136
INSTITUTO AGRÔNOMICO ANOS



MISSÃO

Gerar e transferir ciência, tecnologia e produtos para otimização dos sistemas de produção vegetal, com responsabilidade ambiental, visando ao desenvolvimento socioeconômico e à segurança alimentar por meio da pesquisa, da formação de recursos humanos e da preservação do patrimônio.

www.iac.sp.gov.br

ÍNDICE

O Desafio da Ciência em um Mundo Faminto e em Transformação	1
Cultivares IAC	7
Descrevendo Mudanças Climáticas no Estado de São Paulo: Um Norte para Desenvolvimento de Técnicas de Resiliência	18
Ações do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Biosistemas Agrícolas e Pós-colheita Frente aos Desafios do Século XXI: Segurança Alimentar e Sustentabilidade Agrícola	30
Segurança Alimentar: Sustentabilidade e Impacto das Mudanças Climáticas na Produção Agrícola do Café	48
Mudanças Climáticas e Sustentabilidade na Cultura da Cana-de-açúcar	63
Sustentabilidade e Impacto das Mudanças do Clima na Cadeia de Produção de Citros	73
Eficiência Ambiental em Sistemas Operacionais de Produção Agrícola	86
Segurança Alimentar: Sustentabilidade e Impacto das Mudanças Climáticas na Produção Agrícola	99
Sustentabilidade e Impacto das Mudanças Climáticas na Produção de Frutas	112
Amendoim, Feijão, Milho e Sorgo: Culturas de Múltiplas Finalidades para Enfrentamento das Mudanças Climáticas	126
Segurança Alimentar: Sustentabilidade e Impacto das Mudanças Climáticas na Produção de Espécies Hortícolas	145
Desafios Tecnológicos da Agricultura Sustentável para Garantir Segurança Alimentar e Energética: Visão Estratégica do Centro de Recursos Genéticos Vegetais	171
Sistemas Sustentáveis de Produção Agropecuária e as Mudanças Climáticas	190
As pesquisas do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais para a Segurança Alimentar, Sustentabilidade e Impacto das Mudanças Climáticas	204
Visão Estratégica do Centro de Programação de Pesquisa do Instituto Agrônomo para Garantia da Produção de Alimentos Frente aos Desafios das Mudanças Climáticas e da Produção Agrícola Sustentável - Riscos e Oportunidades	220

O AGRONÔMICO

v. 75 | 2023

Editorial

Esta edição da revista O Agrônomo objetiva demonstrar o atual empenho do IAC frente aos desafios socioambientais do século XXI, com ênfase nas alterações dos padrões de clima e tempo atmosférico. Nesse contexto, são apresentados resultados de pesquisas direcionadas a minimizar o impacto agrícola das mudanças climáticas, promovendo o uso racional da água na agricultura, a segurança alimentar, a geração de emprego e renda da população brasileira e a responsabilidade ambiental. Os textos que compõem este volume levam ao conhecimento dos leitores diversas tecnologias geradas por essa instituição que buscam elevar a resiliência da agricultura paulista, brasileira e mundial frente aos cenários climáticos, ambientais e sociais das próximas décadas.

Que venham os desafios! Boa leitura!

Os editores



Governo do Estado de São Paulo
Secretaria de Agricultura e Abastecimento
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
Instituto Agrônomo

Governador do Estado de São Paulo
Tarcísio de Freitas

Secretário de Agricultura e Abastecimento
Guilherme Piai Filizzola

Secretário Executivo de Agricultura e Abastecimento
Edson Alves Fernandes

Subsecretário de Agricultura
Orlando Melo de Castro

Coordenador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
Carlos Nabil Ghobril

Diretor Técnico de Departamento do Instituto Agrônomo
Marcos Guimarães de Andrade Landell

O AGRONÔMICO
(Instituto Agrônomo)
Campinas, SP
1941-1; 1949-2011 1-63
(Série Técnica APTA)

A partir do v. 52, n. 1, faz parte da Série Técnica APTA da SAA/APTA.
A eventual citação de produtos e marcas comerciais não expressa, necessariamente, recomendação de seu uso pela Instituição.

É permitida a reprodução parcial, desde que citada a fonte.
A reprodução total depende da anuência expressa do Instituto Agrônomo.

O AGRONÔMICO
Boletim Técnico-Informativo do Instituto Agrônomo
Volume 75 - 2023
Série Técnica APTA
ISSN 0365-2726
oagronomico@iac.sp.gov.br

Editores
Gabriel C. Blain
Lúcia Helena Signori Melo de Castro
Patrícia Cia

Editoração, arte final eletrônica
Cintia Rafaela Amaro - Amaro Comunicação - Fone: (19) 99142-8371
www.digivize.com.br

Capa
Impulsa Comunicação

Revisão
Lúcia Helena Signori Melo de Castro
Silvana Aparecida Barbosa





PÁGINAS AZUIS

O Desafio da Ciência em um Mundo
Faminto e em Transformação

Paulo Herrmann

Em uma época em que as tecnologias se sucedem e ao mesmo tempo se obsoletam muito rapidamente, os desafios das instituições de PD&I crescem em importância, ainda mais as públicas, que tradicionalmente se ressentem de suporte oficial e sofrem desde a falta de recursos até a concorrência crescente com a pesquisa privada.

Por isso, ao receber o honroso convite para prefaciar esta edição histórica de *O Agrônomo*, que também marca o fechamento do exitoso ciclo da pesquisadora Lúcia Helena Signori Melo de Castro, minha amiga há 30 anos, desde os tempos do saudoso Otávio Tisselli Filho, me sinto na obrigação de trazer o olhar, sem viés ideológico, da sociedade civil, sobre a trajetória e os desafios desta Instituição

centenária, criada sob a inspiração de D. Pedro II.

Seria redundante e desnecessário ocupar este nobre espaço, para descrever toda a contribuição e importância histórica do IAC, ao longo dos 136 anos da sua existência, relacionando os ativos científicos entregues à sociedade e a sua relevância para o sucesso da EMBRAPA, que neste ano completa os seus primeiros 50 anos de existência.

Por isso, olhando para o futuro, sempre é bom lembrar que diante da inevitável explosão demográfica mundial, da sua urbanização acelerada (Figura 1) e da construção de uma enorme classe média, mormente na Ásia (Figura 2), a pressão que será exercida sobre o Brasil para a garantia da segurança alimentar mundial será imensa e implacável.

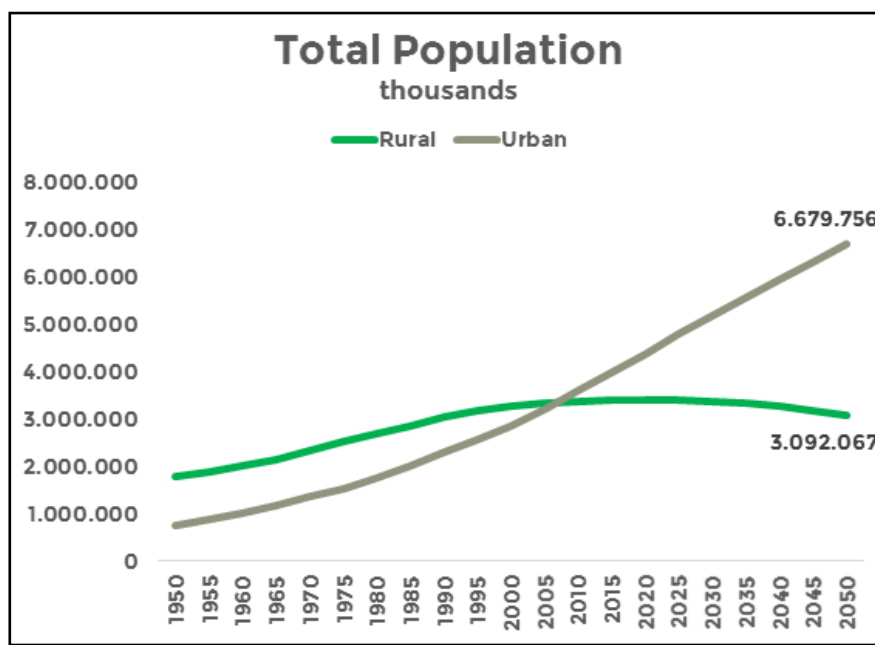


Figura 1. População total rural e urbana (em bilhões de habitantes).

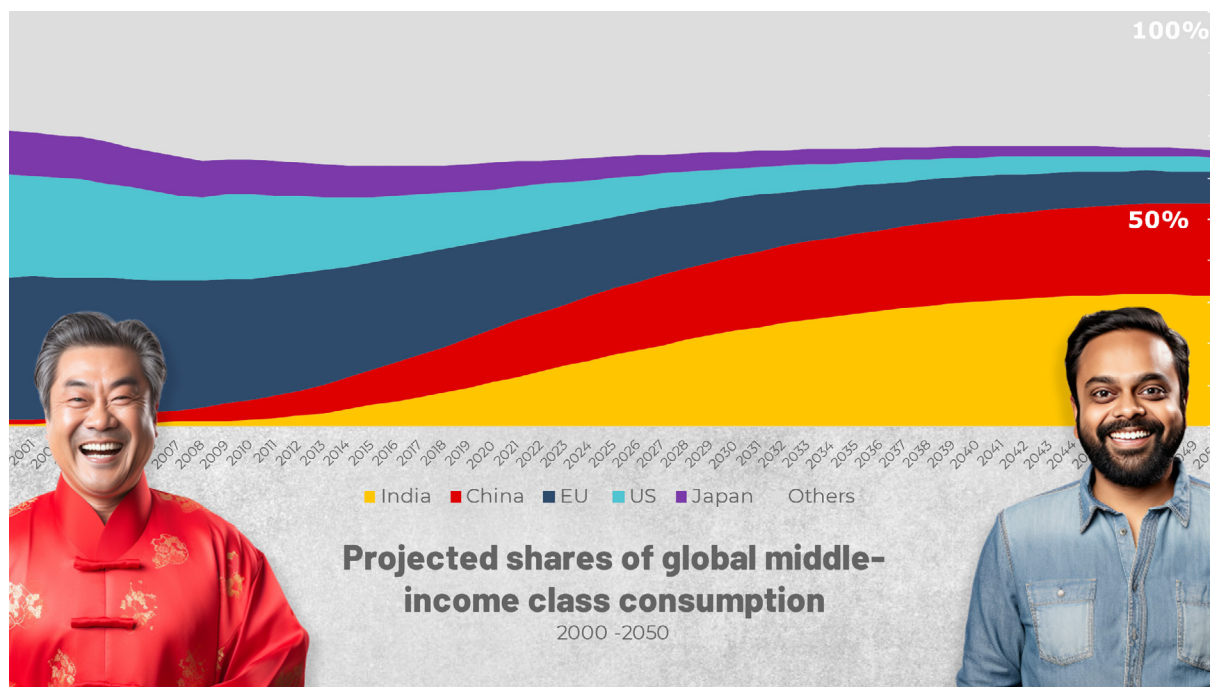


Figura 2. Participações projetadas no consumo global da classe média.

Nesse sentido, relatório do USDA alerta que o Brasil precisará aumentar a sua produção de alimentos em 41%, até a próxima década (Figura 3). Entretanto, sob a ótica da sociedade brasileira, essa pressão por mais alimentos e energia, terá que acontecer em bases decentes, que preservem nossa biodiversidade ambiental, ao mesmo tempo que crie oportunidades de emprego e renda ao povo brasileiro.

Dessa forma, de nada adiantará politizar essa discussão, já que a insegurança alimentar e energética desestabiliza governos e são um campo fértil para a desordem da população, levando as nações mais vulneráveis a

ficarem sempre a um passo de uma guerra civil. A saída para esse dilema é, sem dúvida alguma, aumentar os investimentos em uma ciência isenta e profissional, em que o Brasil tem feito enormes progressos nas últimas décadas, ainda que pesem todas as adversidades que bem conhecemos.

Apesar da enorme extensão territorial, ocupada com pastagens nativas e degradadas e da sua baixíssima capacidade de sustentação animal, ainda existem muitas oportunidades de aumentarmos nossa produção atual, sem colocar em risco o patrimônio ambiental dos nossos biomas que precisam ser protegidos e preservados (Figura 4).

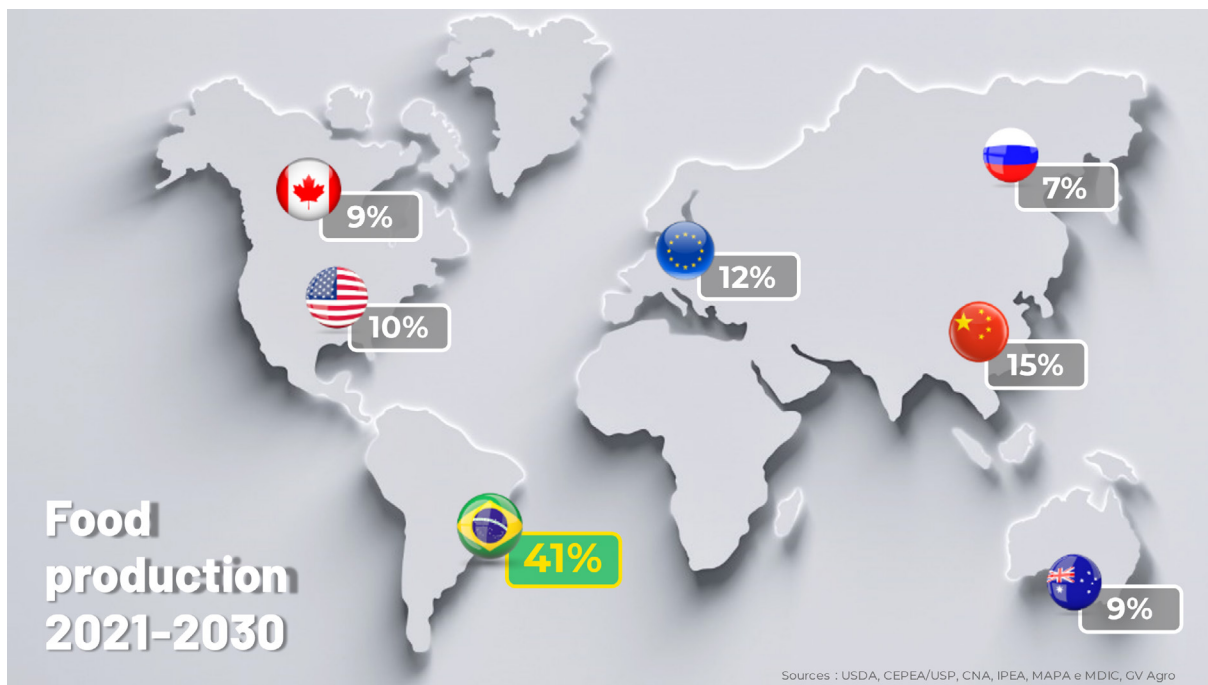


Figura 3. Projeção de necessidade de aumento da produção de alimentos para o período 2021-2030.

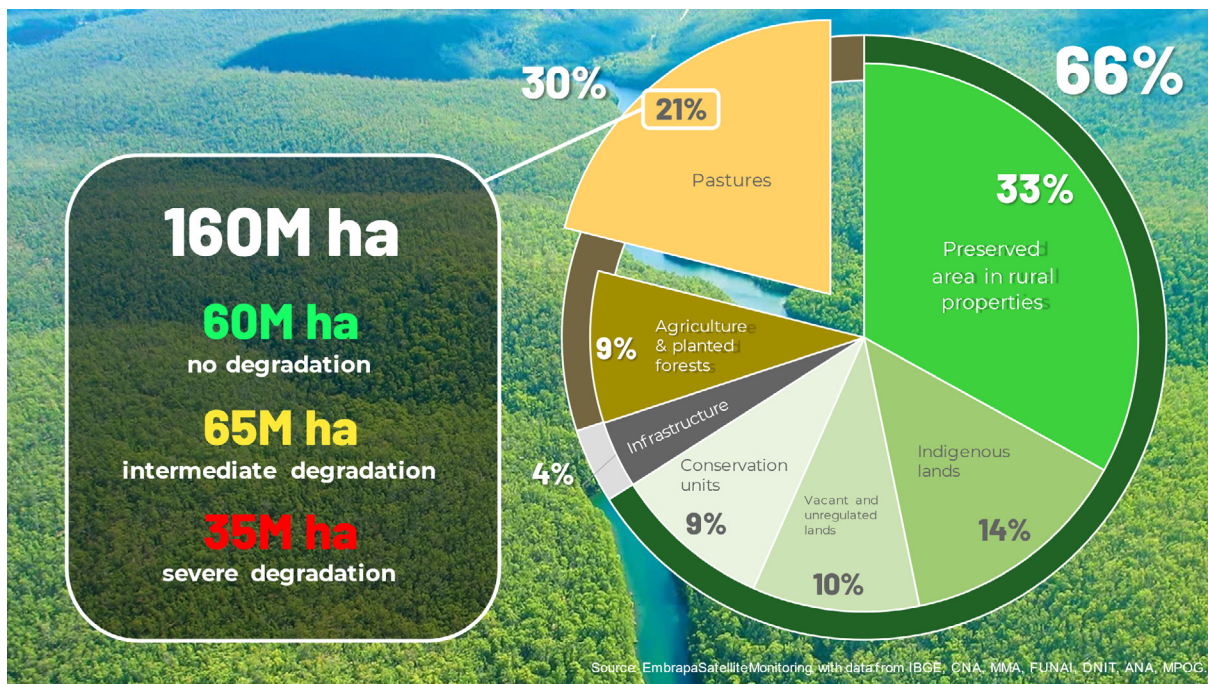


Figura 4. Quantificação territorial dos diversos usos e ocupação das terras e das áreas destinadas à preservação e proteção da vegetação nativa no Brasil.

No caso da irrigação, apenas para citar um exemplo, o Brasil irriga tão somente 10% da sua área plantada, em que pese a abundância de rios e aquíferos (Figura 5), que possuímos. Tecnologias lançadas recentemente,

como o uso de sensores de umidade do solo, da inteligência artificial e energia solar, aumentaram em muito a eficiência energética e de uso da água dos pivôs centrais produzidos no Brasil.

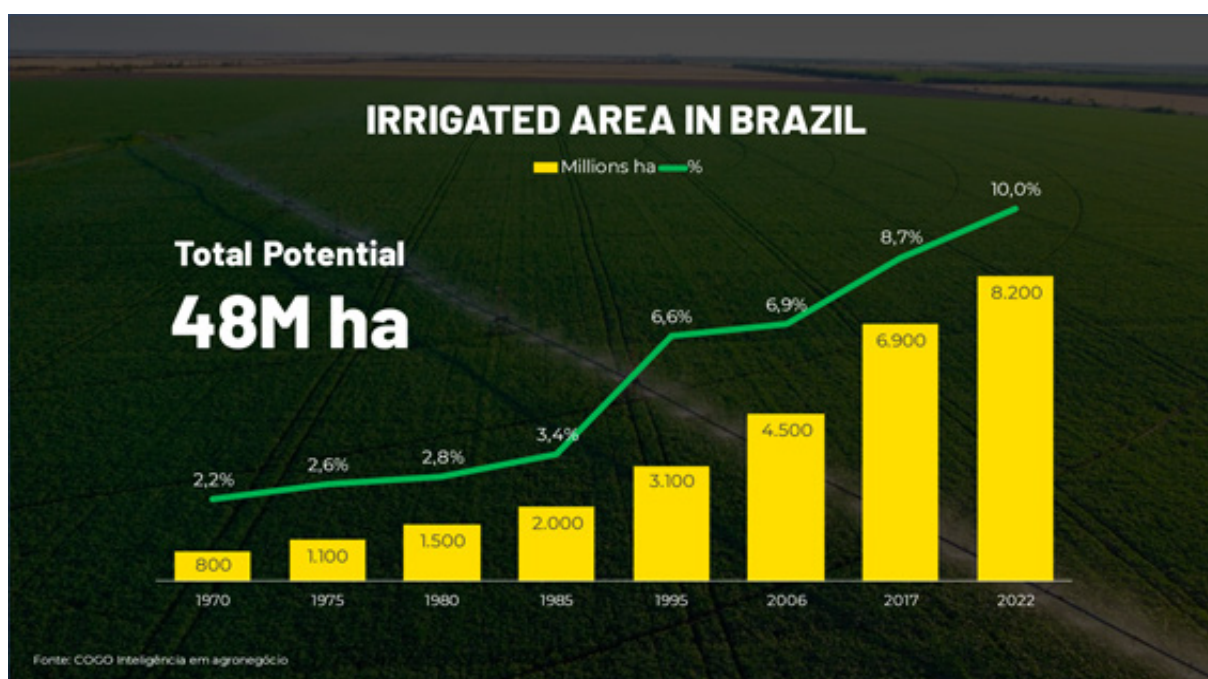


Figura 5. Avanço da área irrigada no Brasil.

Da mesma forma, com o rejuvenescimento do nosso agro, decorrente do processo de êxodo rural reverso, que ocorreu durante a pandemia, além dos jovens que retornaram às propriedades das suas famílias, reduzindo ainda mais a idade média do agricultor brasileiro

(Figura 6), estes também trouxeram consigo, milhares de startups dispostas a desenvolverem aplicativos e soluções em algoritmos que aumentem a eficiência de uso de toda a tecnologia digital, já disponível nos campos brasileiros.



Figura 6. Idade média do agricultor brasileiro.

Tudo isso, desafia as nossas instituições de PD&I, a trabalharem em rede com outras organizações públicas ou privadas, de forma a aumentarem a sinergia e a velocidade das entregas científicas para a sociedade, evitando duplicidades desnecessárias, além do barateamento do custo das nossas pesquisas.

Finalmente, no campo da sustentabilidade é importante destacar a necessidade da pesquisa levar em conta que não é possível uma agricultura ser “verde”, enquanto o produtor estiver no “vermelho” e que a sustentabilidade verdadeira ocorre somente quando combinamos a questão ambiental, com a social e a econômica.

Assim sendo, o futuro do IAC, salvo melhor juízo, passará a ser uma grande incubadora e aceleradora de startups, por

alianças sólidas com a pesquisa privada, que tragam recursos extraordinários à Instituição, por entregas mais rápidas e a menor custo à sociedade civil, e por último, por uma imperativa modernização no atual modelo de governança, aumentando a sua autonomia administrativa e financeira.

Portanto, nunca é demais lembrar que “o que trouxe o IAC até aqui, não será suficiente para levá-lo adiante na próxima jornada”.



Paulo Herrmann



CULTIVARES IAC

Adriano Tosoni da Eira Aguiar¹ e
Charleston Gonçalves²

¹ adriano.aguiar@sp.gov.br
Centro de P&D de Café “Alcides Carvalho”

² charleston.goncalves@sp.gov.br
Centro de P&D de Horticultura

O Instituto Agrônomo, em 2022, disponibilizou vinte e quatro (24) cultivares, todas atendendo às diversas cadeias produtivas do agronegócio, com características inovadoras, e outras relacionadas à produtividade, à resistência às doenças e pragas, longevidade pós-colheita e cultivo sustentável.

Cana-de-açúcar IACSP021064



Touceira com hábito de crescimento semiereto a intermediário, alta, diâmetro de colmo médio, internódios de comprimento médio, gema com fraca saliência nos nós, gema do tipo obovado, número de colmos de 12/m. Em termos gerais a cana IACSP021064 é uma cultivar para colheita no período de julho-outubro. Adaptada a diversos ambientes. Resistente às principais doenças: ferrugem, raquitismo e escaudadura, no entanto, pode ser acometida por *Ustilago scitaminea* (carvão da cana). Adaptada às regiões de Assis, Mococa e Ribeirão Preto (SP), região de Jacarezinho (PR) e regiões canavieiras do estado de Goiás.

Cana-de-açúcar IACCTC055579



Touceira com hábito de crescimento semiereto, alta, diâmetro de colmo médio, internódios de comprimento médio, gema com média saliência nos nós, gema do tipo romboide, número de colmos de 15,5/m. Sua colheita ocorre no período de julho-outubro. Adaptada à região centro-oeste do estado de São Paulo e muito provavelmente para a maioria das regiões do estado de São Paulo, assim como para Goiás, Mato Grosso e Minas Gerais. Também é resistente às principais doenças que acometem a cultura.

Cana-de-açúcar IACCTC065732



Touceira com hábito de crescimento semiereto, alta, diâmetro de colmo médio, internódios de comprimento

médio, gema com média saliência nos nós, gema do tipo romboide, número de colmos de 15/m. Sua colheita ocorre no período de julho-outubro. Apresenta comportamento responsivo quanto ao ambiente de produção, ou seja, à medida em que melhora o ambiente de produção, ocorre aumento linear de produtividade.

Cana-de-açúcar IACCTC089052



Touceira com hábito de crescimento semiereto, alta, diâmetro de colmo médio, internódios de comprimento médio, gema com fraca saliência nos nós, gema do tipo obovado, número de colmos de 14/m. Adaptada às regiões de Piracicaba, Ribeirão Preto, Jaú e Orindiúva (SP), do Centro-Sul (GO) e do Triângulo (MG). Apresenta comportamento mais rústico e estável quanto ao ambiente de produção.

Cana-de-açúcar IACSP012401



Touceira com hábito de crescimento ereto, diâmetro de colmo fino-médio, comprimento de entrenós médio, número de colmos de 15/m. Adaptada à região do município de Ribeirão Preto (SP), com potencial para outras regiões. É resistente às principais doenças da cultura.

Cana-de-açúcar IACSP015502



Touceira com hábito de crescimento semiereto a intermediário, alta, diâmetro de colmo médio, internódios de comprimento médio, arquitetura foliar arqueada, número de colmos de 14/m. Adaptada às regiões do estado de São Paulo, como o município de Ribeirão Preto (SP) e regiões canavieiras do estado de Goiás. Apresenta comportamento responsivo quanto ao ambiente de produção.

Cana-de-açúcar IACSP991352



Touceira com hábito de crescimento semiereto a intermediário, arquitetura foliar curvada na base, diâmetro de colmo médio-longo, internódios de comprimento médio, gema do tipo obovado, com presença de saliência nos nós, número de colmos de 15/m. Adaptada à região do município de Piracicaba, com potencial para outras regiões do estado de São Paulo, sendo resistente às principais doenças da cultura.

Erva-cidreira IAC Citral 1



A cultivar IAC Citral 1 é uma erva-cidreira muito aromática. Apresenta folhas ovadas (maior largura situada

próximo à base), com ápice agudo e base atenuada, em quantidade intermediária ao longo dos ramos (13,9 folhas/30 cm de caule, a partir das últimas flores). As folhas têm 53,9 mm (curtas a intermediárias) e 29,4 mm (intermediárias), com pecíolo de 5,7 mm (curto ou longo). O mercado de chás ou de produtos de infusão é expressivo no país como terapêutico e hábito social, sendo, na sua maioria de tipo citral como erva-cidreira e melissa. A *Lippia alba*, IAC Citral 1 é mais uma opção agrícola para pequenos e médios produtores rurais, incluindo agricultura familiar. Os pequenos produtores (até 50 ha) respondem por cerca 85% do agronegócio nacional.

Citrândarin IAC 3073 Barretos



Cultivar de porta-enxerto que induz, à variedade de copa, o porte semiananicante e boa qualidade de fruta. A cultivar é caracterizada como porta-enxerto para variedades copa

de citros e apresenta folhas trilobadas. O local de adaptação é representativo na região de produção comercial de laranja Pera no estado de São Paulo.

Gergelim IAC G224



A cultivar IAC G224 apresenta ciclo anual com florescimento médio aos 45 dias e maturação aos 90 dias após a emergência, altura média de planta de 95 cm e hábito de crescimento indeterminado. Apresenta sementes claras, brancas com textura rugosa e peso médio de 1.000 sementes de 3,12 gramas. Há uma forte demanda por uma cultivar com sementes de origem genética de gergelim com sementes claras/brancas para produção de grãos com alta qualidade de óleo

e também como fonte de proteína para exportação e para a ocupação do solo e rotação de culturas com baixo investimento em adubação e demais tratos culturais.

Gergelim IAC G225



Apresenta sementes marrom com textura rugosa e peso médio de 1.000 sementes de 3,12 gramas. A forte demanda de novas cultivares de gergelim para a cadeia produtiva de pulses, bem como a demanda desse produto para exportação, são fatores relevantes. Também haverá o estímulo no uso de sementes legal no sistema de produção e redução no uso de sementes salvas e de baixa qualidade.

Gergelim IAC G226



Possui ciclo anual com florescimento médio aos 45 dias e maturação aos 95/100 dias após a emergência, altura média de planta de 110 cm e hábito de crescimento indeterminado. Apresenta sementes pretas com textura rugosa e peso médio de 1.000 sementes de 3,31 gramas. Cultivar indicada para a região Sul/Sudeste (PR, SP e MG), região Centro-Oeste e Norte, especificamente nos estados de MT, MS, GO, BA, TO, PA e DF, bem como nos estados da região Nordeste do Brasil.

Batata-doce ornamental IAC Claudia



Caracterizada por possuir ápice não enroscante, folhas hastadas com três lobos moderados, sendo o lobo central da folha com formato semielíptico. Suas folhas apresentam coloração verde com extremidade roxa tornando-se verdes, nervuras verdes em ambas as faces da folha, tamanho médio da folha de 10,17 cm. O pecíolo da folha possui coloração verde com roxo próximo à folha; as ramas são semieretas (comprimento varia de 75 a 150 cm), cuja coloração é verde com manchas roxo-escuras na face voltada para cima. Trata-se de uma novidade para o mercado de flores e plantas ornamentais, com possibilidade de uso no paisagismo e como plantas envasadas. O setor apresenta demanda por cultivares de batata-doce ornamental que seja nacional, com boa adaptabilidade ao clima local.

Batata-doce ornamental IAC Katherine



Cultivar com ápice não enroscante, folhas cordatas com um lobo muito superficial, sendo o lobo central da folha com formato dentado. Suas folhas apresentam coloração verde com extremidade roxa tornando-se verdes, nervuras verdes em ambas as faces da folha, tamanho médio da folha de 10,68 cm. O pecíolo da folha possui coloração verde com roxo próximo à folha; as ramas são eretas (comprimento inferior a 75 cm), cuja coloração é verde com poucas manchas roxas na face voltada para cima.

Batata-doce ornamental IAC Mara



Apresenta ápice não enroscante, folhas quase divididas com cinco lobos bastante profundos, sendo o lobo central da folha com formato lanceolado. Suas folhas apresentam coloração roxa na parte adaxial e verde na parte abaxial tornando-se verdes, nervuras verdes em ambas as faces da folha, tamanho médio da folha de 12,66 cm. Trata-se de uma novidade para o mercado de flores e plantas ornamentais, com possibilidade de uso no paisagismo e como plantas envasadas. O setor apresenta demanda por cultivares de batata-doce ornamental que seja nacional, com boa adaptabilidade ao clima local.

Batata-doce ornamental IAC Mônica



Essa cultivar possui ápice não enroscante, folhas triangulares com três lobos superficiais, sendo o lobo central da folha com formato triangular. Suas folhas apresentam coloração roxa em ambas as faces da folha, tornando-se verdes com nervuras roxas na face adaxial e totalmente roxa com nervuras roxas na face abaxial, tamanho médio da folha de 12,43 cm. O pecíolo da folha possui coloração totalmente roxo; as ramas são eretas (comprimento inferior a 75 cm), cuja coloração é totalmente roxo-escura.

Batata-doce ornamental IAC Yoka



Possui ápice enroscante, folhas lobadas com cinco lobos profundos, sendo o lobo central da folha com formato elíptico. Suas folhas apresentam coloração verde com extremidade roxa, tornando-se verdes com extremidade roxa e manchas roxas na base da nervura

principal, tamanho médio da folha de 10,04 cm. O pecíolo da folha possui coloração totalmente roxa; as ramas são semieretas (comprimento entre 75 e 150 cm), cuja coloração é totalmente roxa com pontas verdes. O seu florescimento é favorecido em épocas de dias longos. Não tolera geadas.

Mandioca IAC 28 Bruta



Possui plantas do tipo compacta com primeira ramificação alta > 1,20 m. Raízes tuberosas de película marrom-clara, lisa, polpa creme, formato alongado regular e pouca presença de fibras, com baixo teor de HCN. Resistência à bacteriose e responsiva à melhoria da fertilidade do solo. Apresenta alta produtividade e bom cozimento. Recomendada para mesa e para as agroindústrias de mandiocas

descascadas e pré-cozidas. Apresenta raízes com película suberosa marrom-clara, polpa creme com bom cozimento e alta produtividade no campo. Assim, gera renda no campo onde contribui para a agregação de valor por ser usada pelas agroindústrias de mandiocas descascadas e pré-cozidas.

Mandioca IAC 601 Vitaminada



Possui plantas do tipo compacta com primeira ramificação baixa >0,90 m. Raízes tuberosas de película marrom-escura, polpa amarela, formato alongado regular e pouca presença de fibras, com baixo teor de HCN. Resistência à bacteriose e responsiva à melhoria da fertilidade do solo. Apresenta produtividade média, bom cozimento e polpa rica em β -caroteno (precursor de Vitamina A). Recomendada para mesa e para as agroindústrias de mandiocas descascadas e pré-cozidas. É resistente à bacteriose. Contribui com a qualidade de vida do consumidor, por conter β -caroteno, precursor da vitamina A.

Citros IAC 281 Faustrime



Os frutos de IAC 281 Faustrime são semelhantes ao Finger Lime (limão Caviar) em forma, mas muito maiores em tamanho. Seus frutos são cilindros, verdes, mas com casca amarela quando maduros, característica possivelmente herdada do parental Limequat. A polpa e o suco são verdes. Suas plantas são de porte baixo, folhas perenes, relativamente pequenas, crescimento denso, com bastante espinhos. Suas brotações jovens são de coloração arroxeada. Planta bastante produtiva, com múltiplas floradas. Flores únicas e pequenas, de coloração branca, dependendo das condições climáticas florescem e produzem o ano todo. Nas condições climáticas de Cordeirópolis (SP), seus frutos são pequenos, mais alongados que a maioria dos citros, com dimensões ao redor de 6 cm de comprimento e 3 cm de largura, e

pesando em média 30 g. Possuem poucas sementes. A acidez do suco e sabor são similares à lima ácida Galego (*C. aurantiifolia*). Pelas características da planta e frutos pode ser usada na culinária, para aromatizar carnes, principalmente peixes ou como planta ornamental.

Provavelmente originária da China, sua árvore é anã, frequentemente sem espinhos ou com espinhos curtos e fortes. As folhas diferem das de outros kumquats, sendo muito grossas e rígidas e parcialmente dobradas longitudinalmente. Elas contêm numerosas glândulas de óleo verde-escuro.

Citros IAC 423 Meiwa



Híbrido natural entre o kumquats oval (Nagami) e redondo (Marumi). As características mais distintivas deste kumquat são a forma curta oblonga ou redonda e tamanho do fruto relativamente grande, com seções mais numerosas (geralmente sete), casca doce muito espessa e sabor comparativamente doce em relação a outras cultivares. Apresenta baixo teor de sementes, sendo que muitas frutas são sem sementes (apirenas).

Citros IAC 424



Planta de porte médio, bastante produtiva, com ramos densos, folhas cor verde-escura brilhante e poucos espinhos. As flores são brancas, similares às de outros *Citrus*, e nascem nas axilas das folhas. Dependendo de seu tamanho, a planta produz centenas e até milhares de frutos por ano. Rico em óleos essenciais, seus frutos são de cor laranja intensa, com casca muito espessa e doce e baixo número de sementes. Podem ser consumidos frescos, com a casca, ou utilizado em doces e compotas ou outros usos

na culinária. Os frutos medem em média 2,5 cm de diâmetro e 3,2 cm de comprimento, têm casca de cor alaranjada forte ou até dourada, com glândulas de óleo, poucas sementes (2,8 sementes/fruto), suco adocicado, mas com aroma forte, pouco sucoso, levemente ácido.

Maracujá IAC 1013 Laureado



É indicado principalmente para processamento industrial, apresenta polpa de coloração alaranjada intensa, que confere um diferencial de qualidade ao produto, sem adição de corantes. A polpa é bastante succulenta, brilhante, com teor de SST acima de 13 °Brix, podendo atingir 17,4 °Brix, por isso o rendimento em polpa é superior a 45%. Comercialmente, produtos derivados da polpa de coloração diferenciada atingem maior valor de mercado.

Café IAC Herculândia



IAC Herculândia é uma cultivar porta-enxerto de natureza seminal oriunda da recombinação de cinco clones de *Coffea canephora*. A cultivar apresenta resistência simultânea aos nematoides *Meloidogyne exigua*, *M. incognita* e *M. paranaensis*, sendo recomendada para uso exclusivo em enxertia do tipo hipocotiledonar com copas de cultivares de café arábica. Áreas contaminadas por nematoides, no país, vêm aumentando de forma muito rápida e acentuada e o único porta-enxerto atualmente registrado, o Apoatã IAC 2258, apresenta cerca de 20%-25% de plantas suscetíveis. Nas condições experimentais, a frequência de cafeeiros resistentes da cultivar IAC Herculândia é próxima a 95%.



INSTITUTO
AGRÔNOMICO

IAC 136 ANOS

Descrevendo Mudanças Climáticas
no Estado de São Paulo: Um Norte
para Desenvolvimento de Técnicas
de Resiliência

Gabriel Constantino Blain*, Graciela da Rocha
Sobierajski e Letícia Lopes Martins

[*gabriel.blain@sp.gov.br](mailto:gabriel.blain@sp.gov.br)

Introdução

As mudanças climáticas estão entre as maiores preocupações da sociedade moderna, tendo em vista seus severos impactos na segurança alimentar, nos desastres naturais e na sustentabilidade da agricultura. Nesse contexto, considerando que os efeitos da elevação das concentrações de gases de efeito estufa é uma realidade global (Figura 1), a comunidade científica mundial vem realizando contínuos esforços voltados à mitigação e ao

combate de alterações drásticas nos padrões de tempo e clima e de suas implicações nas atividades humanas e nos ecossistemas naturais. Um ponto fundamental associado a todas essas ações é a descrição histórica das condições meteorológicas e agrometeorológicas observadas em uma região. Essas descrições auxiliam o entendimento das mudanças que estão ocorrendo nos padrões atmosféricos e permitem situar atuais eventos extremos no contexto histórico do clima regional.

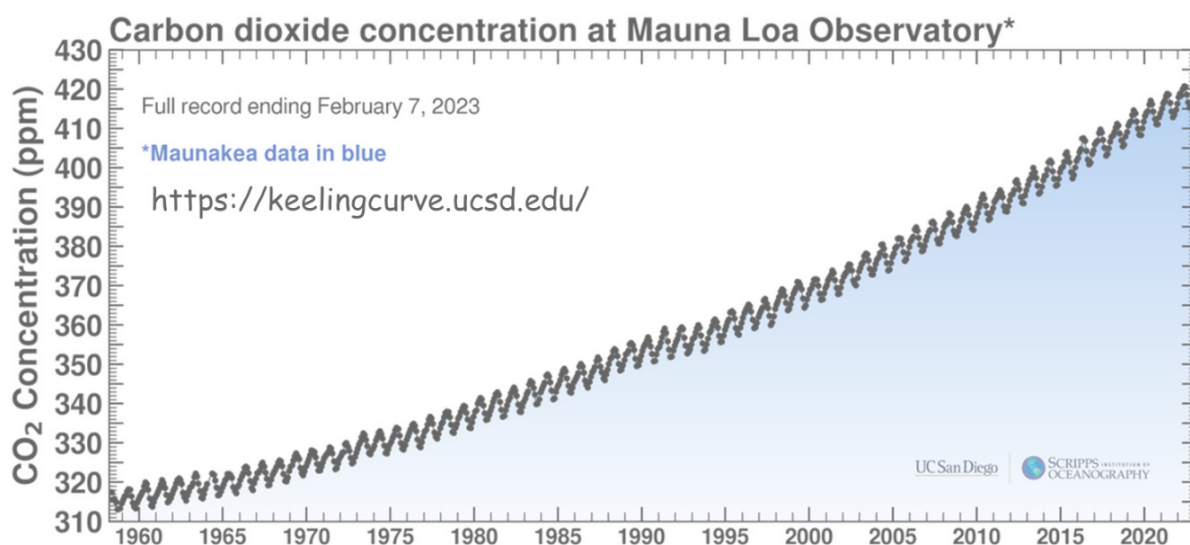


Figura 1. Elevação da concentração de dióxido de carbono na atmosfera terrestre.

Fundado em 1887, o Instituto Agrônomo (IAC) reconhece a importância do clima na produção agrícola, possuindo uma das primeiras estações meteorológicas instaladas no país (posto meteorológico de Campinas, iniciado em janeiro de 1890). Em conjunto com esse pioneirismo de medições atmosféricas, o IAC vem

continuamente trabalhando com a detecção e descrição das mudanças climáticas no estado de São Paulo. Essa ação do IAC tem permitido direcionar pesquisas institucionais voltadas à elevação da resiliência agrícola aos novos padrões climáticos. Nesse aspecto, este texto apresenta alguns resultados de pesquisas realizadas no

Instituto Agrônômico que descrevem mudanças no clima do estado de São Paulo que podem impactar a segurança alimentar e a sustentabilidade agrícola estadual e brasileira.

Estudo das mudanças climáticas no estado de São Paulo: trabalhos do IAC

Atualmente, os esforços voltados à detecção e descrição das mudanças climáticas realizados pelo IAC

baseiam-se, fundamentalmente, em duas distintas fontes de dados. A primeira compreende as séries meteorológicas históricas dessa Instituição (Figura 2), as quais possuem pelo menos 60 anos de coletas virtualmente ininterruptas. Conforme citado anteriormente, entre essas séries destaca-se uma das estações meteorológicas mais antigas da América Latina (Campinas, São Paulo) a qual é capaz de fornecer dados de temperatura do ar e precipitação pluvial, em escala diária, desde 1890.

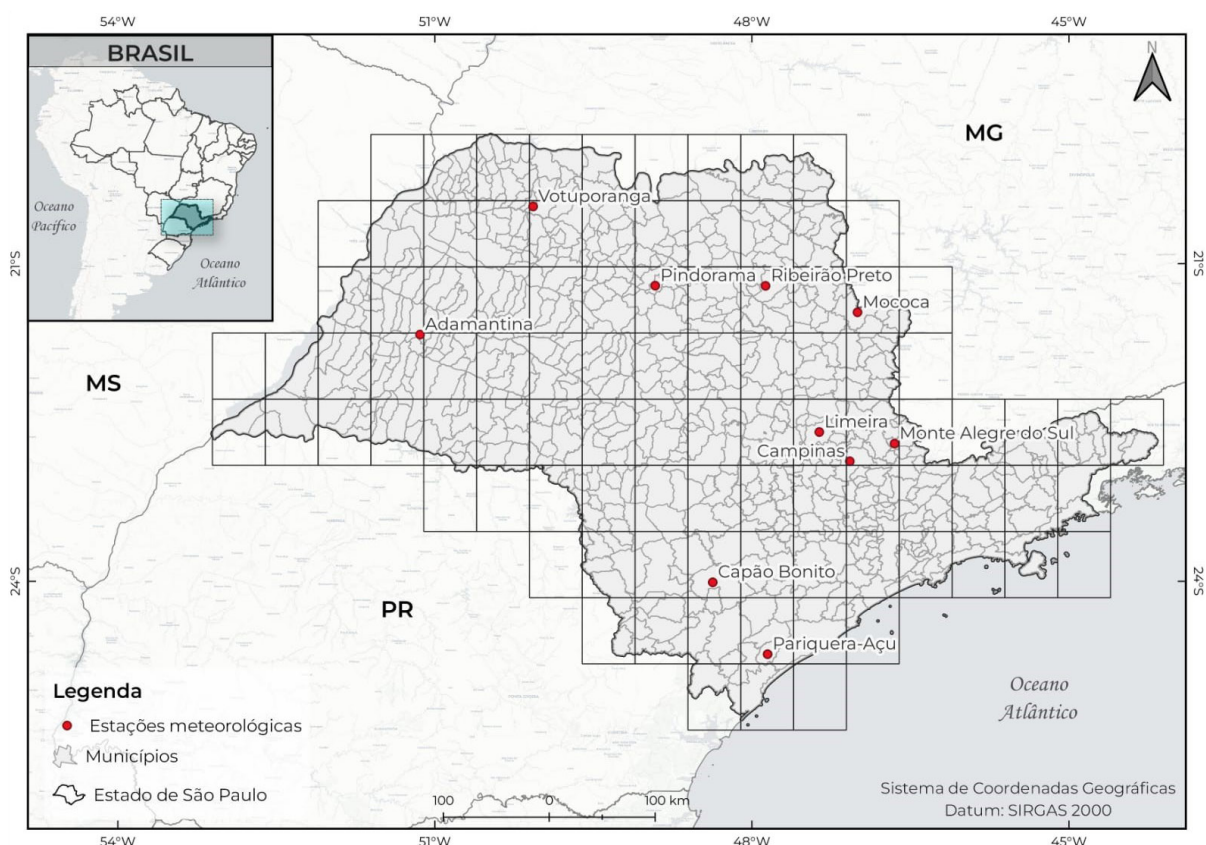


Figura 2. Séries meteorológicas históricas do IAC.

As estações apresentadas na figura 2 representam uma oportunidade ímpar para realização de investigações climáticas com abrangência temporal superior a 60 anos. Contudo, a abrangência espacial dessa fonte de dados pode ser considerada baixa por serem apenas sete pontos de coleta no estado. Nesse contexto, a segunda fonte de informações meteorológicas utilizada nos trabalhos de mudança climática do IAC considera os chamados dados de reanálise, tais como os provenientes do projeto NASA POWER (*National Aeronautics and Space and Administration Prediction of Worldwide Energy Resource*; <https://power.larc.nasa.gov/>) que possui dados diários de precipitação pluvial e temperatura do ar com pelo menos 30 anos de registros contínuos. Os dados são de uso livre (0.5° de latitude e 0.625° de longitude) e foram incorporados nesse estudo por meio do pacote do software R NASA POWER API Client v. 4.0.9 (Sparks

et al., 2022). Com base nessas duas fontes de dados, as próximas seções apresentam resultados de pesquisas do IAC relacionados à temperatura do ar, precipitação pluvial e seca.

Temperatura do ar em superfície

Entre os sinais mais evidentes das mudanças climáticas está a elevação nos valores de temperatura do ar observada em praticamente todas as regiões do planeta. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPPC, 2022), o aquecimento do sistema climático global em superfície é inequívoco. Essa afirmação mostra-se verdadeira para o estado de São Paulo (Figura 3), em que são observadas para a localidade de Campinas elevações tanto na temperatura máxima do ar (Tmax, maior valor da temperatura observado ao longo de um dia) quanto na temperatura mínima (Tmin, menor valor da temperatura observado ao longo de um dia).

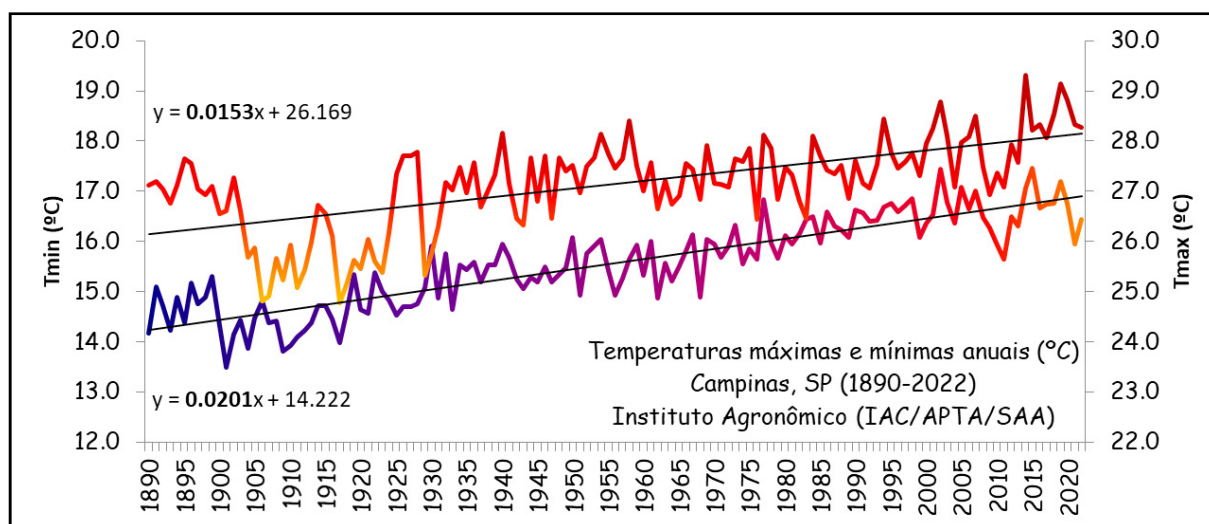


Figura 3. Séries históricas de temperatura do ar em Campinas (SP).

As elevações da Tmax e da Tmin presentes em Campinas também são observadas nas demais séries históricas

do IAC, conforme apresentado na figura 4, para Tmax (A) e Tmin (B), na localidade de Ribeirão Preto, respectivamente.

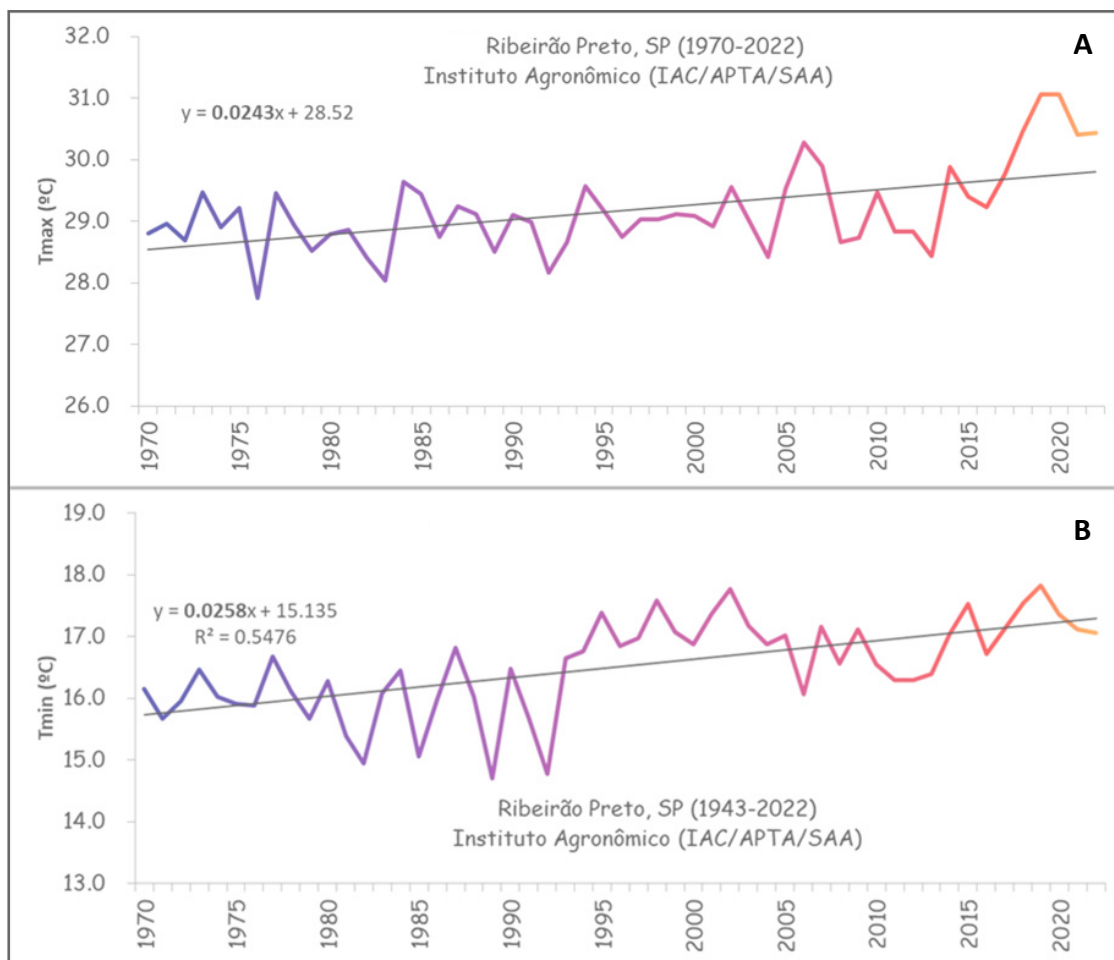


Figura 4. Séries históricas de temperatura do ar em Ribeirão Preto (SP).

Dentre as diversas implicações agrometeorológicas o aquecimento atmosférico (Figuras 3 e 4) acarreta no estado de São Paulo, pode-se destacar que espécies frutíferas de clima temperado apresentam um período de repouso invernal fortemente condicionado pelas condições climáticas vigentes. Para

cada novo ciclo vegetativo ser iniciado é necessário que determinada espécie criófila sofra a ação de baixas temperaturas. Essa “quantidade de frio” requerida é usualmente quantificado pelo parâmetro Número de Horas de Frio (NHF). A figura 5 demonstra o NHF entre o final do século XIX e início do século XXI em Campinas.

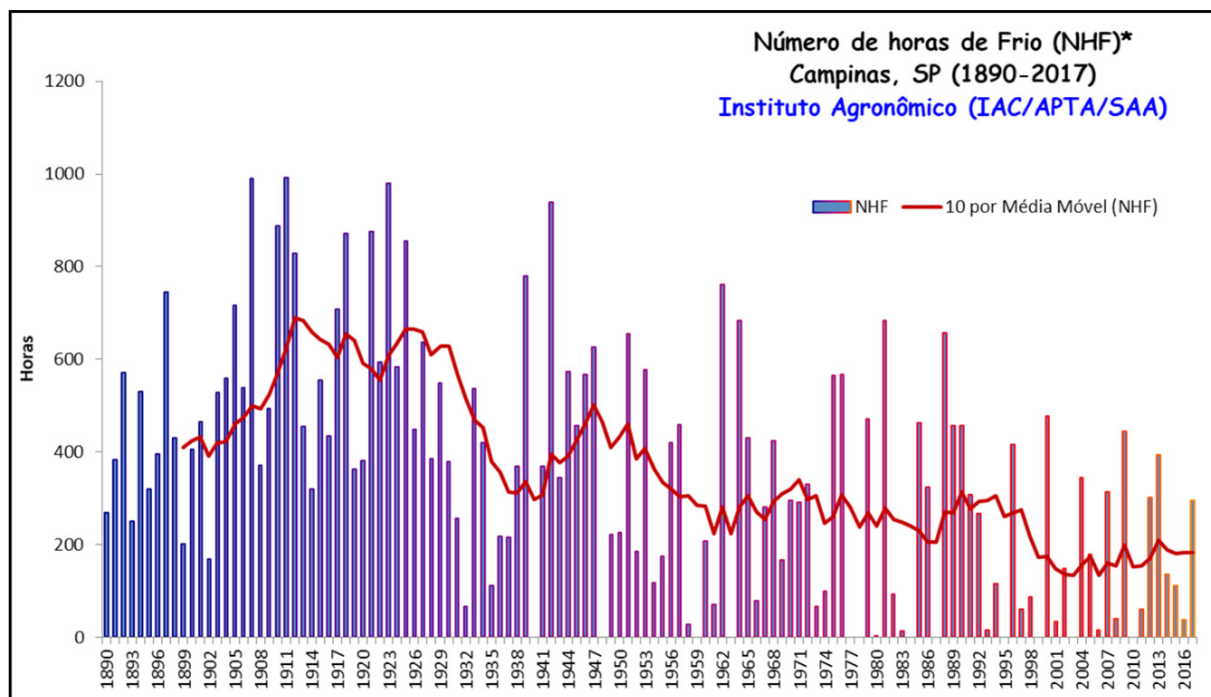


Figura 5. Queda nos somatórios anuais do parâmetro agrometeorológico “Número de Horas de Frio”, causada pela elevação da temperatura do ar no estado de São Paulo.

Outro fenômeno climático importante para o setor agrícola é a geada. Sob o aspecto agrônomo, esse evento extremo é usualmente relacionado ao congelamento de tecidos vegetais causado pela baixa temperatura atmosférica. Essa adversidade agrometeorológica não é necessariamente associada à deposição de gelo sobre as plantas; sendo que em relação à sua gênese, os danos agrícolas podem ser causados por ventos (geada de advecção) ou pelo intenso resfriamento observado no sistema superfície-atmosfera-planta (geada de radiação).

Esse intenso resfriamento leva, naturalmente, a valores extremos de

Tmin. Sob a hipótese de que as elevações nas temperaturas atmosféricas do estado, exemplificadas nas figuras 2 e 3, devem ser incorporadas na estimativa da probabilidade de valores extremos de Tmin que podem trazer danos às culturas, pesquisas do IAC (Blain, 2011a) vêm desenvolvendo modelos matemáticos capazes de detectar a presença de tendências climáticas em eventos de geada de radiação e de incorporá-las nos cálculos de suas probabilidades. A figura 6 demonstra a variação da probabilidade de ocorrência de extremos diários de Tmin em Campinas, entre os anos de 1890 a 2022.

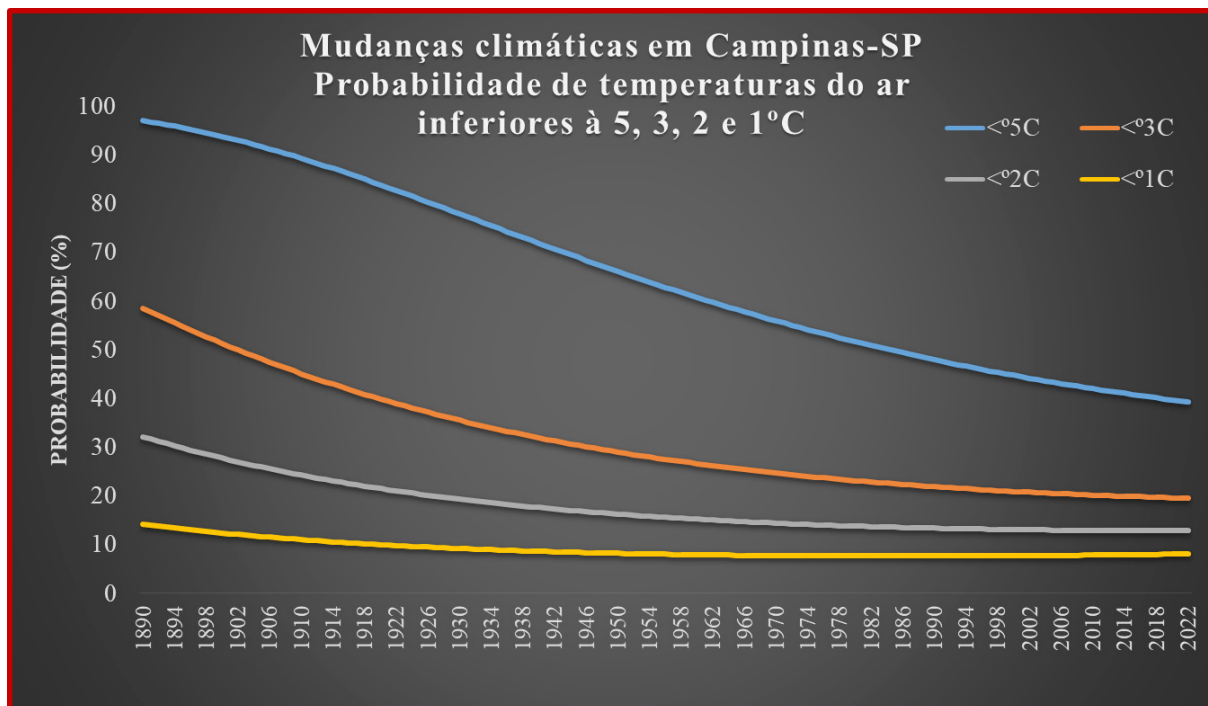


Figura 6. Variação histórica da probabilidade de ocorrência de extremos diários da temperatura mínima em Campinas (SP).

Ao obter resultados tais como o da figura 6, o estudo de Blain (2011a) conclui que embora os modelos matemáticos indiquem aumento médio nos valores de T_{min} em São Paulo, não é possível inferir que o estado esteja livre da ocorrência de geadas. Esses modelos também revelam tendências de elevação na variância ou dispersão dos dados. Sob o aspecto agrônomo, conclui-se que medidas de planejamento e mitigação dos efeitos das geadas não devem ser abandonadas, uma vez que esse aumento nas medidas de dispersão da referida variável pode estar associado a valores (futuros) de temperaturas atmosféricas potencialmente prejudiciais ao setor agrícola e, em especial, à fruticultura.

Precipitação pluvial e eventos de seca

Além da temperatura do ar, mudanças climáticas associadas à precipitação pluvial (PRE) têm profundas implicações agrônomicas devido à possibilidade de queda na disponibilidade hídrica às culturas. Para Blain e Pires (2011), mudanças nos padrões climáticos globais podem reduzir as trocas de fluidos (tais como, solução de sais minerais e componentes orgânicos, oxigênio e gás carbônico) no sistema solo-planta-atmosfera devido à elevação da ocorrência de estresse hídrico. Dessa forma, torna-se evidente que estudos de alterações climáticas devem também avaliar possíveis mudanças na distribuição dos totais de precipitação ocorridas ao longo das distintas fases fenológicas

do calendário agrícola anual. Nesse contexto, pesquisas do IAC, tais como o estudo de Blain (2011b), avaliaram a presença de alterações climáticas nas séries de precipitação pluvial decendial do estado de São Paulo. Observaram-se concentração de casos de tendências de queda na precipitação a partir do final da época seca regional, mês de agosto,

até o início do mês de novembro, pertencente à estação chuvosa. Essa característica (Figura 7) é especialmente marcada nos dois últimos decêndios de outubro e pode ser considerada um sinal significativo de mudança nos padrões do clima regional no sentido de atraso da retomada da estação chuvosa (Blain, 2011a).

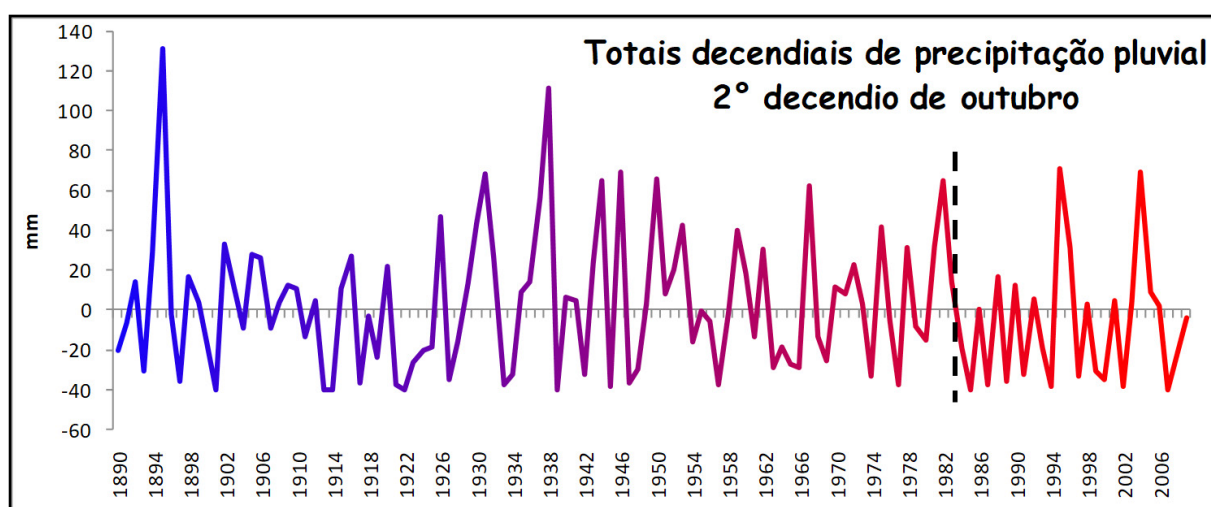


Figura 7. Anomalia (valor observado menos média histórica) da precipitação pluvial acumulada a cada 10 dias em Campinas (SP).

Após observar fortes indícios de mudanças climáticas exemplificados na figura 7, enfatiza-se que nas últimas décadas elevações na frequência e intensidade de eventos de seca em diversas partes do globo terrestre (Dai, 2012; Blain *et al.*, 2022). Infelizmente, essa afirmação é também verdadeira para o estado de São Paulo, que nos últimos anos tem sido submetido a recorrentes episódios dessa anomalia climática (Pereira *et al.*, 2018). Dentre esses eventos, inclui-se a crise hídrica de 2013-2015 que afetou praticamente todo estado, incluindo a região metro-

politana de São Paulo, que é uma das áreas mais populosas do planeta (Nobre *et al.*, 2016).

Resultados encontrados pelas atuais pesquisas do IAC (exemplificadas nas Figuras 8 a 10) são consistentes, com estudos que descrevem alterações de ordem climática na precipitação pluvial do estado de São Paulo no sentido de elevações na frequência e intensidade dos eventos de seca (Dufek; Ambrizzi, 2007; Pereira *et al.*, 2018; Correa *et al.*, 2022). Atualmente, essas ações do Instituto Agrônomo

voltadas à investigação de alterações climáticas nos eventos de déficit de chuva, são usualmente baseadas no índice padronizado de precipitação - SPI (McKee *et al.*, 1993), desenvolvido em base probabilística e utilizado em diversos sistemas de monitoramento de seca ao redor do globo terrestre. O SPI é também recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia para a quantificação da severidade de déficits de precipitação que podem resultar em episódios de seca

meteorológica (Hayes *et al.*, 2011). Além de serem baseados no SPI, os resultados apresentados nas figuras 8 a 10 foram baseados em dados do projeto NASA POWER (*National Aeronautics and Space and Administration Prediction of Worldwide Energy Resource*; <https://power.larc.nasa.gov/>). Os códigos desenvolvidos no ambiente R de programação estatística necessários aos cálculos desses estudos estão disponíveis em <https://github.com/gabrielblain/Four-Step-Algorithm>.

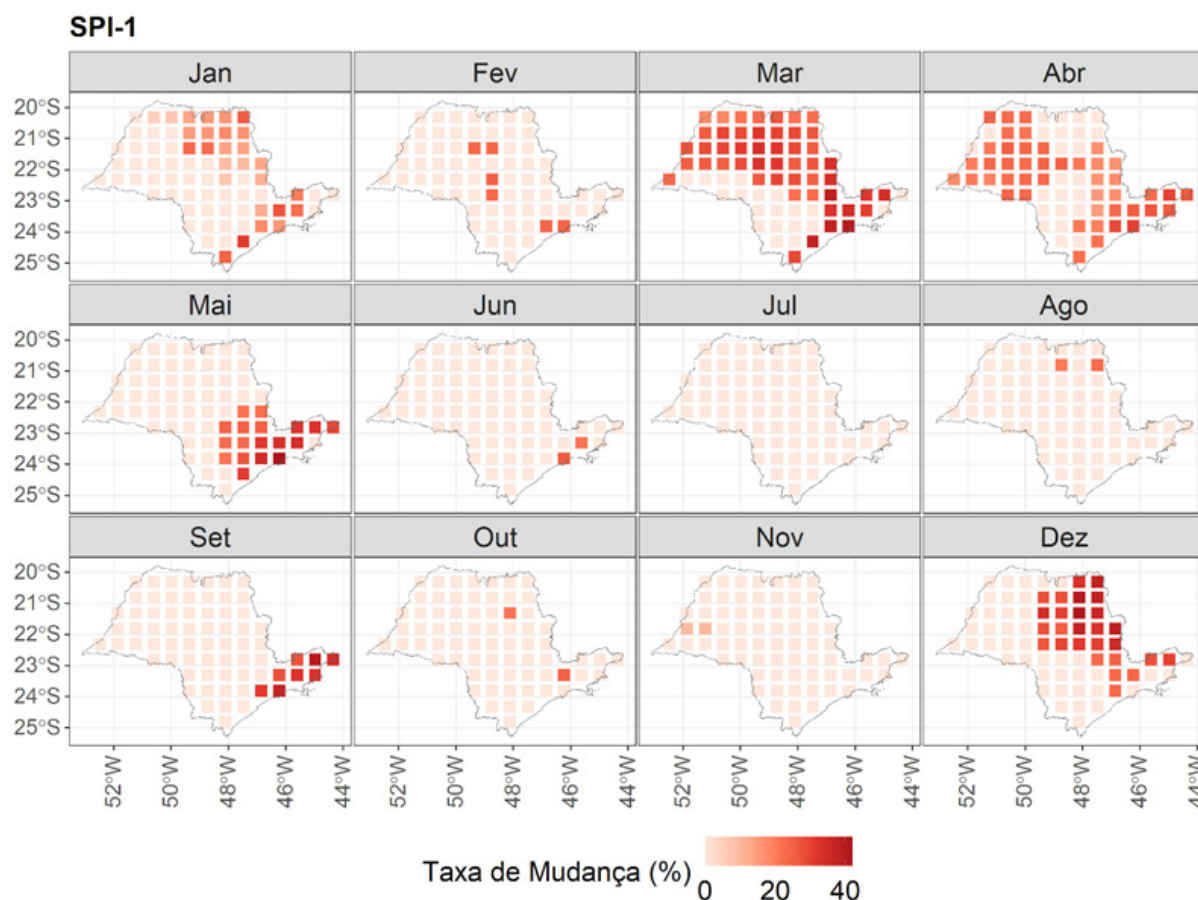


Figura 8. Taxa de elevação na frequência de ocorrência dos eventos de seca no estado de São Paulo (escala mensal).

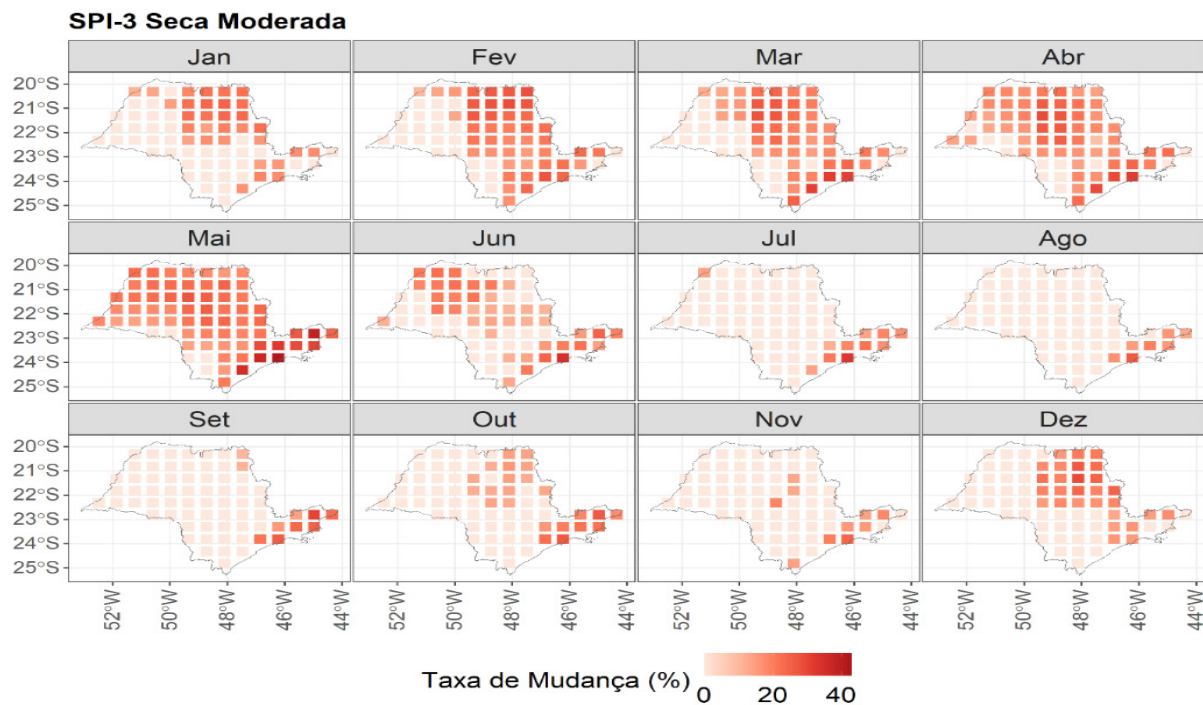


Figura 9. Taxa de elevação na frequência de ocorrência dos eventos de seca moderada no estado de São Paulo (escala trimestral).

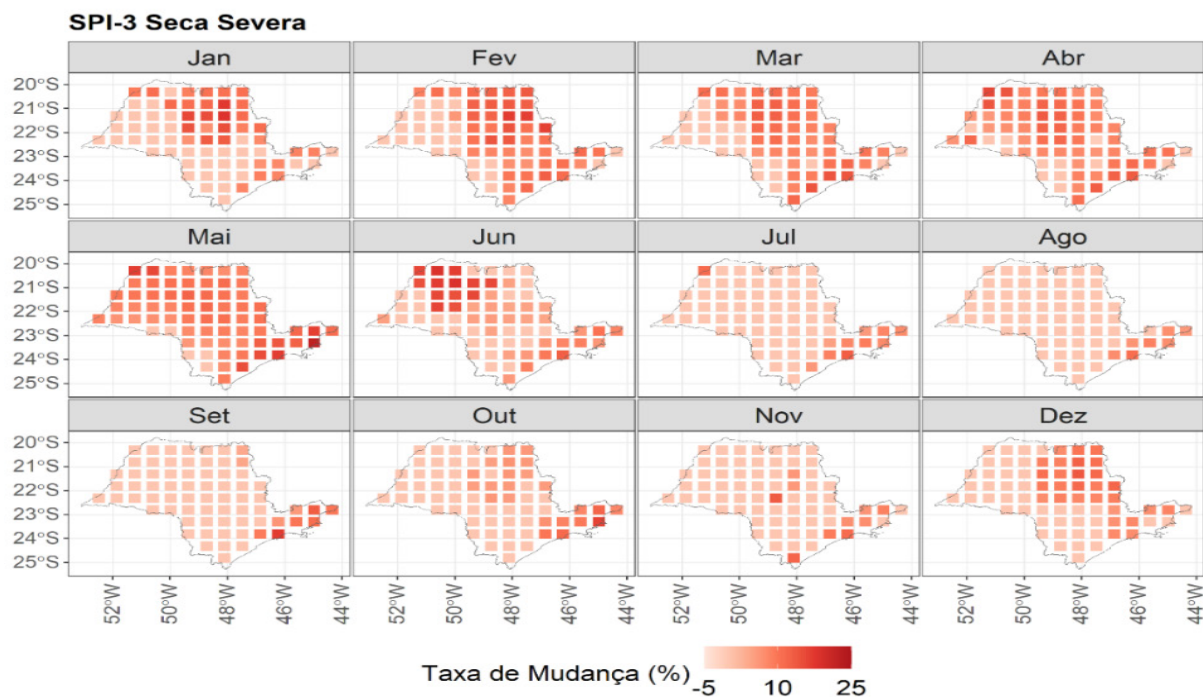


Figura 10. Taxa de elevação na frequência de ocorrência dos eventos de seca severa no estado de São Paulo (escala trimestral).

Considerações finais

O Instituto Agrônomo (IAC) realiza, desde o início de sua história em 1890, medições e estudos rotineiros da atmosfera no estado de São Paulo. Em linha com diversos órgãos internacionais, as atuais pesquisas dessa Instituição apontam que as mudanças climáticas e seus impactos na agricultura já são realidade. Esse estudo apresentou descrições estatísticas de tais alterações no estado de São Paulo que servem e continuarão a servir como ponto norteador para pesquisas de resiliência agrícola frente aos padrões climáticos atuais e futuros.

Ao ler os próximos artigos desta edição de O Agrônomo, os leitores perceberão que as pesquisas do IAC vêm promovendo, ao longo de mais de 100 anos de história, a segurança alimentar, a sustentabilidade agrícola e o uso racional de recursos naturais. Estas ações já contribuem e continuarão a contribuir para elevação da resiliência agrícola frente aos desafios ambientais e sociais do século XXI.

Referências

- BLAIN, G. C. Modeling extreme minimum air temperature series under climate change conditions. **Ciência Rural**, v. 41, n. 11, p. 1877-1883, 2011a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011001100005>.
- BLAIN, G. C. Incorporating climate trends in the stochastic modeling of extreme minimum air temperature series of Campinas, state of São Paulo, Brazil. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 952-957, 2011b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400031>.
- BLAIN, G. C.; PIRES, R. C. de M. Variabilidade temporal da evapotranspiração real e potencial em Campinas, Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 460-470, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000200030>.
- BLAIN, G. C.; SOBIERAJSKI, G. R.; WEIGHT, E.; MARTINS, L. L.; XAVIER, A. C. F. Improving the interpretation of standardized precipitation index estimates to capture drought characteristics in changing climate conditions. **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 11, p. 5586-5608, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7550>.
- CORREA, W. S. C.; SOARES, W. R.; AYLAS, G. Y. R.; REIS JUNIOR, N. C.; MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; NOBRE, C. Avaliação das simulações de temperatura e precipitação de um subconjunto de modelos do CMIP6 para o Brasil. **Derbyana**, v. 43, e774, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14295/derb.v43.774>.
- DAI, A. Increasing drought under global warming in observations and models. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 52-58, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1633>.
- DUFEEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, p. 167-178, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0348-7>.
- HAYES, M. J.; SVOBODA, M. D.; WALL, N.; WIDHALM, M. The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought

index recommended. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 92, n. 4, p. 485-488, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010BAMS3103.1>.

IPCC -INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2022**: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E. S.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; CRAIG M.; LANGSDORF S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A.; RAMA, B. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022. 3056 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In*: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8th. Boston, MA: American Meteorological Society, 1993. p. 179-184.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, L. A.; ALVES, L. M. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 2, p. 252-262, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>.

PEREIRA, V. R.; BLAIN, G. C.; AVILA, A. M. H.; PIRES, R. C. de M.; PINTO, H. S. Impacts of climate change on drought: changes to drier conditions at the beginning of the crop growing season in southern Brazil. **Bragantia**, v. 77, n. 1, p. 201-211, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017007>.

SPARKS, A. **nasapower**: NASA-POWER Data from R. R package version 4.0.8, 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=nasapower>. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1040727>.



BIOSSISTEMAS

Ações do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Biossistemas Agrícolas e Pós-colheita Frente aos Desafios do Século XXI: Segurança Alimentar e Sustentabilidade Agrícola

Jane Maria de Carvalho Silveira*, Regina Célia de Matos Pires, Eduardo Caruso Machado, Norma de Magalhães Erismann, Eliane Aparecida Benato Rodrigues da Silva, Ilana Urbano Bron, Juliana Sanches de Laurentiz, Patrícia Cia, Silvia Regina de Toledo Valentini, Angélica Praela Pantano, Gabriel Constantino Blain

*jane.silveira@sp.gov.br

Introdução

O Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Biosistemas Agrícolas e Pós-colheita atua de forma transversal e multidisciplinar no Instituto Agrônomo, de Campinas. O Centro desenvolve estudos científicos e inovação tecnológica de processos e métodos em climatologia, modelagem e estatística agrometeorológica, monitoramento climático, zoneamento agroclimático, balanço hídrico, índices de seca e mudanças climáticas; agricultura irrigada, uso eficiente da água, fertirrigação, irrigação de precisão; fisiologia vegetal, fotossíntese e metabolismo de plantas em condições normais e sob estresses abióticos; pós-colheita de frutas e hortaliças inteiras e processadas minimamente com boas práticas, análise de qualidade, sistemas de conservação e redução de perdas.

No atual cenário de mudanças climáticas, indicados pelos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), a produção de alimentos poderá ser diretamente afetada com o comprometimento do cultivo de algumas espécies. Torna-se imprescindível o desenvolvimento de estudos que garantam a produção de alimentos de forma sustentável e que atendam às demandas da população com segurança alimentar.

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é apresentar os impactos das pesquisas realizadas pelo Centro de P&D de Biosistemas Agrícolas e Pós-colheita na produção de alimentos seguros e alternativas ou estratégias para a sustentabilidade da produção agrícola frente aos desafios socioambientais do século XXI.

Climatologia agrícola

As pesquisas em climatologia têm oferecido à agricultura paulista, brasileira e mundial conhecimentos científicos e tecnológicos que contribuem significativamente para produção de alimentos, fibras e energia, atendendo aos novos desafios impostos pelas mudanças climáticas, pela sustentabilidade ambiental e pela segurança hídrica da população brasileira e mundial. Conforme citado em Silveira *et al.* (2022), a importância de pesquisas que estudem a relação planta-ambiente é potencializada pelo fato de que eventos climáticos tais como secas, ondas de calor e geadas agrônomicas podem levar a importantes quebras de safras, ameaçando a segurança alimentar de diversas regiões do globo terrestre (Vogel *et al.*, 2019).

Nesse contexto, além das ações voltadas às descrições das mudanças climáticas (apresentadas no artigo “Descrevendo mudanças climáticas no estado de São Paulo: um norte para desenvolvimento de técnicas de resiliência”, desta edição), as ações em agrometeorologia também abordam o Monitoramento Climático do Estado de São Paulo e, em especial, em regiões produtoras de café, milho e azeitonas, monitoramento da seca por meio de índices probabilísticos padronizados e uso agrometeorológico de dados de reanálise provenientes de projetos como o “The POWER Project” (<https://power.larc.nasa.gov/>).

Em relação ao monitoramento climático das condições do estado são medidos em condição real parâmetros

como: temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar, entre outros. Em se tratando especificamente de culturas, no caso de regiões produtoras de café e azeitonas, além do monitoramento climático já citado, são elaborados boletins periódicos com análises dos dados climáticos, abrangendo informações como: precipitação acumulada, temperaturas extremas (máximas e mínimas), estimativa da umidade do solo por meio de elaboração de balanços hídricos, indicativos de excedente e deficiência hídrica do solo, ocorrência de eventos extremos (seca, geadas, chuvas com volumes extremos, vendavais), disponíveis em www.clima.iac.sp.gov.br. Também é oferecido um suporte de orientação em relação a escolha de áreas aptas ao cultivo de culturas, como oliveiras,

por exemplo, que são exigentes em determinadas condições climáticas. Dessa forma, o produtor tem uma orientação adequada na escolha da melhor área antes da implantação da cultura.

Em parceria com empresas da área de previsão do tempo, ainda é oferecido suporte para tomada de decisões para o planejamento agrícola, de forma a adequar as atividades de campo de acordo com as condições climáticas atuantes, abrangendo o preparo do solo para plantio, manejo de pragas, doenças e plantas daninhas, até a colheita. A figura 1 ilustra o balanço hídrico sequencial em escala decenal, da localidade de Franca (SP), evidenciando as variabilidades climáticas observadas em dois anos seguidos (Excedente e Deficiência Hídrica).

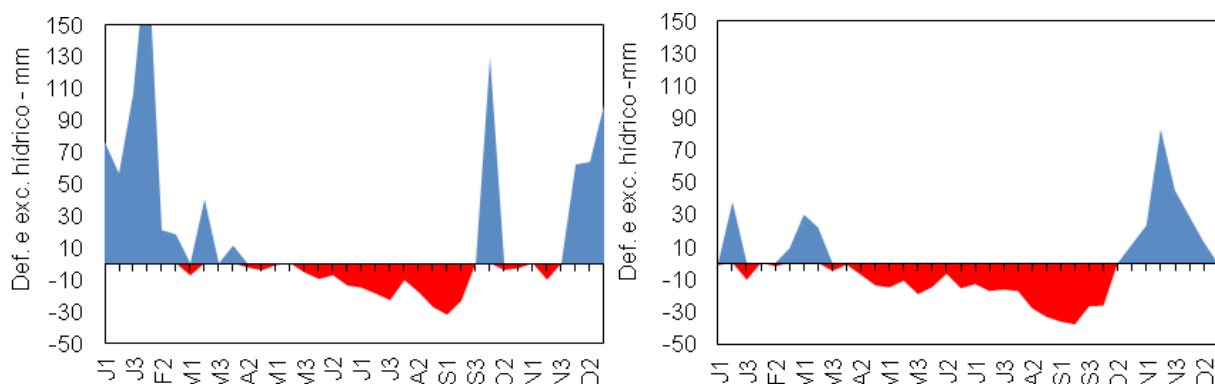


Figura 1. Balanço hídrico sequencial decenal, de 2021 e 2022, Franca (SP).

Em relação ao monitoramento da seca, as pesquisas do IAC evidenciam que esse fenômeno ambiental é altamente complexo, apresentando impactos sociais frequentemente agravados pela ação humana. A

ocorrência dessa anomalia climática ao longo dos últimos 10 anos no estado de São Paulo evidenciou a necessidade de um constante monitoramento dessa adversidade que afeta desde a agricultura de subsistência até os

setores mais complexos do agronegócio. Nesse contexto, o IAC tem desenvolvido, adaptado e implementado diversos índices capazes de monitorar em tempo próximo ao real as condições de seca meteorológica - definida por valores de chuva inferiores ao climaticamente esperado para o período e região - e, agrícola - conceituado pelo teor de umidade do solo insuficiente para repor as perdas por evapotranspiração das culturas. Dentre esses índices destacam-se os índices padronizados de precipitação (SPI - sigla em inglês), de precipitação-evapotranspiração (SPEI - sigla em inglês) e de evapotranspiração real (IPER). Esse último desenvolvido pelo Instituto Agrônomo em 2006 (Blain; Brunini, 2006).

A figura 2 exemplifica o uso do SPI e SPEI durante a crise hídrica de 2014 em São Paulo. Segundo Nobre *et al.* (2016),

as causas meteorológicas desse evento extremo de seca foram associadas às mudanças na circulação regional da atmosfera. Tanto o SPI quanto o SPEI capturaram essa condição extremamente seca, mostrando valores negativos em quase todo o estado. Esse fato demonstra a capacidade desses índices utilizados pelo IAC em acelerar a adoção de medidas de combate aos efeitos dessa adversidade ambiental. Por fim, ressalta-se que a figura 2 foi elaborada com dados de reanálise provenientes de projetos do "The POWER Project". Segundo diversos estudos, incluindo os de Blain *et al.* (2023) para o estado de São Paulo, ao serem comparados com dados coletados em estações meteorológicas, as informações fornecidas por esse projeto da NASA mostram elevadas acurácias na descrição da precipitação e da evapotranspiração potencial, em escalas semanal, mensal e anual.

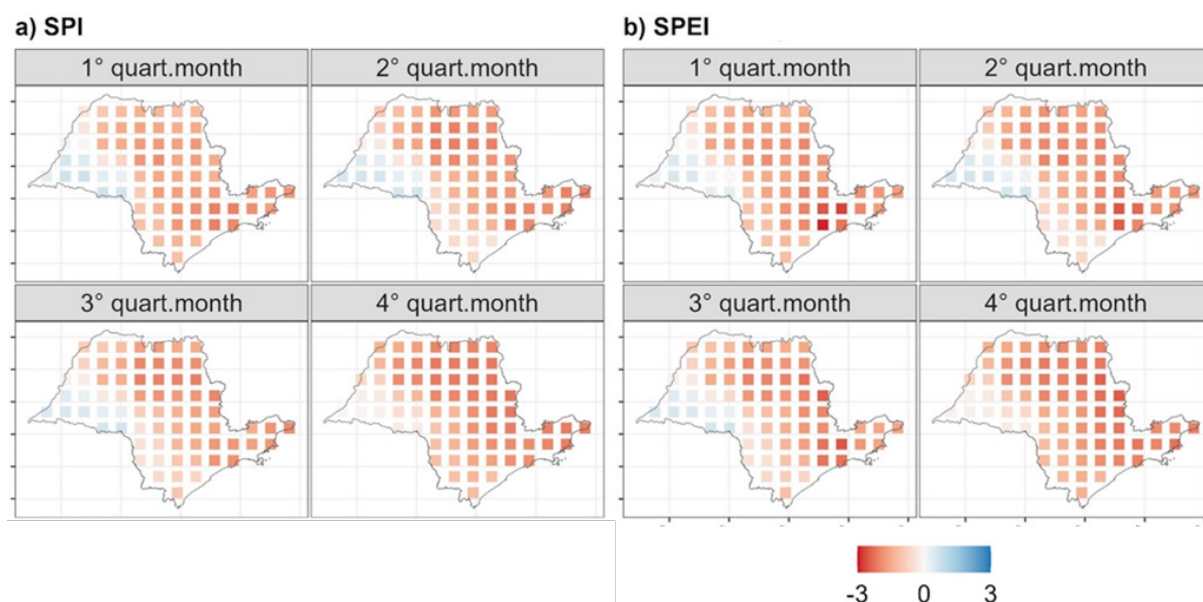


Figura 2. Monitoramento da seca no estado de São Paulo, utilizando os índices padronizados de precipitação (SPI - sigla em inglês), de precipitação-evapotranspiração (SPEI - sigla em inglês).

Agricultura irrigada

O grande desafio da atualidade é produzir mais alimentos e promover a atividade agrícola com sustentabilidade. A irrigação, nesse contexto, torna-se uma atividade de grande importância. O potencial da agricultura irrigada frente às mudanças climáticas, com eventos extremos desafiadores desponta como fator de segurança. Destaque ao efeito do clima, em especial a precipitação e a temperatura, considerando-se o efeito que esses elementos acarretam na produção de alimentos e bioenergia vem sendo notado no Brasil. Observa-se a rápida evolução da superfície irrigada nos últimos anos, contribuindo significativamente para as maiores safras de alimentos, fibras e bioenergia da história do país.

Sob a ótica de sustentabilidade dos sistemas irrigados é inerente às práticas de manejo e uso eficiente da água nas pesquisas desenvolvidas no Centro de P&D de Biosistemas Agrícolas e Pós-colheita. Rotineiramente, o Centro realiza pesquisas aplicadas nas principais cadeias de produção do estado de São Paulo: café, citros, cana-de-açúcar, olericultura, entre outras, visando obter maior eficiência do uso da água, bem como avaliar as respostas produtivas de cultivares distintas advindas do melhoramento genético.

Nesse contexto, cabe apresentar os estudos desenvolvidos em irrigação por gotejamento de café. No intuito de avaliar o desenvolvimento e o potencial produtivo do café quando irrigado em diferentes arranjos populacionais, constatou-se que a irrigação contribui significativamente

com aumento da produção em mais de 50% para a mesma cultivar e na mesma área, podendo garantir segurança hídrica para produção. Esse estudo com parcelas subdivididas, sendo uma subparcela irrigada e outra não irrigada, resultou em produtividade média de cinco anos igual a 2.623 kg ha⁻¹ e 1.026 kg ha⁻¹, respectivamente (Sakai *et al.*, 2015). Nesse aspecto, importante ressaltar que o uso da irrigação desde a implantação das mudas acarretou em precocidade na produção de plantas jovens. Além de expressar as maiores produtividades sob irrigação, estudos mostraram ainda que a fertirrigação do cafeeiro, quando utilizada de forma parcelada durante o ciclo, reduz a quantidade de nitrogênio aplicada no ciclo em até 25% na fase de formação do cafeeiro, atendendo aos objetivos da sustentabilidade (Silveira *et al.*, 2015).

Na citricultura, outra importante cultura no estado de São Paulo, estudos em diferentes regiões mostram o potencial de produção sob irrigação. Em algumas áreas experimentais no norte do estado de São Paulo verificaram-se a morte de plantas cítricas adultas devido à intensidade do déficit hídrico ocorrida. Ainda, considerando-se que a irrigação na cultura é necessária em momento de escassez de água nos corpos hídricos é fundamental a busca por estratégias que promovam economia no uso da água, como exemplo, o uso da irrigação aplicada com déficit hídrico. Mesmo na região sudoeste do estado, a irrigação proporcionou aumento de produtividade de 15% a 64% em pomar de Pera-IAC enxertada em tangerina

Sunki, comparando-se estratégias de irrigação com e sem déficit hídrico em relação ao sequeiro, em cinco anos de produção (Silveira *et al.*, 2020).

A irrigação tem grande potencial para verticalização da produção na cultura da cana-de-açúcar. Os estudos desenvolvidos para aumento da eficiência do uso da água nessa cultura envolvem diferentes estratégias de irrigação, tais como o uso da irrigação de salvamento, irrigação plena ou deficitária, assim como irrigação em linhas de MEIOSI (Método Interrotacional Ocorrendo Simultaneamente) e produção de mudas pré-brotadas e de gemas brotadas de cana (Silva, 2016; Xavier *et al.*, 2018; Ohashi *et al.*, 2020). Essas pesquisas envolvem o monitoramento do clima, da água disponível no solo e na planta para estudo e proposição de estratégias no manejo da água de diversas cultivares, tais como: fertirrigação (aplicação de vinhaça e de nutrientes via irrigação), estratégias de manejo, intensidade de déficit hídrico e estádios de desenvolvimento e respostas de diferentes cultivares (Pires *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2016). Dentre os parâmetros fundamentais para aumento da eficiência do uso da água na cultura da cana, destaca-se o sistema radicular, em especial o aumento na profundidade radicular no perfil do solo com consequente favorecimento da água disponível do solo. Resultados relacionados ao crescimento das raízes após transplantio de mudas pré-brotadas, com uso de irrigação por gotejamento ou aspersão e irrigação de salvamento têm mostrado o grande potencial de

adoção de práticas agrícolas (Ohashi *et al.*, 2015; Ohashi *et al.*, 2020; Scarpare *et al.*, 2019; Silva, 2019; Rossetto *et al.*, 2022). Neste tema, vários estudos têm sido desenvolvidos para conhecer e avaliar a possibilidade de estratégias fundamentais para melhorar a água disponível para a cultura (Rossetto *et al.*, 2022).

Associada à irrigação, práticas conservacionistas permitem o uso ainda mais eficiente da água e proteção do solo contra processos erosivos. Atualmente cerca de 90% da área total de hortaliças são irrigadas por aspersão, por se tratar de um sistema que melhor se adapta às diferentes condições de produção de hortaliças. Entretanto, tais condições podem ocasionar processos erosivos. Nesse sentido, o grupo de pesquisadores do Centro realizou pesquisas em área de pivô central em sistema de plantio direto para cultivo de cebola e beterraba em três anos consecutivos em São José do Rio Pardo (SP). Os resultados mostraram que a eficiência do uso da água melhora ao longo dos anos com sistema de plantio direto de cebola irrigada, alcançando $154 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Branco *et al.*, 2019).

Com advento da agricultura digital, o grupo de pesquisa da área de irrigação tem buscado aplicar essas tecnologias nas pesquisas desenvolvidas em irrigação, visando avaliar o estado hídrico das culturas. Silveira *et al.* (2013) utilizaram imagens de satélite para identificar e quantificar as áreas irrigadas por pivô central na sub-bacia Tambaú-verde para mapear talhões irrigados em bacia com criticidade de uso da água,

indicando que apenas o município de Casa Branca (SP) possui mais de 10% de seu território sob irrigação por pivô central. Recentemente, novos estudos vêm sendo realizados em irrigação de precisão no Centro com o objetivo de avaliar alternativas para monitoramento do estado hídrico de plantas com uso de câmeras termográficas e multiespectral acopladas em veículo aéreo não tripulável (VANT), também conhecidos por drones. Estudos preliminares já demonstraram o potencial de utilização de câmeras termais para avaliação do estado hídrico em cana-de-açúcar (Silveira *et al.*, 2020).

Fisiologia da produção

A produção agrícola potencial é resultado da integração de todos os processos fisiológicos em condições ambientais ideais. Condições de temperatura, umidade do solo e radiação solar acima ou abaixo do ideal causam um decréscimo da produção, sendo que em casos extremos podem causar até a morte das plantas. Com o advento das mudanças climáticas houve um aumento da frequência de eventos ambientais extremos, relacionados com a temperatura e umidade do solo e do ar. A fisiologia de produção agrícola é uma parte essencial da ciência em que se pode elucidar as consequências das alterações climáticas e nutritivas sobre as respostas dos processos fisiológicos das plantas.

O programa de pesquisa em fisiologia da produção tem visado, nas últimas décadas, estudos dos principais processos envolvidos na produtividade agrícola, tais como fotossíntese,

respiração, crescimento, metabolismo oxidativo de nitrogênio e de hormônios, fenologia (fases de desenvolvimentos incluindo florescimento em espécies frutíferas e graníferas) conforme ilustrado na figura 3. Tais estudos visam, principalmente, a comparação de respostas de diferentes genótipos de plantas de mesma espécie em ambientes com e sem estresses ambientais. O conhecimento das respostas dos processos fisiológicos das plantas aos estresses como déficit hídrico no solo, temperaturas extremas tanto diurnas como noturnas, baixas umidades relativas do ar, todos consequência das mudanças climáticas, são hoje e no futuro imediato de fundamental importância. A manutenção de produção e/ou sobrevivência das plantas em condições adversas é baseada em múltiplos ajustes no metabolismo, na partição de biomassa, na arquitetura e na morfologia da planta, que mitigam as condições estressantes. Os estudos comparativos com vários genótipos de mesma espécie evidenciam os tolerantes ao estresse e qual ou quais características fisiológicas que conferem tal tolerância. Certamente tais características estão relacionadas com aspectos genéticos e podem ser herdáveis. Assim, este tipo de pesquisa fornece subsídios aos melhoristas, geneticistas, climatologistas e agrônomos que podem utilizá-los para minorar os efeitos prejudiciais à produtividade das culturas em resposta às mudanças climáticas, tanto por meio do melhoramento genético como pelo aperfeiçoamento de métodos de manejo da cultura. Assim, é impor-

tante que estudos dessa natureza sejam executados em colaboração, principalmente, com especialistas de outras áreas como melhoristas, geneticistas, biólogos moleculares e climatologistas.

Tais programas de pesquisa já têm sido conduzidos de forma rotineira no Centro sob condições controladas em câmaras de crescimento, ou em casas de vegetação em condições parcialmente controladas ou, ainda, a campo, sob condições naturais, com resultados úteis.

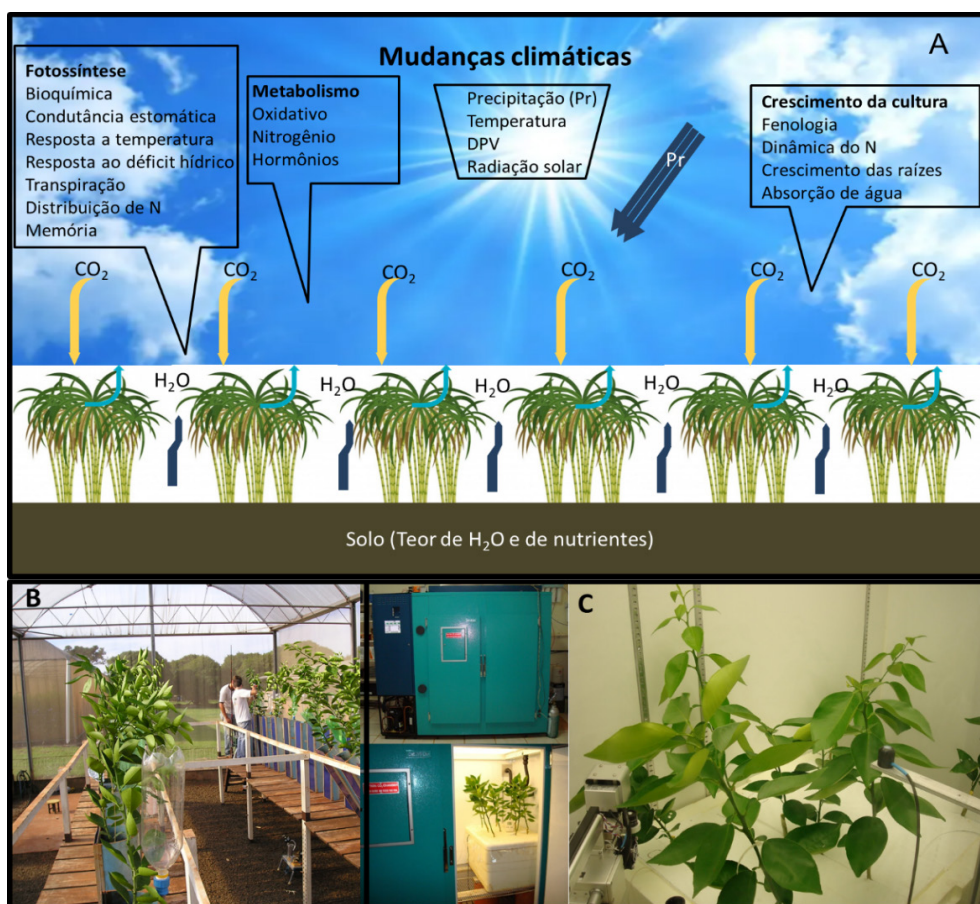


Figura 3. Representação de uma cultura em seu habitat natural, submetida à variação das condições do ambiente devido às mudanças climáticas. Frente a esta circunstância desenvolvem-se programas de pesquisas envolvendo medidas de processos fisiológicos relacionados com a produtividade das plantas e resistência aos fatores estressantes do ambiente, tais como temperaturas e condições de umidade do solo estressantes às plantas, H_2O com setas representam transpiração e evapotranspiração e CO_2 com setas representam fotossíntese. Balões indicam os processos que devem ser medidos durante o desenvolvimento das plantas e variáveis do ambiente, onde DPV significa Déficit de Pressão de Vapor (A); experimento de crescimento de raízes de diferentes espécies de porta-enxertos em condições semi-controladas em casas de vegetação (Magalhães Filho *et al.*, 2008) (B) e experimento, em condições controladas, em estudo do efeito de temperatura em sistema radicular e parte aérea, em diferentes espécies de porta-enxertos de citros (Santos *et al.*, 2011) (C).

Dos três porta-enxertos mais utilizados na citricultura brasileira, o citrumeleiro Swingle, a tangerineira Sunki e o limoeiro Cravo, observou-se que o limoeiro Cravo, confere, sob estresse hídrico, maior tolerância à copa, visto que prioriza o crescimento radicular na fase inicial do déficit hídrico (Magalhães *et al.*, 2008), o que foi relacionado ao menor acúmulo de açúcares, mudanças no metabolismo de nucleotídeos e regulação na via do ácido chiquímico. Após a reidratação, o crescimento foi associado com alto acúmulo de arginina e asparagina (Silva *et al.*, 2023). O melhor desempenho do limoeiro Cravo parece estar associado a fatores como maior condutividade hidráulica das raízes, ajustamento osmótico e controle estomático das trocas gasosas (Miranda *et al.*, 2019) e à alta sensibilidade das raízes às mudanças na disponibilidade de água e, possivelmente, relacionados com compostos de sinalização, como auxina e óxido nítrico (Silva *et al.*, 2023). Em continuidade, estão sendo conduzidos estudos de caracterização hidráulica de diferentes combinações de copa/porta-enxerto com importância para o Brasil.

A produção de fitomassa de qualquer cultura é proporcional a sua produção fotossintética. Em estudo recente avaliou-se a fotossíntese em 12 variedades de cana-de-açúcar e observou-se alta variabilidade e herdabilidade, sugerindo a possibilidade de utilização para cruzamento visando o aumento da produtividade (Almeida *et al.*, 2021).

Em outras abordagens relacionadas com o ambiente estressante com a cultura de cana-de-açúcar foram estudadas as aplicações de nitrogênio; ou de produtos conhecidos como "chemical priming" ou ainda utilizadas técnicas de estímulo de memória de estresse. Observou-se que os efeitos de baixa temperatura na fotossíntese de plantas no campo podem ser aliviados pelo suprimento de nitrogênio foliar, com consequência provável de maior produção de biomassa e rendimento da cultura (Cerqueira *et al.*, 2019).

Estudos realizados pelos pesquisadores do Centro têm demonstrado que plantas de cana-de-açúcar têm sua performance melhorada em condições restritivas de água quando supridas com S-nitrosoglutathione (GSNO) (Silveira *et al.*, 2019). A S-nitrosoglutathione (GSNO) é um S-nitrosotiol endógeno que serve como fonte de óxido nítrico (NO), uma molécula sinalizadora capaz de aumentar a tolerância de plantas a estresses abióticos pela nitrosilação de proteínas. Assim, plantas poderiam ser "preparadas" quando supridas com moléculas sinalizadoras, o chamado "chemical priming". O encapsulamento de doadores de NO surgiu como estratégia para proteger essas moléculas da rápida degradação, além de permitir uma liberação mais controlada. Estudo recente dos pesquisadores demonstrou que a pulverização de S-nitroso-N-acetylcysteine (SNAC) e GSNO - doadores de NO - é uma alternativa para melhorar o desempenho fisiológico das plantas de cana-de-açúcar após o déficit hídrico, o que favorece o crescimento das plantas

e a produtividade da cultura devido à rápida recuperação da fotossíntese (Silveira *et al.*, 2021). Assim, têm-se evidências experimentais de que a nanobiotecnologia pode ser usada para aumentar os benefícios induzidos pelo NO para plantas sob condições estressantes, aliviando o impacto negativo dos estresses abióticos.

Enquanto a homeostase se refere à manutenção da integridade estrutural e funcional interna da planta, a resiliência está associada à habilidade da planta em retornar às condições iniciais após um determinado distúrbio. A exposição prévia a eventos estressantes pode desencadear alterações no padrão de expressão de genes que regulam todo o desenvolvimento vegetal e que permitem uma resposta mais eficiente e rápida em casos de estresses recorrentes, sendo esse fenômeno tratado na literatura como memória vegetal. A memória de estresse é definida como a capacidade de plantas estressadas armazenarem informações de forma que possam responder de uma maneira diferente quando expostas novamente ao estresse, geralmente levando a uma melhor performance. Em estudos recentes demonstrou-se que plantas de cana-de-açúcar expostas previamente a ciclos de déficit hídrico e reidratação, ou originadas de material vegetal que passou por déficit hídrico, tiveram seu desempenho fotossintético e crescimento favorecidos quando expostas novamente à seca (Marcos *et al.*, 2018a,b), sugerindo que a cana-de-açúcar tem a capacidade de armazenar as informações previamente acumuladas durante a ocorrência de estresse e enfrentar de forma mais

resiliente uma nova ocorrência de estresse.

A pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) representa uma importante alternativa para os produtores de palmito, por diminuir a pressão de exploração sobre as espécies nativas tradicionais do gênero *Euterpe* (palmito, juçara e açazeiro). Essa espécie é originária da Amazônia e, atualmente, a principal espécie cultivada para produção de palmito. Ainda é pouco estudada do ponto de vista da fisiologia da produção e, em sua região de origem, está submetida a condições climáticas praticamente constantes durante o ano, enquanto no estado de São Paulo, a espécie está sendo cultivada em latitude superior a 21° S, o que condiciona variação estacional no clima, com possíveis períodos de deficiência hídrica do solo, causando perdas de produção. Apesar da conhecida importância da fotossíntese na conversão de energia luminosa em energia química de compostos orgânicos, esse processo é bastante complexo e ainda faltam conhecimentos relacionados aos impactos do ambiente nas reações fotoquímicas e de fixação e redução do CO₂. Os primeiros estudos sobre fotossíntese em pupunheiras em São Paulo foram executados nos Centros de P&D de Horticultura e de Biosistemas Agrícolas e Pós-colheita e revelaram uma forte dependência da fotossíntese na estação do ano, sendo maiores no verão, seguidas pela primavera e outono, para serem as menores no inverno, ou seja, fortemente dependentes da temperatura (Tucci *et al.*, 2010). Também se observaram

forte queda das trocas gasosas em função do déficit hídrico (Tucci *et al.*, 2018).

O objetivo da programação futura da pesquisa em fisiologia da produção é dar continuidade e aperfeiçoar o programa já adotado, ampliando os conhecimentos das respostas e desempenho das culturas sob condições naturais e de estresse, explorando a variabilidade genética e novas práticas de manejo, frente às mudanças climáticas. Além de pesquisas em condições naturais, o programa prevê pesquisas em condições semicontroladas, em casa de vegetação, e controladas, em câmara climática, simulando condições futuras de ambientes extremos, visando o conhecimento das respostas sob as diversas condições possíveis de ocorrência (Figura 3A, B, C). Enfim, a compreensão de como as plantas aclimatam-se e/ou adaptam-se aos desafios ambientais, mitigando as consequências estressantes, são importantes na elaboração de programas de melhoramento genético e de novas práticas agrícolas para o futuro.

Pós-colheita

Além de contribuir com a insegurança alimentar, o desperdício de alimentos gera consequências para o ambiente como o uso do solo, recursos hídricos e energia, além da geração de poluição ambiental pelos fertilizantes e defensivos durante a produção de alimentos que nunca alimentarão ninguém. O desperdício de alimentos acaba sendo responsável por 8% a 10% de todas as emissões de gases de efeito

estufa produzidos por seres humanos, de acordo com o relatório sobre mudanças climáticas apresentado em 2019 na Semana do Clima da América Latina e Caribe, o primeiro a destacar a relação entre esse fenômeno e o desperdício de alimentos.

Repensar a forma de lidar com a produção e consumo de alimentos, nunca foi tão necessário. Nos últimos 50 anos, houve um expressivo aumento na oferta de alimentos, mas também foi nítido o maior consumo dos recursos naturais, o que pode comprometer, a longo prazo, a exploração agrícola. É cada vez mais urgente uma agricultura que busque não só aumentar a produtividade, mas também minimizar os impactos excessivos ao meio ambiente e à sociedade, e que resulte na oferta de produtos saudáveis e na rentabilidade aos produtores. Para superar os maiores desafios da atualidade, um dos objetivos de desenvolvimento sustentável, segundo a ONU, são justamente o consumo e a produção de alimentos de forma responsável. Uma das metas desse objetivo é que, até 2030, se reduza pela metade o desperdício mundial de alimentos per capita, incluindo perdas pós-colheita. De modo geral, cerca de 15% a 30% dos alimentos se perde entre a colheita e o consumo, quando se considera frutas e outros vegetais, perde-se mais de 20%. De acordo com o relatório lançado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), em 2021, cerca de 17% do total de alimentos disponíveis aos consumidores foram para o lixo das residências, varejo, restaurantes e outros serviços alimentares em 2019.

São muitas as causas para tanto desperdício, como a perecibilidade intrínseca de alimentos, condições inadequadas de embalagem, manuseio, transporte e armazenamento, dentre outras.

Todas essas perdas e os desperdícios de alimentos sinalizam que ainda há um longo caminho a ser percorrido, mas a chave está na produção e conservação de alimentos de forma mais eficiente, investindo na incorporação de inovação tecnológica.

A equipe de pesquisadores de pós-colheita do IAC tem concentrado seus esforços no emprego da ciência e no desenvolvimento de tecnologias para a conservação de qualidade de produtos hortícolas e redução de perdas, por meio da integração de diversas áreas do conhecimento.

As mudanças climáticas deverão impactar muitas áreas de produção em um futuro próximo, incluindo a produção de frutas temperadas. Para que essas frutas sejam produzidas, mesmo em regiões de clima mais quente, é necessário o desenvolvimento de programas de melhoramento genético para adaptá-las às condições de inverno ameno e oscilações de temperatura, bem como uma criteriosa avaliação de sua qualidade pós-colheita, incluindo seus compostos bioativos. É comum observar na literatura variação de mais de 100% nos teores de compostos fenólicos e da atividade antioxidante entre amoras-pretas e framboesas de mesma cultivar, mas produzidas em diferentes locais. Podem ocorrer variações no conteúdo dos compostos bioativos em resposta

ao local de cultivo devido às diferenças na intensidade da radiação solar e nas faixas de temperatura. Os ciclos iniciais de produção das amoras-pretas e framboesas cultivadas na região de Jundiaí (SP), apontam variação nos compostos fenólicos de 120 a 210 mg de ácido gálico 100 g^{-1} entre as cultivares dessas duas espécies (Bettiol Neto *et al.*, 2021), valores inferiores aos encontrados nessas mesmas frutas quando cultivadas em clima com temperatura mais fria no inverno.

O trabalho com a conservação dos produtos hortícolas começa desde a colheita, antes mesmo de serem comercializados. A adoção de programas de certificação que envolvem as Boas Práticas Agrícolas (BPA) desde a produção, colheita e pós-colheita é essencial para preservar a qualidade dos vegetais e, dessa forma, contribuir para a redução de perdas que ocorrem nas etapas de comercialização e consumo. Esses programas definem procedimentos sanitários, tecnológicos, ambientais e sociais para pré e pós-colheita, para que seja ofertado o alimento seguro, e devem ser cada vez mais implementados frente às exigências dos mercados nacional e internacional (Portaria MAPA nº 337, de 8 de novembro de 2021). Ainda que o Brasil se destaque como um dos maiores produtores de hortifrutícolas do mundo constata-se uma grande diversidade social, econômica e cultural entre os elos das cadeias produtivas. Por isso, é importante promover meios de difusão e implementação do uso de Boas Práticas Agrícolas, manejo integrado, sistemas de produção mais adequados, preservação do solo

e da água, treinamento e higiene dos trabalhadores, tecnologias inovadoras e acessíveis, menor custo de produção e de mão de obra, associativismo, sistema de gestão e rastreabilidade, entre outras ações visando à sustentabilidade. Na etapa de manuseio dos produtos em galpão de embalagem também se observa grande disparidade tecnológica, desde barracões abertos e máquinas desatualizadas até grandes galpões estruturados com equipamentos modernos de classificação e embalagem automatizados e com certificados de qualidade. Em trabalhos realizados pela equipe de pesquisadores, com coletas de frutos (tomate, limão) em diferentes etapas de manuseio no galpão de embalagem, pode-se notar a ocorrência de podridões após o armazenamento, devido ao uso de produtos e/ou processos tecnológicos inadequados, que acarretam danos mecânicos e favorecem a deterioração microbiana, quando o objetivo real seria a padronização e a manutenção da qualidade. (Guido, 2019). Por outro lado, nas Centrais de Abastecimento e em outros atacadistas e varejistas, em razão da exposição dos produtos à temperatura ambiente, onde raramente se utiliza o resfriamento, além da prática de retrabalho em condições impróprias, há perdas expressivas e risco de contaminação cruzada. É preciso inovar o modelo para o sistema atacadista, a infraestrutura e logística de transporte e distribuição, que visem a manutenção da qualidade do produto, redução do desperdício, com agregação de valor, rastreabilidade e incentivo à sustentabilidade do agronegócio. As

Boas Práticas Agrícolas, bem como produtos, processos e tecnologias adequados, devem ser adotados do campo à mesa do consumidor.

A falta de classificação contribui para o desperdício. Produtos sem padronização e mal classificados, além de incorrerem na falta de rastreabilidade resultam em linguagem de comercialização desuniforme, manuseio excessivo e reclassificação. A equipe do IAC tem trabalhado com a técnica de visão de máquina, que consiste na caracterização de um material por meio de imagens digitais. O desenvolvimento de metodologias não destrutivas para avaliação da qualidade de frutas e hortaliças, por meio de imagens digitais é capaz de selecionar o diâmetro, comprimento, calibre e coloração da casca de frutas e hortaliças. Os pesquisadores desenvolveram novas metodologias para classificação por tamanho e cor da casca em laranjas, limões, tomates, pêssegos, nectarinas e ameixas com precisão e confiabilidade (Silveira *et al.*, 2022).

A constante busca e adoção de novas tecnologias pós-colheita contribui para a redução das perdas e para que os vegetais mantenham suas propriedades e qualidade até a mesa do consumidor. O óxido nítrico (NO) é uma molécula sinalizadora com vários efeitos no desenvolvimento vegetal. Pesquisas realizadas pelo IAC buscam testar a eficiência de formas de aplicação e formulação desse produto. A aplicação do NO por pulverização e incorporado em matrizes poliméricas pela nanotecnologia pode ser uma

alternativa bastante vantajosa quando se pensa no fluxo da casa de embalagem e também na estabilidade e eficiência da molécula. Em estudo já foi possível controlar a perda de massa e firmeza do mamão no armazenamento por meio da pulverização de frutos com NO (Machado *et al.*, 2022).

Na etapa pós-colheita, perdas significativas também são acarretadas pela ocorrência de podridões, originadas no campo e no processo de manuseio. O controle pós-colheita de doenças em frutos pode ser feito com aplicação de fungicidas, quando registrados no MAPA (AGROFIT). Porém, o uso contínuo de fungicidas, que pode levar à seleção de cepas resistentes de microrganismos, e a tendência mundial por produtos vegetais livres de resíduos químicos, vêm incrementando o uso de bio defensivos. O manejo integrado de métodos de controle na pós-colheita é o mais adequado como os métodos físicos (atmosfera modificada, radiação ultravioleta-C, tratamento térmico) e alternativos (quitosana, etanol, inibidores da síntese de etileno, óleos essenciais), visando contribuir com os diferentes sistemas de produção, segurança alimentar, sustentabilidade e atentos às consequências das mudanças climáticas aos produtos vegetais e à microbiota (Lopes, 2022). Pesquisas estão sendo desenvolvidas envolvendo, por exemplo, o uso de revestimentos, tratamentos físicos e compostos voláteis, para o controle de podridões. Em tangor 'Murcott', o tratamento térmico a 50 °C/5 min e a quitosana (2%/1 min) reduziram significativamente o desenvolvimento do bolor verde em frutos mantidos a

25 °C ou sob refrigeração (Da Silva *et al.*, 2020). Voláteis como o etanol, também apresentaram resultados satisfatórios na redução do desenvolvimento da antracnose em goiabas (40%/2 min) (Ponzo *et al.*, 2018).

Considerações finais

Conforme apresentado nos tópicos anteriores, de fato a produção agrícola está intimamente relacionada com as variações do clima e dos efeitos adversos resultantes das mudanças climáticas, principalmente no que se refere à precipitação e à temperatura.

As tecnologias e os processos inovadores gerados no Centro de P&D de Biosistemas Agrícolas e Pós-colheita pela ciência e pelo conhecimento de processos fisiológicos e produtivos das plantas, da dinâmica da água no sistema planta-ambiente e de soluções inovadoras para redução de perdas, bem como produtos e processos alternativos de conservação da qualidade dos produtos vegetais contribuem para atender a demanda de alimentos de uma população mundial crescente, ávida por segurança alimentar e sustentabilidade, no contexto das mudanças climáticas.

Referências

ALMEIDA, R. L., *et al.* Variability and heritability of photosynthetic traits in *Saccharum* complex. Theoretical and Experimental. **Plant Physiology**. n. 33, p. 343-355, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40626-021-00217-x>.

BETTIOL NETO, J. E.; SANCHES, J.; TEIXEIRA, L. A. J. Amora-preta em São Paulo: renda para o produtor e saúde para o consumidor. **O Agrônomo**, Campinas, v. 73, p. 41-50, 2021.

BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Quantificação da seca agrícola pelo índice padronizado de evapotranspiração real (IPER) no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 65, p. 517-528, 2006.

BLAIN, G. C.; SOBIERAJSKI, G. R.; MARTINS, L. L. **The PowerSDI**: an R-package for implementing and calculating the SPI and SPEI using data from the Nasa-Power Project. *Environmental Modelling and Software*, 2023 (in press). Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4442843>.

BRANCO, R. B. F.; HIRATA, A. C. S.; PURQUERIO, L. F. V.; FACTOR, T. L.; LIMA JÚNIOR, S.; SILVEIRA, J. M. C.; TIVELLI, S. W. Manejo conservacionista do solo no cultivo de olerícolas. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa: SBCS, 2019. p. 1119-1161.

CERQUEIRA, G.; SANTOS, M. C.; MARCHIORI, P. E. R.; SILVEIRA, N. M.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Leaf nitrogen supply improves sugarcane photosynthesis under low temperature. **Photosynthetica**, v. 57, p. 18-26, 2019.

DA SILVA, Y. C. R.; ALVES, R. M.; DA SILVA, B. M. P.; BRON, I. U.; CIA, P. Chitosan and hot water treatments reduce postharvest green mould in Murcott tangor. **Journal of Phytopathology**, v. 168, p. 542-550, 2020.

GUIDO, R. I. **Diversidade de aleirodídeos, cochonilhas (Hemiptera: Aleyrodoidea, Coccoidea) e de parasitoides**

(Hymenoptera) da mosca-negra-dos-citros (*Aleurocanthus woglumi* Ashby) (Hemiptera: Aleyrodoidea) e efeitos das etapas de beneficiamento pós-colheita em lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tanaka) no Estado de São Paulo. 2019. 87 f. Tese (Doutorado em Segurança Alimentar e Sanidade no Agroecossistema) - Instituto Biológico, São Paulo, 2019.

LOPES, V. C. **Óleos essenciais no controle de podridões e na qualidade pós-colheita de uva 'Itália'**. 2022. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo, Campinas, 2022.

MACHADO, M. R.; DA VEIGA, J. C.; SILVEIRA, N. M.; SEABRA, A. B.; BOZA, Y. E. A. G.; PELEGRINO, M. T.; CIA, P.; VALENTINI, S. R. T.; BRON, I. U. Nitric oxide supply reduces ethylene production, softening and weight loss in papaya fruit. **Bragantia**, v. 81, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210109>.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, J. L.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 75-82, 2008.

MARCOS, F. C. C.; SILVEIRA, N. M.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, E. C.; SOUZA, G. M.; LANDELL, M. G. A.; RIBEIRO, R. V. Drought tolerance of sugarcane propagules is improved when origin material faces water deficit. **PLoS One**, v. 13, p. e0206716, 2018a.

MARCOS, F. C. C.; SILVEIRA, N. M.; MOKOCHINSKI, J. B.; SAWAYA, A. C. H. F.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, E. C.; SOUZA, G. M.; LANDELL, M. G. A.; RIBEIRO, R. V. Drought tolerance of sugarcane is improved by previous exposure to water deficit. **Journal of Plant Physiology**, v. 223, p. 9-18, 2018b.

MIRANDA, M. T.; DA SILVA, S. F.; SILVEIRA, N. M.; PEREIRA, L.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on citrus rootstocks under water deficit. **Journal of Plant Growth Regulation**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10069-5>.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, L. A.; ALVES, L. M. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, p. 252-262, 2016.

OHASHI, A. Y.; PIRES, R. C. de M.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, A. L. B. O. Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertigated by a subsurface drip system. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 131-138, 2015.

OHASHI, A. Y. P.; PIRES, R. C. de M.; XAVIER, M. A.; PERECIN, D.; SILVEIRA, L. K.; PETRI, R. H. Irrigation management based on reference evapotranspiration for pre-sprouted plantlets of sugarcane cultivars. **Bragantia**, v. 79, p. 293-304, 2020.

PIRES, R. C. de M.; BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; SILVA, T. J. A. Effects of subsurface drip irrigation and different planting arrangements on the yields and technological quality of sugarcane. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 140, p. 1-6, 2014. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000710](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000710).

PIRES, R. C. de M.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação de fruteiras subtropicais (citricultura e videira). In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (ed.). **Diferentes Abordagens sobre Agricultura Irrigada no Brasil**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2021, p. 461-497.

PONZO, F. S.; BENATO, E. A.; SILVA, B. M. P.; CIA, P. Ethanol on the postharvest control of anthracnose in 'Kumagai' guava. **Bragantia**, v. 77, p. 160-167, 2018.

ROSSETTO, R.; RAMOS, N. P.; PIRES, R. C. de M.; XAVIER, M. A.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. A. Sustainability in Sugarcane Supply Chain in Brazil: Issues and Way Forward. **SugarTech**, v. 24, p. 941-966, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01170-y>.

SAKAI, E.; BARBOSA, E. A. A.; SILVEIRA, J. M. C.; PIRES, R. C. de M. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 16-23, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.020>.

SANTOS, C. M. A.; RIBEIRO, R. V.; MAGALHÃES FILHO, J. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C. Low substrate temperature imposes higher limitation to photosynthesis of orange plants as compared to atmospheric chilling. **Photosynthetica**, v. 49, p. 546-554, 2011.

SANTOS JR., E. P.; XAVIER, A. C. F.; MARTINS, L. L.; SOBIERAJSKI, G. R.; BLAIN, G. C. Using a regional frequency analysis approach for calculating the Standardized Precipitation Index: an operational approach based on the two-parameter gamma distribution. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-18, 2022.

SCARPARE, F. V.; VAN LIER, Q. de J.; CAMARGO, L. de; PIRES, R. C. de M.; RUIZ-CORRÊA, S. T.; BEZERRA, A. H. F.; GAVA, G. J. C.; DIAS, C. T. S. Tillage effects on soil physical condition and root growth associated with sugarcane water availability, **Soil and Tillage Research**, v. 187, 2019, p. 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.005>.

SILVA, A. L. B. O.; PIRES, R. C. de M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; BLAIN, G. C. ; OHASHI, A. Y. P. Development, yield and quality attributes of sugarcane cultivars fertigated by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 525-532, 2016.

SILVA, A. L. B. O. **Desenvolvimento vegetativo e radicular da cana-de-açúcar sob irrigação de salvamento no cerrado brasileiro**. 2019. 93 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2019.

SILVA, S. F.; MIRANDA, M. T.; CUNHA, C. P.; DOMINGUES JR., A. P.; ARICETTI, J. A.; CALDANA, C.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Metabolic profiling of drought tolerance: Revealing how citrus rootstocks modulate plant metabolism under varying water availability. **Environmental and Experimental Botany**, v. 206, p. 105169, 2023.

SILVEIRA, J. M. C.; LIMA JÚNIOR, S.; SAKAI, E.; MATSURA, E. E.; PIRES, R. C. de M.; ROCHA, A. M. Identificação de áreas irrigadas por pivô central na sub-bacia Tambaú-Verde utilizando imagens CCD/CBERS. **IRRIGA**, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 721-729, 2013. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n4p721. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/684>. Acesso em: 19 abr. 2023.

SILVEIRA, J. M. C.; NASSER, M. D.; LIMA JÚNIOR, S.; CORREIA, E. A.; JANOSKI, S. L. Produção e tamanho de grãos de café *Coffea arabica* L. (cv Obatã) sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 4, p. 204-210, 2015.

SILVEIRA, J. M. C.; CANDIDO, B. M.; SILVA, A. L. B. O.; PAVÃO, G. C.; XAVIER, M. A.; PIRES, R. C. de M. Uso de imagens multiespectrais e termográficas para monitoramento das condições hídricas da cana-de-açúcar. **IRRIGA**, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 689-696, 2020. DOI: 10.15809/irriga.2020v25n4p689-696. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4174>. Acesso em: 19 abr. 2023.

SILVEIRA, J. M. C.; PIRES, R. C. de M.; MACHADO, E. C.; ERISMANN, N. M.; SILVEIRA, N. M.; BENATO, E. A.; BRON, I. U.; SANCHES, J.; CIA, P.; VALENTINI, S. R. T.; PANTANO, A. P.; BLAIN, G. C. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Biosistemas Agrícolas e Pós-colheita. **O Agrônomo**, Campinas, v. 74, p. 90-114, 2022.

SILVEIRA, L. K.; PAVÃO, G. C.; DIAS, C. T. S.; QUAGGIO, J. A.; PIRES, R. C. de M. Deficit irrigation effect on fruit yield, quality and water use efficiency: A long-term study on Pera-IAC sweet orange. **Agricultural Water Management**, v. 231, 106019, 2020.

SILVEIRA, N. M.; SEABRA, A. B.; MARCOS, F. C. C.; PELEGRINO, M. T.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Encapsulation of S-nitrosoglutathione into chitosan nanoparticles improves drought tolerance of sugarcane plants. **Nitric Oxide** v. 84, p. 38-44, 2019.

SILVEIRA, N. M.; PRATAVIERA, P. J. C.; PIERETTI, J. C.; SEABRA, A. B.; ALMEIDA, R. L.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Chitosan-encapsulated nitric oxide donors enhance physiological recovery of sugarcane plants after water deficit. **Environmental and Experimental Botany**, v. 190, p. 104593, 2021.

TUCCI, M. L. S.; ERISMANN, N. M.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peach palms grown under subtropical conditions. **Photosynthetica**, v. 48, p. 421-429, 2010.

TUCCI, M. L. S.; MACHADO, E. C.; MODOLO, V. A.; ERISMANN, N. M. Photosynthesis and water relations of peach palms (*Bactris gasipaes* Kunth) under soil water deficit. **Theoretical Experimental Plant Physiology**. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40626-018-0099-0>.

VOGEL, E.; DONAT, M. G.; ALEXANDER, L. V.; MALTE MEINSHAUSEN, M.; RAY, D. K.; KAROLY, D.; MEINSHAUSEN, N.; FRIELER, K. The effects of climate extremes on global agricultural yields. **Environmental. Research Letters**, v. 14, 2019.

XAVIER, M. A.; PETRI, R. H.; RUY, C. M. L. S.; SILVA, V. H. P.; SILVA, T. N.; BORGES, I. S.; REIS, V. B. V.; BESSI JUNIOR, I. J.; CRUZEIRO, V. C. S.; FIRMINO, J.; BASSETTO, S. C.; AFERRI, G.; FUZIKAWA, I. H. S.; PORTUGAL, C. B.; ALMEIDA, J. C. **A cana além do açúcar e do etanol**. 1. ed., Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 2018. v. 1. 83 p.



CAFÉ

Segurança Alimentar:
Sustentabilidade e Impacto das
Mudanças Climáticas na Produção
Agrícola do Café

Júlio Cesar Mistro*, Maria Bernadete Silvarolla,
Sérgio Parreiras Pereira, Gerson Silva Giomo,
Flávia Maria de Mello Bliska, Julieta Andréa Silva
de Almeida, Mirian Perez Maluf, Lilian Padilha

[*julio.mistro@sp.gov.br](mailto:julio.mistro@sp.gov.br)

1. Importância da cultura

O Brasil é o maior produtor mundial de café, seguido do Vietnã e Colômbia. A produção mundial na safra 2022/23 foi estimada em 172,8 milhões de sacas de 60 quilos e o Brasil contribuiu com 29,47% desse montante. No mesmo período, o consumo global atingiu 167,9 milhões de sacas de 60 quilos, sendo o Brasil o segundo maior consumidor mundial, atrás apenas dos Estados Unidos. Em 2022 foram consumidas no Brasil, 21,3 milhões de sacas de 60 kg ou 5,96 kg per capita (incluindo solúvel), dos quais 4,77 kg de café torrado. O Brasil, também, é o maior exportador mundial, com 39,8 milhões de sacas em 2022, distribuídas para 145 países, tendo gerado receita de US\$ 9,2 bilhões, maior valor já registrado desde 1997, sendo os Estados Unidos e a Alemanha os principais destinos (CONAB, 2023; OIC, 2023).

A contribuição da cafeicultura é historicamente relevante para a economia nacional em razão da geração de riquezas, com reflexos positivos na balança comercial do país e, sobretudo, geração de empregos. As alterações tecnológicas mais significativas na produção cafeeira brasileira e a consolidação de sua adoção ocorreram a partir da década de 1960. Nesse mesmo período ocorreram fenômenos favoráveis à cafeicultura, como o aumento do consumo interno e a consolidação da indústria do solúvel, sobretudo no estado de São Paulo. Estudos sobre a economia brasileira, subdividida em 44 setores, apontam a produção de café robusta como o setor que gera mais empregos

totais por unidade monetária e que a produção de café arábica é o quarto maior gerador de empregos (Bliska *et al.*, 2015; Moretto *et al.*, 2015; Sakon *et al.*, 2012).

De acordo com o Censo Agropecuário (IBGE, 2017), a cafeicultura nacional compreendeu 264.362 estabelecimentos agropecuários com mais de 50 plantas de café¹, dos quais 205.620 (77,78%) familiares. Esses estabelecimentos estão distribuídos em 23 estados e no Distrito Federal². Os estabelecimentos cafeeiros paulistas somaram 10.717 (4,05% do total brasileiro), sendo que 7.119 (66,43%) são familiares (IBGE, 2017).

O valor da produção brasileira (arábica e robusta) somou R\$ 16,31 bilhões, 35,76% provenientes da agricultura familiar. O estado de São Paulo contribuiu com R\$ 1,44 bilhões (8,84%), dos quais 19,71% da agricultura familiar (IBGE, 2017). Quanto ao volume produzido, o Brasil somou 2,35 milhões de toneladas de arábica e robusta, das quais 892 mil toneladas (37,85%) da agricultura familiar. São Paulo contribuiu com 209,60 mil toneladas (8,89%) da produção total³, concentradas nas

¹ 71,26% produzem sobretudo café arábica (*Coffea arabica*) e 28,74% café robusta (*Coffea canephora*).

² Ordem decrescente de importância: Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Rondônia, São Paulo, Paraná, Mato Grosso, Rio de Janeiro, Acre, Pará, Pernambuco, Ceará, Amazonas, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal, Santa Catarina, Roraima, Amapá, Tocantins, Paraíba, Maranhão, Rio Grande do Norte e Alagoas.

³ 49.455 toneladas (23,60%) do volume produzido no estado de São Paulo provêm da agricultura familiar.

Regiões Intermediárias de Ribeirão Preto (36,71%) e Campinas (27,60%).

No estado de São Paulo, sobretudo com relação à qualidade da bebida, se destaca a Alta Mogiana, Região Intermediária de Ribeirão Preto, com selo de Indicação de Procedência, onde se concentram pequenos e médios estabelecimentos que produzem volume significativo de cafés de excelente qualidade, sobretudo em função das condições edafoclimáticas favoráveis (Faleiros *et al.*, 2020). Além do investimento em qualidade diferenciada, o aumento e a diversificação da renda dos estabelecimentos cafeeiros conta com a crescente incorporação de atividades como cafeterias, visitas guiadas, hospedagem, comércio de cafés e outros produtos da agroindústria local ou regional, com destaque, em São Paulo, do Circuito das Águas Paulista⁴ e da região vulcânica, na divisa de São Paulo e Minas Gerais⁵ (Bliska *et al.*, 2022).

Apesar dos esforços setoriais para aumentar a competitividade do agronegócio do café brasileiro, com investimentos em inovações tecnológicas e sua incorporação na atividade, aperfeiçoamento da gestão e implementação de políticas públicas, sua competitividade está fortemente relacionada às condições climáticas. Geadas, temperaturas elevadas, precipitações abaixo das médias regionais e estiagens prolongadas,

contribuem para a redução do volume produzido e da qualidade dos grãos e da bebida. Em que pese a bienalidade, na última década os efeitos das adversidades climáticas resultaram em forte impacto negativo no segmento cafeeiro paulista.

2. Principais problemas que as mudanças climáticas e/ou a necessidade de práticas mais sustentáveis estão causando na cultura/produção agrícola

Alguns estudos indicam que as mudanças climáticas poderão reduzir a área adequada para a produção de café arábica no Brasil. Estudo realizado por Koh *et al.* (2020) avaliou os impactos das mudanças climáticas na produção de café arábica ou a vulnerabilidade do café às mudanças climáticas. Para tratar essas lacunas de conhecimento, os autores avaliaram a sensibilidade da produção de café à variação da temperatura e à precipitação, de 1974 a 2017, para mapear os riscos climáticos do café. A partir disso criaram um Índice de Vulnerabilidade para identificar as regiões teoricamente menos capazes de se adaptarem aos riscos climáticos. O estudo conclui que desde 1974 as temperaturas nos municípios cafeicultores brasileiros vêm aumentando em ~0,25 °C por década e a precipitação anual tem diminuído durante a floração e os períodos de amadurecimento. Essa mudança climática histórica resultou em reduções na produção de café em mais de 20% no Sudeste do Brasil. Minas Gerais, o maior produtor de café do país, tem um dos maiores riscos climáticos. Além

⁴ Municípios de Águas de Lindóia, Amparo, Holambra, Jaguariúna, Lindóia, Monte Alegre do Sul, Pedreira, Serra Negra e Socorro.

⁵ Municípios de Águas da Prata, Caconde, Divinolândia e São Sebastião da Grama.

disso, muitos municípios com menor capacidade adaptativa, incluindo regiões montanhosas, também têm alta exposição a riscos climáticos. Os impactos negativos do clima em regiões cafeeiras podem ser potencialmente compensados direcionando-se a elas pesquisa, extensão e subsídios de crédito para cultivares melhoradas, irrigação, agroflorestas e diversificação da produção (Koh *et al.*, 2020).

As práticas agroflorestais têm sido propostas como uma estratégia baseada na natureza para mitigação e adaptação dos cafeicultores a climas futuros. No entanto, o sombreamento produzido pelos sistemas agroflorestais é um fator altamente controverso para a produção de café em termos de potencial redução de rendimento, além de suas relações com pragas e doenças. Koutouleas *et al.* (2022) resumem a investigação recente relacionada aos efeitos do sombreamento: (i) utilização e percepção dos agricultores, (ii) microambiente do café, (iii) incidência de pragas e doenças, (iv) assimilação de carbono e fenologia das plantas, (v) atributos de qualidade, (vi) criação de novos híbridos de café arábica F_1 para os futuros sistemas agroflorestais, e (vii) produção de café sob as alterações climáticas. Neste texto são discutidos se os sistemas sombreados são uma estratégia viável para melhorar a sustentabilidade da cafeicultura frente às condições climáticas adversas. São também propostas pesquisas para o desenvolvimento de novas cultivares de café adaptadas aos sistemas agroflorestais, aperfeiçoamento de ferramentas de extensão, seleção de espécies de árvores de sombra

adaptadas aos diversos locais e desenvolvimento de políticas e incentivos econômicos que permitam a adoção de práticas agroflorestais sustentáveis.

Os sistemas de café sombreado alteram tanto o microambiente acima como abaixo do solo, e têm impacto na fisiologia, fenologia (e, portanto, rendimento), bem como nos atributos de qualidade. Trabalhos recentes que examinam os efeitos dos sistemas agroflorestais sobre o microambiente do café tendem a corroborar estudos anteriores que mostraram reduções na temperatura do ar, velocidade do vento, níveis de radiação, plantas daninhas, perdas de água por transpiração e proteção contra geadas. Em relação à fisiologia e fenologia das plantas do café sombreadas, o desempenho fotossintético pode potencialmente compensar a redução da irradiação sob ambientes sombreados; no entanto, floradas menores podem levar a reduções de rendimento se o nível de sombra for muito elevado. Estes aspectos fisiológicos poderão ser considerados também em futuros programas de melhoramento, a fim de reduzir os efeitos negativos do sombreamento em novos genótipos. Quanto aos efeitos da sombra sobre as doenças e pragas do café, as recentes descobertas parecem ser específicas para os ambientes estudados e/ou as espécies de árvores de sombra utilizadas, observando-se uma grande variação entre os estudos sobre esse assunto. As orientações de manejo de pragas ou agentes patogênicos devem ser específicas para o local e ligadas à previsão do tempo (especialmente

precipitação e umidade) a fim de serem relevantes para a região agrícola do café. Vários atributos de qualidade e/ou bioquímicos do café também demonstraram evoluir positivamente sob a sombra em cultivares de *C. arabica*, tais como Catuaí, Catimores (especialmente CR95) e Sarchimores (especialmente IAPAR59), embora para algumas cultivares não haja vantagens decorrentes da implementação de sombreamento. Além disso, recentes programas de melhoramento de arábica desenvolveram híbridos F_1 capazes de manter um alto rendimento e qualidade de bebida sob condições de sombra.

Estudos que avaliam o impacto da elevação de CO_2 no cafeeiro datam da última década e mostram que o CO_2 pode melhorar o desempenho fotossintético do cafeeiro, promover o investimento de carbono nas estruturas reprodutivas, impulsionar o rendimento e, sobretudo, pode aumentar o vigor das plantas e sua resiliência às restrições causadas pelo calor e pela seca. No entanto, o cafeeiro é ainda altamente vulnerável aos outros impactos prejudiciais associados às alterações climáticas e, por conseguinte, novas práticas de manejo devem ser consideradas para futuras produções.

O efeito tampão que os sistemas agroflorestais têm no microclima do café servem como mitigação em ambientes desfavoráveis ou para alterações climáticas, sendo uma estratégia de adaptação contra as alterações climáticas. Tendo isto em conta, os cafeicultores podem ter mais proteção em um sistema agroflorestal

em comparação com sistema intensivo a pleno sol. Finalmente, o conjunto de serviços ao ecossistema, fontes de receitas alternativas e aumento da qualidade de bebida (para arábica), decorrentes do sombreamento, podem ajudar a compensar as potenciais perdas de rendimento do café cultivado em sistemas agroflorestais. A pesquisa deve continuar a desenvolver cultivares de café adaptadas a sistemas agroflorestais, em particular aquelas que podem manter um alto nível de rendimento sob sombra.

Segundo Nascimento *et al.* (2023), a edição de genes por *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* (CRISPR/Cas) vem se revelando uma ferramenta versátil para edição genética, com foco no desenvolvimento de cultivares de plantas resistentes ou tolerantes a estresses bióticos ou abióticos. Tem sido utilizada com sucesso em arroz e, mais recentemente, em tomate, cujo número de estudos aumentou desde 2021. A maioria dos estudos foi realizada na China. Essa tecnologia já vem sendo utilizada para o melhoramento de algumas características do café.

3. Impacto desses problemas

3.1. Déficit hídrico e/ou temperaturas elevadas

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tem apontado o aumento significativo das temperaturas médias globais nas últimas décadas, com projeções futuras de elevações na temperatura atmosférica em nível global e impactos significativos nos

sistemas humanos e ambientais (IPCC, 2018). O fenômeno do aquecimento global leva às mudanças climáticas, como a elevação da temperatura e a seca intensa e frequente. O aumento da temperatura afeta diretamente o ciclo da água elevando a evaporação, alterando a umidade do solo, o escoamento e, conseqüentemente, influenciando a disponibilidade e a quantidade desta para o consumo das plantas. Além disso a redução da água do solo altera a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. Entende-se seca como sendo um fenômeno climático que resulta em baixos níveis de precipitação e de umidade relativa do ar por longo período de tempo em determinada localidade (Buriti; Barbosa, 2018). De acordo com Rodrigues *et al.* (2014) o clima é considerado o principal fator de influência no desempenho produtivo da planta e, conseqüentemente, nos custos de produção.

3.2. Migração do café para outras culturas

Os principais efeitos das mudanças climáticas na agricultura cafeeira são redução ou eliminação da produção em certas áreas (Coffee & Climate, 2015). Estudos de simulação da alteração da temperatura do início dos anos 2000 indicam que o aumento da temperatura de 1 a 2 °C poderá afetar as regiões brasileiras tradicionalmente aptas à cafeicultura, podendo causar o deslocamento do seu cultivo para outras regiões, o que alterará a configuração do cultivo do café no Brasil (Assad *et al.*, 2004; Zullo *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2007).

Neste cenário de ocorrência de temperaturas elevadas e escassez de chuvas, pessoas que trabalham com a cadeia produtiva cafeeira ficam vulneráveis, deixam de cultivar café, mudam para outros ramos de atividades. Desta forma, há impacto significativo na cadeia produtiva do cafeeiro por prejudicar aspectos culturais e também sociais, já que existe o envolvimento de elevado número de profissionais em elos diferentes dessa atividade (Alemu; Dufera, 2017).

3.3. Produção

Plantas da espécie *C. arabica* se caracterizam com porte arbustivo lenhoso e perene, com ciclo fenológico diferenciado e complexo (Carvalho, 2008), sendo que as fases vegetativa e reprodutiva ocorrem simultaneamente (Gouveia, 1984). Assim, plantas de cafeeiro completam o ciclo fenológico em dois anos sendo que os estágios vegetativo e floral ocorrem em um ano e a produção de frutos no ano seguinte, o que caracteriza essa espécie como bianual (Pezzopane *et al.*, 2003). Camargo e Camargo (2001) estabeleceram uma escala fenológica didática de seis fases de desenvolvimento para as plantas de arábica completarem o ciclo reprodutivo (Figura 1), sendo duas vegetativas e quatro reprodutivas: 1ª vegetação e formação de gemas foliares; 2ª indução e maturação das gemas florais; 3ª florada; 4ª granação dos frutos; 5ª maturação dos frutos; 6ª repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários, sendo a 1ª e 2ª no período vegetativo e da 3ª a 6ª no período reprodutivo.

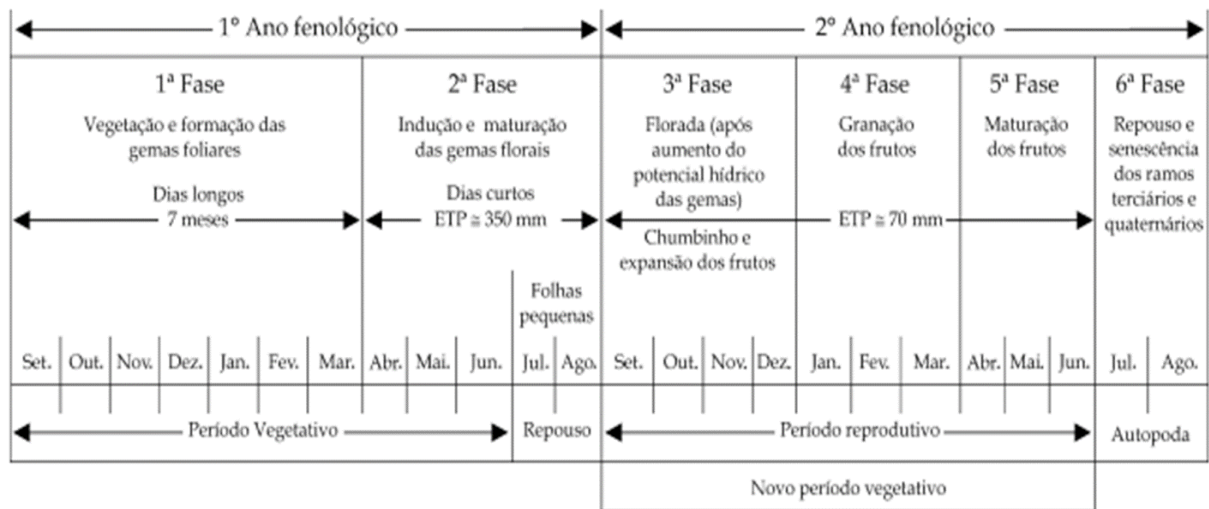


Figura 1. Esquematização das seis fases fenológicas do cafeeiro arábica, durante 24 meses, nas condições climáticas tropicais do Brasil (Camargo e Camargo, 2001).

A redução das chuvas, associada ou não às altas temperaturas, pode afetar as diferentes fases fenológicas do cafeeiro (Figura 1), prejudicando a brotação, a floração e o crescimento do grão e, consequentemente, a produção e a qualidade da bebida (Thomaziello *et al.*, 2000). Mas, o efeito da seca no cafeeiro dependerá de sua intensidade, duração e estágio fenológico da planta.

A cultura de *C. arabica* apresenta bom desempenho em temperaturas médias anuais entre 18 e 23 °C ou, idealmente, entre 19 e 21 °C, precipitação média anual entre 1200 e 1800 mm e altitudes entre 400 e 1200 m, sendo as altitudes recomendadas para plantio entre 600 e 1200 m (Thomaziello *et al.*, 2000).

Bierhals e Ferroni (2008) destacam que a disponibilidade de água é um fator que pode afetar significativamente

a cafeicultura brasileira, colocando em risco as previsões de futuras safras. Diminuições na oferta de água podem reduzir substancialmente o crescimento, ainda que não se observem características visíveis da deficiência hídrica nas plantas (Rena; Maestri, 2000; Damatta, 2004).

A floração do cafeeiro é significativamente afetada pela ocorrência de temperaturas que podem afetar a indução do botão floral, assim como o seu desenvolvimento (Camargo; Camargo, 2001). Temperaturas elevadas, superiores a 33 °C, causam a queima do botão floral (Figura 2), e favorecem o abortamento, o que prejudica a produção de frutos, diminuindo consideravelmente sua produtividade (Camargo, 1985; Sediyaama *et al.*, 2001; Pilau; Angelocci, 2016).



Figura 2. Florada em condições de seca e altas temperaturas. Foto: Vinicius Teixeira. Fonte: <https://rehagro.com.br/blog/fisiologia-e-fenologia-do-cafeeiro>.

As áreas de lavouras cafeeiras brasileiras, em geral, têm sido afetadas pela combinação de temperaturas elevadas e períodos recorrentes de seca, mas são os cafezais novos que tendem a ser mais prejudicados. Plantas jovens ainda não estão plenamente estabelecidas, o que afeta

a absorção de água (Figura 3) e leva à redução da produção de café (Silva *et al.*, 2022). Plantas de *C. arabica* podem tolerar déficit hídrico de até 150 mm por ano e acima desse valor o cafeeiro é prejudicado (Thomaziello *et al.*, 2000).



Figura 3. Cafeeiros jovens afetados pela seca. Foto: Guy Carvalho. Fonte: <https://dailycoffeenews.com/2020/10/23/how-climate-change-may-already-be-affecting-brazils-2021-crop/>.

Temperaturas altas podem afetar a produtividade da cultura do cafeeiro pela alteração do balanço entre a respiração e a fotossíntese (Damatta; Ramalho, 2006). Pinto *et al.* (2007) explicam que temperaturas próximas a 40 °C nas folhas de cafeeiro tendem a diminuir gradualmente a fotossíntese. Nessa cultura, a fotossíntese atinge taxas mais elevadas sob temperaturas entre 22 a 30 °C e, acima dessa faixa tende a haver redução de sua eficiência (Damatta; Ramalho, 2006). Temperaturas superiores a 28 °C reduzem a produção foliar, bem como a atividade fotossintética.

3.4. Pragas e doenças

Pragas típicas do cafeeiro como a broca e o bicho-mineiro podem aumentar de maneira significativa nas próximas décadas em cenários que apontam para aumento nas temperaturas médias globais (Jaramillo *et al.*, 2011). Por outro lado, o aumento da temperatura desfavorece a ferrugem, que é mais severa em ambientes frios.

3.5. Formação dos grãos

São três os tipos de grãos de café: chato (grãos normais com duas lojas desenvolvidas), moca (único grão de forma arredondada se desenvolve no fruto) e concha (quando mais de um óvulo se desenvolve em uma loja do ovário, resultando em grãos imbricados e irregulares). O grão chato tem valor comercial e os grãos moca e concha

são considerados defeitos e, portanto, sem valores comerciais. Grãos moca e concha reduzem drasticamente o rendimento do cafeeiro. Conforme apresentado na figura 1, Camargo e Camargo (2001) mostraram que a ocorrência de déficit hídrico entre setembro e dezembro prejudica o crescimento dos frutos, reduzindo o tamanho dos grãos. Se adversidades climáticas ocorrerem entre janeiro e março durante a granação dos frutos, 4ª fase, haverá prejuízos na produção. Portanto, adversidades climáticas ocorridas entre setembro e março reduzem significativamente o potencial produtivo do café arábica.

3.6. Qualidade da bebida

Elevadas temperaturas e precipitações pluviométricas escassas interferem não apenas na produção, mas também nos atributos sensoriais que conferem qualidade à bebida do café. Dentre as fases que definem a bebida de alta qualidade, a maturação dos frutos assume grande importância para cafés com pontuações acima de 80. Na fase de maturação ocorrem vários processos metabólicos e modificações na composição química, portanto quanto mais lenta for essa fase haverá uma tendência em se obter cafés com elevadas pontuações sensoriais. Altas temperaturas a partir de março fazem com que a maturação seja acelerada, comprometendo, então, a qualidade da bebida.

4. Ações prioritárias e direcionamento das pesquisas científicas para a solução do problema

Mesmo com os expressivos avanços tecnológicos nos últimos anos há ainda lacunas a serem superadas pelos programas de pesquisas do café arábica, principalmente aquelas relacionadas aos problemas inerentes às mudanças climáticas provenientes do aquecimento global, especialmente déficits hídricos e elevadas temperaturas. Implementar ações interdisciplinares visando o desenvolvimento de uma cafeicultura sustentável por meio de inovações que amenizem os impactos negativos das adversidades climáticas são fundamentais para o futuro do cultivo do café arábica no estado de São Paulo. Nesse sentido, o melhoramento genético associado ao manejo cultural são caminhos a serem seguidos frente aos desafios impostos pelas intempéries climáticas ocorridas nos últimos anos.

4.1. Melhoramento genético

Basicamente, dois caminhos utilizando o melhoramento genético poderão ser seguidos: o uso de cultivares tolerantes às adversidades climáticas e a utilização de porta-enxertos; o primeiro estaria direcionado ao melhoramento intraespecífico e o segundo, interespecífico. Ambas alternativas focariam no sistema radicular da planta como característica principal na solução do problema.

Um sistema radicular bem desenvolvido pode explorar mais profundamente o subsolo e reduzir

os impactos negativos da seca, aumentando a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas em períodos de déficit hídrico. Apesar dessa importância, os estudos radiculares ainda são escassos nas culturas perenes, em função das dificuldades intrínsecas preferindo-se trabalhar com variáveis relacionadas à parte aérea (Oliveira, 2017). No Brasil são escassas, talvez ausentes, pesquisas cafeeiras visando o melhoramento genético do sistema radicular do café arábica.

A caracterização fenotípica a ser realizada no banco de germoplasma assume papel relevante na identificação de cafeeiros portadores desses genes. O Banco de Germoplasma de Café do IAC é composto por 13 espécies do gênero *Coffea*, além de mutantes, introduções de plantas, híbridos inter e intraespecíficos, populações segregantes, variedades, etc, totalizando cerca de 20.000 cafeeiros. Os trabalhos de pré-melhoramento constituem etapa fundamental para a identificação de plantas a serem utilizadas em hibridações, visando à obtenção de recombinantes com sistemas radiculares promissores, para então submetê-los às seleções iniciais. Nesse contexto, modernas ferramentas moleculares, como a edição gênica, e a caracterização fisiológica, identificando plantas que concentrem substâncias que promovam uma redução no estresse fisiológico, contribuirão na identificação desses tipos de parentais.

O programa de melhoramento genético de café do IAC lançou em 2016, a cultivar IAC Catuaí SH3, tolerante à seca (Fazuoli *et al.*, 2019), com resultados

satisfatórios sendo relatados até a presente data. Devido ao longo tempo necessário para o lançamento de uma cultivar, o uso de promissoras técnicas moleculares durante as seleções deverá ser incorporado ao processo, a fim de reduzir o tempo de pesquisa.

Outra opção é o desenvolvimento de porta-enxertos, de outras espécies do gênero *Coffea*, portadores de um sistema radicular profundo e ramificado. Atualmente essa técnica já é utilizada, e com sucesso, para o cultivo do café arábica em áreas infestadas por nematoides do gênero *Meloidogyne*, onde a espécie *C. canephora* é o porta-enxerto resistente a essa praga. Tem-se o conhecimento prévio de que as espécies *C. liberica*, *C. stenophylla*, *C. racemosa* e o *C. canephora* possuem sistemas radiculares bem desenvolvidos e profundos, o que as credenciam para a enxertia na espécie *C. arabica*.

Uma terceira alternativa é o plantio do café robusta em substituição ao café arábica, principalmente nas regiões paulistas onde as temperaturas médias anuais são elevadas. É sabido que o robusta é um café com maior tolerância à seca e pesquisas nesse sentido já estão sendo realizadas pelo IAC em conjunto com a APTA Regional de Adamantina e a CATI-Lins, há aproximadamente doze anos. Tal iniciativa evitaria a migração do cafeicultor, que já possui conhecimentos na condução da cultura, para outros segmentos da agropecuária ou então buscar emprego na área urbana, tornando-se uma questão estratégica importante para a competitividade da cafeicultura paulista. Isso poderá favorecer não apenas o segmento

agrícola, como também a indústria do solúvel e do torrado/moído do café, que se concentra majoritariamente no estado de São Paulo.

4.2. Manejo cultural

O café arábica é uma planta originária da Etiópia, região de elevadas altitudes e clima ameno, onde se desenvolveu sob ambiente de sub-bosques, indicando ser uma espécie que não suporta temperaturas elevadas. Quando introduzida no Brasil, adaptou-se e desenvolveu-se extensivamente em ambientes a pleno sol, mas em anos climáticos atípicos a produção brasileira foi severamente afetada. O manejo da lavoura cafeeira visando mitigar os impactos prejudiciais do clima é uma solução viável e sustentável para enfrentar a elevação da temperatura e o déficit hídrico, tornando o ambiente de cultivo mais resiliente. Dentre as práticas culturais destacam-se a arborização, o uso de um sistema agroflorestal (citado anteriormente), cultivos intercalares, uso de plantas de coberturas, adensamento dos cafeeiros e manejo do mato nas entrelinhas de plantio.

O plantio em espaçamentos mais densos, acima de 5.000 plantas por hectare, permite um maior sombreamento entre plantas dentro da linha, alterando a temperatura interna da planta. Manter o mato em um nível adequado nas entrelinhas de plantio, por meio de implementos agrícolas, proporciona menores temperaturas no solo, além do aumento do teor de matéria orgânica e a capacidade de retenção de água.

O desenvolvimento de pesquisas do cultivo de café arábica associado a outras espécies vegetais é estratégico para a sustentabilidade da cafeicultura paulista. O cultivo consorciado de café com banana, mamão, abacate, pupunha, seringueira, coqueiro, entre outras, são algumas alternativas para contribuir de forma efetiva para a melhoria da sustentabilidade e rentabilidade do cafeicultor no estado de São Paulo. Tem-se consorciado o café com pupunha, cedro, jequitibá e macadâmia, com redução de 2,2 °C na temperatura dessas lavouras consorciadas quando comparadas ao cultivo a pleno sol (Pezzopane *et al.*, 2010). Em um estudo realizado em Mococa (SP), Valentini *et al.* (2010) concluíram que a arborização de café com seringueira proporcionou redução de 3 °C nas temperaturas máximas ocorridas entre a primavera e o verão, quando comparada com o cultivo a pleno sol, e a elevação em até 2 °C na temperatura mínima durante o inverno. O uso de culturas anuais como milho, soja e feijão nas entrelinhas do café proporcionam uma menor evapotranspiração, minimizando as perdas de água e geram renda extra para cobrir os custos de implantação do café. Tem-se utilizado as braquiárias para a produção de biomassa.

Outra possibilidade é o cultivo de café sombreado, sistema no qual o cafeeiro é submetido a condições mais similares ao seu ambiente de origem. Na Colômbia, Costa Rica, Guatemala, El Salvador e México parte do cultivo de café arábica ocorre em ambientes arborizados, onde os cafeeiros ficam próximos ao microclima do seu

habitat natural. Algumas observações empíricas mostraram que para o cultivo de árvores florestais devem-se escolher aquelas com crescimento rápido, pois aquelas com maior taxa de crescimento levaram a menor produção de café em sistemas agroflorestais. Alguns cafeicultores têm utilizado a teca, mogno, grevéleas, dentre outras para este fim.

Referências

- ALEMU, A.; DUFERA, E. Climate Smart Coffee (*Coffea arabica*) Production. **American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 2, n. 2, p. 62-68, 2017.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; JUNIOR, J. Z.; ÁVILA, A. D. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100001>.
- BIERHALS, J. D.; FERRONI, P. H. C. Café: safra 2008/2009 encolhe e preços sobem. In: **AGRIANUAL**: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria, 2008. p. 213-215. 2008.
- BLISKA, F. M. M.; BLISKA JUNIOR, A.; MARCHEZINI, A. R. Viabilidade de integração de lavouras cafeeiras e turismo rural no Brasil. **Revista IfesCiência**, v. 8, p. 1-21, 2022.
- BLISKA JUNIOR, A.; FERRAZ, A. C. O.; LEAL, P. A. M.; TURCO, P. H. N.; BLISKA, F. M. M. Validação do Método de Identificação do Grau de Gestão na produção cafeeira utilizando Grupo Focal. **Revista de Economia Agrícola**, v. 62, p. 41-54, 2015.

BURITI, C. O.; BARBOSA, H. A. **Um século de secas**: por que as políticas hídricas não transformaram o Semiárido brasileiro? 1. ed. São Paulo: Chiado Books, 2018. 434 p.

CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeeiras) do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 7, p. 831-839, 1985. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/issue/view/451>.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CARVALHO, H. S. C. **Cultivares de café**: origem, características e recomendações. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. 334 p.

COFFEE & CLIMATE - **Climate Change Adaptation in Coffee Production**: A step-by-step guide to supporting coffee farmers in adapting to climate change. 2015. 184 p. Disponível em: <https://toolbox.coffeeandclimate.org/wp-content/uploads/2012/10/cc-stepby-step-guide-for-climate-changeadaptation-in-coffee-production.pdf>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. v. 10, n. 1, jan. 2023.

DAMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 16, n. 1, p. 1-6, 2004.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.

FALEIROS, G. D.; BLISKA JUNIOR, A.; TURCO, P. H. N.; BLISKA, F. M. M. Avaliação do grau de gestão dos cafezais da Alta Mogiana Paulista. **Científica**, v. 48, p. 1-16, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n1p01-16>.

FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T.; SILVAROLLA, M. B.; GONÇALVES, W.; MISTRO, J. C.; GALLO P. G.; GUERREIRO FILHO, O. IAC Catuaí SH3 - a dwarf Arabica coffee cultivar with leaf rust resistance and drought tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 356-359, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n3c48>.

GOUVEIA, N. M. **Estudo da diferenciação de crescimento de gemas florais de Coffea arabica L. observações sobre antese e maturação dos frutos**. 1984, 231 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - UNICAMP, Campinas, 1984. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.1984.48440>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. In: IBGE. **Sidra**: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: dez. 2023.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Impacts of 1.5 °C of Global Warming on Natural and Human Systems. In: **Special Report: Global Warning of 1.5 °C**. University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, p. 175-312, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157940.005>.

JARAMILLO, J.; MUCHUGO, E.; VEGA, F. E.; DAVIS, A.; BORGEMEISTER, C.; CHABI-OLAYE, A. Some Like it Hot: The Influence and Implications of Climate Change on Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) and Coffee Production in East Africa. **Plos One**, v. 6, n. 9, 14 p. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024528>.

KOH, I.; GARRETT, R.; JANETOS, A.; MUELLER, N. D. Climate risks to Brazilian coffee production. **Environmental Research Letters**, v. 15, 104015, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba471>.

KOUTOULEAS, A.; SARZYNSKI, T.; BORDEAUX, M.; BOSSELMANN, A. S.; CAMPA, C.; ETIENNE, H.; TURREIRA-GARCIA, N.; RIGAL, C.; VAAST, P.; RAMALHO, J. C.; MARRACINI, P.; AEBILD, A. Shaded-Coffee: A Nature-Based Strategy for Coffee Production Under Climate Change? A Review. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, 877476, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.877476>.

MORETTO, A. C.; RODRIGUES, R. L.; VEGRO, C. L. R.; TURCO, P. H. N.; GUILHOTO, J. J. M.; BLISKA, F. M. M. Trajetória tecnológica e evolução do segmento cafeeiro na economia brasileira. **Revista de Economia Agrícola**, v. 62, p. 5-23, 2015.

NASCIMENTO, F. S.; ROCHA, A. J.; SOARES, J. M. S.; MASCARENHAS, M. S.; FERREIRA, M. S.; LINO, L. S. M.; RAMOS, A. P. S.; DINIZ, L. E. C.; MENDES, T. A. O.; FERREIRA, C. F.; SANTOS-SEREJO, J. A.; AMORIM, E. P. Gene Editing for Plant Resistance to Abiotic Factors: A Systematic Review. **Plants**, v. 12, 305, 2023. 31 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12020305>.

OIC - ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Produção mundial de café**. Disponível em: <https://www.ico.org/prices/po-production.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

OLIVEIRA, L. B. **Tolerância à seca e adaptação a solos com camadas coesas de genótipos de citros em estádios jovens de desenvolvimento**. 2017. 81 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017.

PEZZOPANE, C. G., FAVARIN, J. L., MALUF, M. P., PEZZOPANE, J. R. M., GUERREIRO FILHO, O. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052003000300015>.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; SOUZA, J. M.; PEZZOPANE, J. E. M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p. 1257-1263, 2010

PILAU, F. G.; ANGELOCCI, L. R. Padrões de interceptação de radiação solar por cafeeiros em função da área foliar. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 127-136, 2016.

PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. O aquecimento global e a cafeicultura brasileira. **Boletim SBMET**, p. 65-72, 2007.

RENA, A. B; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. In: **Irrigação e tecnologia moderna**. Brasília: ABID, v. 48, p. 34-41, 2000.

RODRIGUES, N. A.; REIS, E. A.; TAVARES, M. Influências dos fatores climáticos no custo de produção do café arábica. **Custos e @gronegocio on line**, v. 10, n. 3, p. 216-255, 2014.

SAKON, F. M.; IMORI, D.; CUNHA, F. S. C. da; GUILHOTO, J. J. M.; BLISKA, F. M. M. A Produção e Industrialização do Café no Brasil e a Economia Nacional: Simulações sob um Modelo Inter-Regional de Insumo-Produto. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 43, p. 443-462, 2012.

SEDIYAMA, G. C. *et al.* Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 501-509, 2001.

SILVA, V. A. *et al.* Strategy for selection of drought-tolerant Arabica coffee genotypes in Brazil. **Agronomy**, v. 12, 2167, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12092167>.

THOMAZIELLO, R. A.; FAZUOLI, L. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. **Café arábica**: cultura e técnicas de produção. IAC. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 82 p. (Boletim Técnico IAC, 187)

VALENTINI, L. S. de P.; CAMARGO, M. B. P. de; ROLIM, G. de S.; SOUZA, P. S.; GALLO, P. B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, v. 69, p. 1005-1010, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000400028.

ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. Impact assessment study of climate change on agricultural zoning. **Meteorological Applications**, v. 13, n. S1, p. 69-80, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1017/S135048270600257X>.





CANA

Mudanças Climáticas e Sustentabilidade na Cultura da Cana-de-açúcar

Mauro Alexandre Xavier*, Luciana Rossini Pinto, Denizart Bolonhezi, Fábio Luis Ferreira Dias, Ivan Antônio dos Anjos, Luciana Oliveira Souza Anjos, Silvana Creste Dias de Souza, Maximiliano Salles Scarpari, Júlio César Garcia, José Roberto Scarpellini, Marcos Guimarães de Andrade Landell, Érika Auxiliadora Giacheto Scaloppi, Samira Domingues Carlin Cavallari, Carlos Alberto Mathias Azânia, Raffaella Rossetto, Glauber José de Castro Gava, Leila Luci Dinardo-Miranda, Sandro Brancalhão, Eduardo Suguino

*mauro.xavier@sp.gov.br

1. Importância da cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas de grande importância econômica para o agronegócio brasileiro. O Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial dessa matéria-prima, seguido por Índia e China, e se destaca como o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar e exportador de açúcar. Na safra 2022/23, a produção de cana e de açúcar foram respectivamente de 598,34 e 36,37 milhões de toneladas e a de etanol de 26,60 bilhões de litros. O açúcar total recuperável (ATR) médio, o qual reflete a quantidade total de açúcares da cana efetivamente aproveitados no processo industrial para produção de açúcar e álcool, teve produção de 133,5 kg por tonelada de cana. Dentre as regiões geoeconômicas do país, a região Centro-Sul tem sido responsável por 90,7% da produção total de cana, a qual está concentrada, em mais da metade (51,6%) no estado de São Paulo, o maior produtor de cana do país (CONAB, 2022).

A cana-de-açúcar está entre as culturas que tem contribuído significativamente para o valor bruto da produção agropecuária (VBP) brasileira (ABN, 2022), e tem um impacto positivo no produto interno bruto (PIB) per capita nos municípios onde é cultivada (Nocelli *et al.*, 2017). Ademais, o setor sucroenergético é responsável por gerar milhares de empregos diretos e indiretos e representa 2% do PIB brasileiro, o que reforça a importância deste setor para a economia do país (Silva *et al.*, 2021).

Além do açúcar e do etanol, outros produtos são derivados da cana-de-açúcar como o melaço, cachaça, bioplástico ("plástico verde"), ácido glicólico entre outros. O aproveitamento dos subprodutos da cana-de-açúcar, tais como o bagaço, a vinhaça, a torta de filtro, por exemplo, contribui para a redução dos impactos ambientais dos resíduos gerados durante o processo de produção do açúcar e etanol, colaborando para a sua sustentabilidade (Silva *et al.*, 2021). O aproveitamento desses resíduos, cujo conteúdo de nutrientes representa a reciclagem dos nutrientes, colabora na fertilização da cana, reduzindo o uso de fertilizantes minerais, muitos deles, importados. Atualmente importante contribuição desses resíduos ocorre na geração de energia por meio da queima nas caldeiras ou da biocombustão ou mesmo na geração de etanol de segunda geração, o etanol produzido a partir do bagaço e da palha da cana. Nesse sentido, considerando o reaproveitamento e as diversas aplicações dessa matéria-prima, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar é uma das que mais se adequa ao modelo de economia circular, em que simplificando, os resíduos gerados ao longo do processo de produção tornam-se insumos para a produção de novos produtos (<https://ecycle.com.br>).

No contexto das mudanças climáticas, a utilização do etanol anidro e a cogeração de energia elétrica pela queima do bagaço contribui para que a cana-de-açúcar tenha um papel de destaque, tanto na redução da utilização de combustíveis fósseis como na emissão de gases de efeito

estufa. A mistura de etanol na gasolina substituindo o aditivo chumbo tetraetila é considerada internacionalmente uma das maiores ações para a melhoria da qualidade do ar das grandes cidades. Essa mistura é hoje adotada por diversos países e almejada por outros, não apenas pelas questões ambientais envolvidas, mas também por questões econômicas. Em um estudo recente, considerando o período de 2000 a 2020 foi estimada uma remoção líquida de carbono de 9,8 TgCO₂ por ano em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, sendo que a maior parte da remoção de CO₂ (55%) foi atribuído a expansão da cana em áreas de pastagens de baixa qualidade (Guarengi *et al.*, 2023).

Vale ressaltar que o biocombustível da cana-de-açúcar tem se mostrado atrativo na comercialização de créditos de descarbonização (CBios) incentivado pela Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), que visa ampliar a produção e o uso de biocombustíveis na matriz energética brasileira, contribuindo na mitigação da emissão de gases de efeito estufa e das mudanças climáticas. Cada CBio representa 1 tonelada de CO₂ equivalente não emitida pelo uso de biocombustíveis (www.gov.br).

Considerando os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU), é notória a contribuição da cana-de-açúcar para os objetivos de energia acessível e limpa, que potencialmente combate a mudança global do clima. Em adição, o setor sucroenergético tem buscado ações para alinhamento aos 17 ODS.

2. Principais problemas das mudanças climáticas na cultura da cana-de-açúcar e seus impactos

Apesar da importância da cultura da cana-de-açúcar no Brasil, os estudos científicos relacionados aos principais problemas causados pelas mudanças climáticas e seus impactos na cultura, ainda são escassos, frente a relevância do tema. O grau de impacto das mudanças climáticas na cultura da cana-de-açúcar está associado a região geográfica e à capacidade adaptativa da variedade (Zhao; Li, 2015).

Considerando-se as áreas de plantio de cana no país, o impacto das mudanças climáticas no cultivo e produção, provavelmente, será mais intenso nas áreas de pastagens degradadas que apresentam solos com baixa fertilidade e baixa capacidade de retenção de água, uma vez que nessas áreas tem se observado prolongamento da estação seca e períodos chuvosos intensos (Carvalho; Furtato, 2013). De fato, nas áreas de maior expansão da cultura como a região Centro-Oeste, espera-se que as mudanças climáticas levem ao aumento de eventos extremos, os quais exercem maior efeito em culturas de ciclo mais longo, como no caso da cana-de-açúcar, e que, portanto, ficam mais expostas aos riscos climáticos (Marin; Nassif, 2013; Carneiro *et al.*, 2015).

Entretanto, modelos de simulação de crescimento e produtividade em cana-de-açúcar considerando-se cenários de mudanças climáticas aplicados no estado de Goiás apontou para uma elevação da produtividade média,

porém, em alguns ambientes com maiores restrições hídricas, o modelo indicou declínio da produtividade (Evangelista *et al.*, 2009), já no estado de São Paulo, a simulação em quatro municípios sugeriu perdas moderadas em decorrência das alterações do clima (Pinto, 2013).

De acordo com Marin e Nassif (2013), o aumento da temperatura e da concentração de CO₂ causados pelas mudanças climáticas pode elevar as taxas de fotossíntese. Entretanto, a temperatura elevada reduz a maturação e a qualidade da cana-de-açúcar, sendo que as adversidades climáticas afetam o ATR dos canaviais. Além disso, tem efeito negativo na brotação e emergência da cana-de-açúcar e, altera a evaporação diária podendo causar estresse hídrico e a demanda por irrigação mais frequente, a qual se excessiva, pode levar a problemas de alagamento e salinidade, reduzindo o rendimento da cana. Ainda, a eficiência dos herbicidas aplicados na cultura, também é alterada pelos estresses ambientais, pois as precipitações excessivas contribuem para a sua eliminação, reduzindo a sua eficiência. As alterações das condições climáticas também exercem influência na ocorrência dos insetos como na dinâmica populacional e duração do ciclo de vida, e na ocorrência de plantas daninhas (Hussain *et al.*, 2018).

Em se tratando da favorabilidade das doenças de cana-de-açúcar em decorrência das mudanças climáticas, possivelmente haverá alterações nas relações patógeno-hospedeiro. Temperaturas altas poderão contribuir para o aumento da incidência de

doenças como o carvão da cana-de-açúcar, cujo agente causal é o fungo *Sporisorium scitamineum*, enquanto o tempo seco torna os sintomas de raquitismo da soqueira mais pronunciado (Matthieson, 2007; Zhao; Li, 2015). Ressaltando que as mudanças climáticas serão condicionantes ao ressurgimento de doenças até então consideradas menos importantes, como no caso da podridão da casca, cujo agente causal é o *Phaeocystostroma sacchari*, o qual tem-se tornado muito importante e preocupante em muitas regiões, principalmente em Goiás e regiões mais secas do estado de São Paulo.

3. Adoção de práticas sustentáveis com foco na nutrição e adubação da cana-de-açúcar

Na agricultura, a sustentabilidade envolve as práticas de manejo que trazem retorno econômico para o produtor, geram desenvolvimento social e estão associadas à conservação ambiental. Nesse contexto, fazendo frente à manutenção e expectativas de ganhos de produtividades em cana ("cana de três dígitos"), bem como garantindo uma agricultura que preserva o meio ambiente e conserva os recursos naturais podemos destacar:

Análise e correção de solos: são práticas primordiais para evitar a degradação do solo, base para qualquer sistema produtivo agrícola e, consequentemente, a sustentabilidade. Embora no passado, o cultivo era realizado sem a correção ou reposição de nutrientes, levando ao esgotamento dos nutrientes e ao aumento da

acidez do solo (prejudicando o desenvolvimento radicular), com o desenvolvimento de métodos para correção e adubação de solo e acesso a insumos, tem-se hoje uma realidade completamente diferente. Desse modo, a partir da identificação das deficiências nutricionais, presença de alumínio tóxico e acidez do solo, faz-se a correção com calcário e gesso agrícola, o que contribui para manter a sustentabilidade agrícola.

Manejo 4Cs: a correta aplicação de fertilizantes é um ponto fundamental para a sustentabilidade na agricultura. As culturas agrícolas dependem dos nutrientes para completar seu ciclo e atingir boas produtividades, sendo, portanto, indispensável o uso de fertilizantes para a sustentabilidade. O que se deve aprimorar é como os fertilizantes são utilizados, a fim de que, forneçam os nutrientes necessários às plantas, mitigando os impactos ambientais. O manejo 4Cs, prática desenvolvida nos anos 80 e fomentada pela IFA (*International Fertilizer Association*) e o IPNI (*International Plant Nutrition Institute*) tem como base quatro pilares: Fonte Correta (adequar fonte de fertilizante às necessidades da cultura); Dose Correta (adequar dose a ser aplicada às necessidades da cultura); Época Correta (tornar os nutrientes aplicados disponíveis quando as culturas necessitam); Local Correto (aplicar e manter os nutrientes em local que facilite o acesso e absorção pelas culturas). O Instituto Agrônomo (IAC) em seu Boletim 100, apresenta as tabelas de adubação para todas as culturas. Nelas a abordagem se dá pela análise do solo e o nível que se

encontram os nutrientes e a expectativa de produtividade do canavial. Por meio desses dois parâmetros as tabelas apresentam as doses a serem aplicadas ao solo para a adubação da cana-planta e da cana-soca.

Biofertilizantes: os biofertilizantes (adubos de origem orgânica) possuem uma série de vantagens, das quais destacam-se: aumentar os mecanismos de armazenamento de nutrientes no solo, reduzir os riscos de excesso de fertilização, liberar nutrientes de forma mais lenta e mais compatível com o que a planta precisa, ajudar a manter a umidade do solo, melhorar a estrutura orgânica do solo e prevenir a erosão do solo.

Remineralizadores: os remineralizadores de solo, oriundos de rochas, tem-se como vertente a necessidade de baixar o custo da produção agrícola, com o menor uso por fertilizantes e corretivos do solo.

Condicionadores: são ácidos húmicos e fúlvicos que podem contribuir para a racionalização de insumos frente aos diferentes sistemas de produção, favorecendo a assimilação de nutrientes. Condicionadores são importantes na retenção de cátions em concentrações elevadas no solo, o que evita toxicidades, dentre outros efeitos. Além da aplicação via solo, em aplicações foliares, tem se observado um maior desenvolvimento vegetativo, sistema radicular mais vigoroso e amplo, com maior exploração do volume do solo, mitigando os efeitos da estiagem, além de aumento no rendimento agrícola (tonelada de cana por hectare - TCH) e teores de açúcares (parâmetros

industriais - TPH) (Fábio Ferreira Dias, comunicação pessoal). Ainda, citado na literatura, a capacidade das substâncias húmicas de reter espécies é tão importante que pode influenciar diretamente no aquecimento global, ou seja, a formação de substâncias húmicas é uma forma de armazenar carbono na forma de substâncias refratárias, minimizando assim efeitos do aquecimento global (Rocha; Rosa, 2003).

4. Princípios da Agricultura Conservacionista e sua contribuição na mitigação das mudanças climáticas

A adoção dos princípios da Agricultura Conservacionista (rotação de culturas, mínimo revolvimento do solo e máxima permanência de resíduos em cobertura) no sistema de produção sucroenergético é uma importante estratégia para mitigação dos impactos das mudanças climáticas. No contexto da colheita mecanizada, a associação desses princípios potencializa os benefícios, tais como; aumento do estoque de carbono, reduz expressivamente a erosão hídrica, diminui o uso de combustíveis fósseis em 70%, além de contribuir com a demanda de nitrogênio no sistema, oriundo da fixação biológica de nitrogênio realizada pelas leguminosas comerciais e adubos verdes cultivadas na reforma e em consórcio. Esses benefícios têm sido comprovados por meio de pesquisas de longa duração desenvolvidas pelo IAC nos últimos 27 anos, as quais além de gerarem resultados científicos, permitem treinamento de diversos profissionais, estudantes de graduação e pós-graduação. Dentre os resultados favoráveis ao plantio direto, gerados nessa pesquisa, merecem destaque:

taxa de sequestro de carbono é $1,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ maior que no preparo convencional (Segnini *et al.*, 2013), menor emissão de CO_2 (La Scala *et al.*, 2006; Paredes *et al.*, 2015), ganhos de produtividade entre 8 e 10 TCH (Bolonhezi *et al.*, 2011; Bolonhezi *et al.*, 2014), maior biomassa seca do sistema radicular (Cury *et al.*, 2014) e melhor estrutura do solo na camada superficial (Martíni *et al.*, 2021).

Contudo, há a necessidade de quantificar e validar esses resultados em outras condições edafoclimáticas e ambientes de produção, sobretudo aqueles posicionados em solos arenosos, mais susceptíveis à erosão hídrica e com baixo conteúdo de matéria orgânica. Uma estratégia para isso, poderia ser a instalação de módulos de validação em parceria com usinas e associações de fornecedores, que sirvam como vitrines tecnológicas para difusão de tecnologia, bem como para validação dos resultados. É importante esclarecer que o sistema de produção canavieiro na região Centro-Sul apresenta estreita relação com as cadeias produtivas da soja e do amendoim, culturas que devem ser contempladas nessas atividades. Atualmente a adoção de manejo conservacionista em cana-de-açúcar é incipiente, muito devido à falta de divulgação e poucas iniciativas de pesquisa que representem principalmente regiões com solos arenosos.

É importante salientar que a implantação de áreas vitrines de divulgação e validação tecnológica devem estar em sintonia com outros órgãos da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, principalmente a Defesa Agropecuária.

5. Ações prioritárias para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas

Com base no que foi apresentado nos itens anteriores, a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas requer ações abrangentes e de caráter multidisciplinar. Nesse sentido, o melhoramento genético juntamente com o desenvolvimento de práticas de manejo, as quais levam em conta os diferentes ambientes de produção e suas peculiaridades edafoclimáticas, são ações fundamentais na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

Um excelente exemplo é a utilização de variedades com ótimas adaptabilidades aos ambientes com restrições hídricas, como por exemplo, as regiões do estado de Goiás e oeste do estado de São Paulo, as quais eram

consideradas marginais ou inaptas ao cultivo da cana. Variedades tolerantes à seca, com boa produtividade e que apresentem maior eficiência no uso de água têm sido um dos focos do programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar do Instituto Agrônômico.

As variedades de cana IAC são desenvolvidas a partir da estratégia regional de seleção, onde as diferentes condições edafoclimáticas das principais regiões canavieiras do país, incluindo regiões de déficit hídrico pronunciado e regiões com solos de restrições químicas, são palco para a seleção de clones mais adaptados a estas condições. Essa estratégia tem permitido a seleção de cultivares de grande tolerância à seca e com boa produtividade agroindustrial (Figura 1).

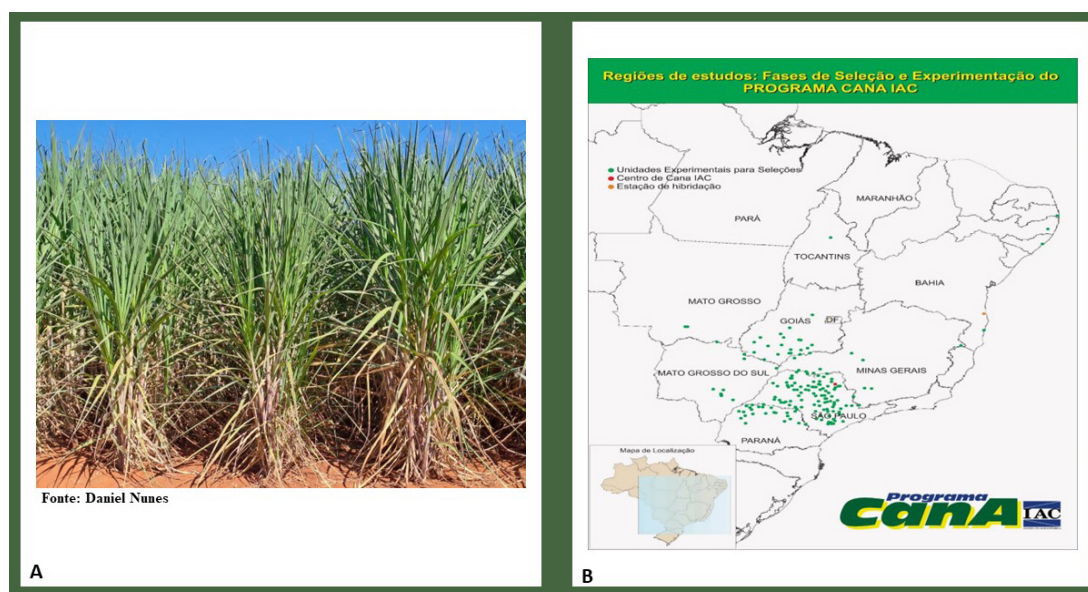


Figura 1. Variedade de cana-de-açúcar IAC07-8008 em região de alto déficit hídrico (A) e regiões de seleção do Programa Cana IAC (B).

As caracterizações fitopatológicas dos materiais do melhoramento genético, em todas as suas fases e das pré-variedades e variedades, antes

e após a liberação aos produtores continuarão sendo necessárias e imprescindíveis na busca de genitores e variedades promissoras, resilientes

às intercorrências das principais doenças da cultura, como os fungos Carvão (*Sporisorium scitamineum*), Ferrugens Alaranjada e Marrom (*Puccinia kuehnii* e *P. melanocephala*) e o Pokkah Boeng (*Fusarium* spp); as bacterioses Escaldadura das folhas (*Xanthomonas albilineans*) e Estria Vermelha (*Acidovorax avenae* subsp *avenae*) e o vírus do mosaico da cana (*Sugarcane Mosaic Virus*). Nesse sentido, para conhecer a planta, os patógenos, os microrganismos endofíticos e da microbiota do solo e para mitigar os prejuízos advindo do agravamento da relação patógenos-planta, é fundamental a composição de grupos de pesquisas do IAC com outras instituições, interagindo o melhoramento genético e a fitopatologia clássica com a biologia molecular.

O desenvolvimento de variedades de cana provenientes da engenharia genética, embora desafiador, apresenta-se como uma grande oportunidade de obtenção de uma agricultura mais eficiente e sustentável. Nesse sentido, pesquisadores têm dedicado esforços há quase duas décadas na prospecção e caracterização de genes de cana envolvidos com características capazes de contribuir para o aumento da produtividade dentro de um contexto de mudanças climáticas, como tolerância à seca, resistência às pragas e doenças e aumento da biomassa. Por abordagens "ômicas" (genômica, transcriptômica, proteômica e metabolômica), têm-se desenvolvido expertise e tecnologias proprietárias únicas que se acredita serem capazes de contribuir com uma canavicultura moderna, alicerçada em biotecnologia, capaz de garantir a competitividade do Brasil como o maior produtor global de cana-de-açúcar para as próximas décadas. Dessa forma, entre as linhas de pesquisa em andamento, podemos citar a prospecção e caracterização de genes

de interesse do setor sucroenergético (genes envolvidos com tolerância à seca, resistência a pragas e doenças, aumento de produtividade, tolerância ao alumínio, indução ao florescimento) e desenvolvimento de marcadores associados às características agrônômicas importantes. Ainda, o Programa Cana IAC abriga uma coleção significativa de acessos do gênero *Saccharum*, com enorme potencial para a prospecção de genes de interesse agrônômico para o desenvolvimento de cultivares tolerantes aos estresses bióticos e abióticos.

O desenvolvimento de estratégias de manejo varietal também tem seu papel na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. A tecnologia do terceiro eixo é um exemplo de prática inovadora que tem como base a adoção de um sistema de colheita para mitigar e reduzir a exposição dos canaviais ao déficit hídrico, principalmente aqueles com maior potencial de produção, como os de cana-planta e cana-soca de segundo e terceiro corte. O terceiro eixo se refere ao "ciclo" que se encontra o canavial, foi adicionado na matriz que determina o fluxo temporal de colheita de um determinado produtor. No manejo do terceiro eixo, o ciclo do canavial é considerado para inferir a maior ou menor capacidade de tolerar condições de déficit hídrico, que associado ao conhecimento do ambiente (solos, manejo e regime hídrico regional) permite definir o "fluxo de colheita" para um determinado produtor.

Estudos realizados no Centro Avançado de P&D de Cana referentes à adubação com fertilizantes organominerais têm sinalizado para uma redução de 20% a 30%, em relação à fonte convencional, sem prejuízos para o rendimento agrotecnológico da cana-de-açúcar. Dentre os fertilizantes mais utilizados pela cultura da cana

estão os nitrogenados, derivados da amônia, obtida a partir da transformação química do gás natural, um recurso natural não renovável, bem como a sua utilização na agricultura que promove a emissão de um potente gás de efeito estufa, o óxido nitroso. Sendo assim, a prática da fertilização com organominerais, pela sua redução em relação à fonte mineral, pode contribuir com a preservação do meio ambiente e consequentemente nas mudanças climáticas. Grande esforço foi realizado pelos pesquisadores do Centro de Cana em colaboração com outros Centros do IAC e com outras instituições de pesquisa para avaliar as perdas de gases N_2 e de gases de efeito estufa em diferentes condições de uso de fertilizantes nitrogenados. A proteção da ureia com NPBT e recobrimento com polímeros mostrou ser uma prática com vantagens ambientais. Em relação à área de climatologia, deve-se incentivar o uso de ferramentas de simulação de cenários produtivos futuros em função do clima para a cana-de-açúcar, por parte de órgãos governamentais e produtores, a fim de quantificar o real problema e criar estratégias de mitigação.

O IAC possui desde 2007 o projeto Prevclimacana cujo objetivo principal é, através do histórico climatológico dos dados produtivos e das imagens de satélite, simular cenários futuros de produtividade da cana-de-açúcar. Ainda, fomentar o seguro agrícola paramétrico em cana-de-açúcar, metodologia desenvolvida pelo IAC em 2021, o qual parametriza o risco climático envolvido na produtividade da cana-de-açúcar.

Referências

ABN - AGROPECUÁRIA BRASILEIRA EM NÚMEROS. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Agosto de 2022**. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros/abn-08-2022.pdf/view)

[br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros/abn-08-2022.pdf/view](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros/abn-08-2022.pdf/view).

BOLONHEZI, D.; ROSSINI, D. B.; COSTA, N.; MARCONATO, M. B.; CANTARELLA, H.; GENTILIN JUNIOR, O.; GARCIA, J. C.; SANT'ANA, S. A. de; BOLONHEZI, A. C. Surface application of lime for sugarcane production under no-tillage system. Balancing Sugar and Energy Production in Developing Countries: Sustainable Technologies and Marketing Strategies. INTERNATIONAL SUGAR CONFERENCE, IV, **Proceedings** [...]. New Delhi, India, p. 140-144, 2011.

BOLONHEZI, D.; BOLONHEZI, A. C.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde e rotação de culturas para cana-de-açúcar. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, E. J.; CARLOS, J. A. D. (eds.). **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2014, v. 2, p. 127-158.

CARNEIRO, V. A.; CASAROLI, D.; SANTOS, F. C. V. Cana-de-açúcar: uma abordagem climática. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 8, n. 3, dez. 2015.

CARVALHO, S. A. D.; FURTADO, A. T. O melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil e o desafio das mudanças climáticas globais. **Revista Gestão & Conexões**, Vitória, v. 2, n. 1, p. 22-46, 2013.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Safra 2022/23 - Terceiro levantamento, Brasília: CONAB, v. 9, n. 3, p. 1-58, dezembro 2022. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/45671_7a038e9b1579f67261d6351884075e16.

CURY, T.; DE MARIA, I. C.; BOLONHEZI, D. Biomassa radicular da cana-de-açúcar em sistema convencional e

plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1929-1938, 2014.

GUARENGHI, M. M.; GAROFALO, D. F. T.; SEABRA, J. E. A.; MOREIRA, M. M. R.; NOVAES, R. M. L.; RAMOS, N. P.; NOGUEIRA, S. F.; ANDRADE, C. A. de. Land Use Change Net Removals Associated with Sugarcane in Brazil. **Land**, v. 12, 584. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12030584>.

HUSSAIN, S.; KHALIQ, A.; MEHMOOD, U.; QADIR, T.; SAQIB, M.; IQBAL, M.; HUSSAIN, S. Sugarcane Production under Changing Climate: Effects of Environmental Vulnerabilities on Sugarcane Diseases, Insects and Weeds. **IntechOpen**, 2018. DOI: [10.5772/intechopen.81131](https://doi.org/10.5772/intechopen.81131).

LA SCALA JR., N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 91, p. 244-248, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012>.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

MARTÍNI, A. F.; VALANI, G. P.; DA SILVA, L. F. S.; BOLONHEZI, D.; DI PRIMA, S.; COOPER, M. Long-Term Trial of Tillage Systems for Sugarcane: Effect on Topsoil Hydrophysical Attributes. **Sustainability**, v. 13, 3448. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13063448>.

MATTHIESON, L. **Climate change and the Australian Sugarcane Industry**: impacts, adaptation and R&D opportunities. SRDC Technical Report, Sugar Research and Development, Brisbane, Australia, 2007.

NOCELLI, R. C. F.; ZAMBON, V.; SILVA, O. G. M.; MORINI, M. S.C. Histórico da

cana-de-açúcar no brasil: contribuições e importância econômica. *In*: FONTANETTI, C. S.; BUENO, O. C. (orgs.). **Cana-de-açúcar e seus impactos**: uma visão acadêmica. Bauru: Canal 6, 2017. p. 13-39.

PAREDES, D. S.; ALVES, B. J. R.; DOS SANTOS, M. A.; BOLONHEZI, D.; SANTANNA, S. A. C.; URQUIAGA, S.; LIMA, M. A.; BODDEY, R. M. Nitrous Oxide and Methane Fluxes Following Ammonium Sulfate and Vinasse Application on Sugar Cane Soil. **Environmental Science & Technology**, v. 2, 150902094222003, 2015.

PINTO, H. M. S.; MARIN, F. R.; COSTA, L. G.; NASSIF, D. S. P. Efeito das mudanças climáticas para cana-de-açúcar com base no modelo APSIM/ Sugarcane. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, XVIII, 2013, Belém. **Anais** [...]. 2013.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. Substâncias húmicas aquáticas: interação com espécies metálicas. São Paulo: Ed. UNESP, 2003. 138 p.

SEGNINI, A.; CARVALHO, J. L. N.; BOLONHEZI, D.; MILORI, D. M. B. P.; SILVA, W. T. L.; SIMÕES, M. L.; CANTARELLA, H.; MARIA, I. C.; MARTIN-NETO, L. Carbon stock and humification index of organic matter affected by sugarcane straw and soil management. **Scientia Agrícola**, v. 70, n. 5, p. 321-326, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500006>.

SILVA, D. L. G.; BATISTI, D. L. S.; FERREIRA, M. J. G.; MERLINI, F. B.; CAMARGO, R. B.; BARROS, B. C. B. Cana-de-açúcar: Aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e44410714163, 2021.

ZHAO, D.; LI, Y-R. Climate Change and Sugarcane Production: Potential Impact and Mitigation Strategies. **International Journal of Agronomy**, p. 1-10, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/547386>.



CITRICULTURA

Sustentabilidade e Impacto das
Mudanças do Clima na Cadeia de
Produção de Citros

Valdenice M. Novelli, Fernando A. Azevedo,
Rodrigo R. Latado, Rodrigo M. Boaretto, José D.
de Negri, Sérgio A. Carvalho, Marinês Bastianel,
Raquel L. Boscariol-Camargo, Helvécio Della
Coletta Filho, Mariângela Cristofani-Yaly,
Alessandra A. Souza, Marco A. Takita, Marcos A.
Machado, Dirceu de Mattos Jr.*

*dirceu.mattos@sp.gov.br

1. Aspectos macroeconômicos da citricultura brasileira

A produção de citros (19,3 milhões de toneladas; 680 mil hectares) representa 48% do total de frutas produzidas no Brasil (40,5 milhões de toneladas) (Kist *et al.*, 2022). O cinturão citrícola brasileiro está em São Paulo e sul do Triângulo Mineiro (~400 mil hectares), que à despeito da redução de 40% na ocupação de área de laranjas nos últimos 30 anos, aumentou a produtividade de 350 para 900-1000 caixas (40,8 kg) por hectare¹. Além da laranja, encontram-se milhares de estabelecimentos rurais produzindo lima ácida e limões, e tangerinas, contribuindo para a geração de empregos e desenvolvimento social, aliados à governança da cadeia e preservação ambiental (Figura 1). No ranking de valor da produção, a laranja está entre os dez primeiros produtos da agricultura brasileira². Nesse cenário, a citricultura movimenta cerca de US\$ 14,5 bilhões por ano³ incluindo a produção de suco e frutos de mesa.

A exportação brasileira de suco de laranja nos últimos anos respondeu por 75% do mercado mundial⁴, a lima ácida Tahiti aparece como uma das principais frutas de exportação no país, cujo total entregue na União Europeia, 58% vem de pomares paulistas⁵. O mercado interno de mesa estima consumir >50 milhões de caixas (40,8 kg) de laranjas anualmente e de forma crescente, disponibilizando frutas de novas variedades.

Assim, a citricultura é relevante à economia paulista e à geração de divisas no Brasil, cuja sustentabilidade desse setor agroindustrial encontra desafios da produção no campo, associados a problemas fitossanitários e estresses do clima adverso. Nesse contexto, o Centro Avançado de P&D de Citricultura "Sylvio Moreira", em colaboração com diferentes atores, provê o setor com informações em áreas multidisciplinares do conhecimento para a manutenção de uma citricultura moderna, apoiada em pomares produtivos e com qualidade (Mattos Jr. *et al.*, 2022, 2023).

¹ <https://www.fundecitrus.com.br/pes/relatorios>

² <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>

³ https://issuu.com/citrusbr/docs/retrato_citricultura_brasileira_marcos_fava_neves

⁴ <https://citrusbr.com/estatisticas/exportacoes/>

⁵ <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/informativo/defesa-agrosp-no-018-janeiro2023/exportacao-de-lima-acida-tahiti-para-a-uniao-europeia/>

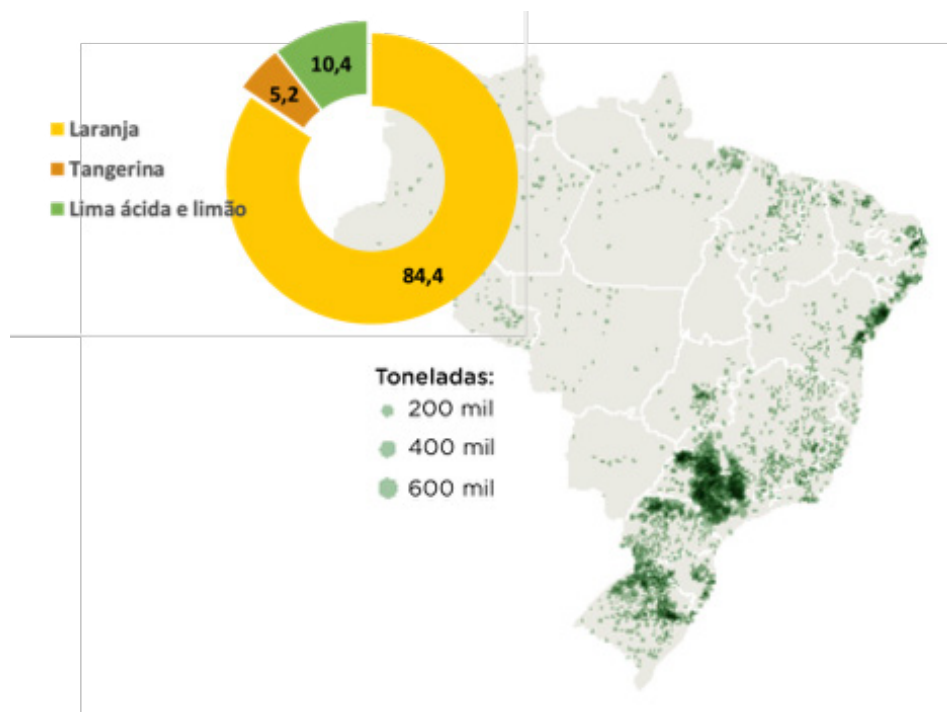


Figura 1. Distribuição da produção de citros no Brasil⁶ e participação percentual da produção brasileira por variedades (KIST *et al.*, 2022).

2. Problemas fitossanitários e estresses do clima adverso desafiam a sustentabilidade da cadeia de produção

A cadeia de produção dos citros atende a um mercado global, o que demonstra os números significativos da sua importância na pauta sócio-econômica-ambiental do Brasil. É uma atividade dinâmica, movida pela inteligência de produção e capacidade de inovação ímpares no agronegócio, demonstrada há anos, com o estabelecimento de melhores práticas de manejo da fazenda à mesa do consumidor.

Essa característica ímpar tem sido construída no enfrentamento de desafios históricos, com a ocorrência de pragas e doenças, limitações da produção em solos tropicais, apertos de custos de produção e variações de preços no mercado, barreiras tarifárias, logística de colheita e mão de obra e, mais recentemente, do estabelecimento de uma economia circular e do atendimento de objetivos de desenvolvimento sustentável.

Ainda assim, desafios persistem como aqueles fitossanitários e estresses do clima adverso que têm impactado a produção no campo. O *Huanglongbing* (HLB), doença bacteriana que ataca plantas cítricas, o déficit hídrico e temperaturas excessivas do ar têm causado perdas de milhões de dólares ao setor anualmente.

⁶ <https://www.nexojournal.com.br/grafico/2018/02/07/Banana-café-mandioca-onde-são-cultivados-vegetais-e-grãos-no-Brasil>

2.1. Ocorrência do HLB e outros problemas fitossanitários

A principal doença que afeta os citros atualmente é o HLB. Constatado pela primeira vez em São Paulo, em 2004, é causado por uma bactéria não cultivável, restrita ao floema das plantas e de difícil controle (Laranjeira *et al.*, 2005). Vem causando enormes prejuízos aos pomares em vários países produtores de citros. É transmitida por inseto vetor, um psíldeo, bastante eficiente na transmissão da bactéria e de ocorrência generalizada nos pomares. A incidência desse vetor aumentou grandemente nos pomares nesses últimos anos, aumentando a necessidade de controle químico, principalmente.

São várias as estratégias para contenção do avanço da doença nos pomares e para a manutenção da produtividade, desde a exclusão de inóculo, pela erradicação de plantas doentes, além do controle mais efetivo do vetor, uma vez que não se dispõe de uma medida de controle direto da bactéria (Ayres *et al.*, 2019). Desde a constatação da doença em São Paulo, cerca de 60 milhões de árvores já foram erradicadas no parque citrícola⁷.

O aumento da incidência do HLB no cinturão citrícola passou de 18% das árvores infectadas, em 2018, para 24%, em 2022⁸. Áreas tidas como zonas de alerta (com risco elevado para a produção), onde condições são

favoráveis para o desenvolvimento mais rápido do patossistema, mostram índices maiores que 70%. Atualmente encontram-se ~50 milhões árvores sintomáticas no campo, cuja incidência é maior em pomares com menos de 20 ha (40%), comparado àqueles maiores que 420 ha (19%), o que torna o problema mais sério para citricultores de pequenas propriedades.

O HLB causa perdas significativas de receita quando os pomares apresentam >50% de plantas doentes, por prejuízos à qualidade da fruta e queda de frutos, que não são colhidos no campo.

O cenário de perda de produção, erradicação de árvores e controle do inseto vetor, dentre outros, leva a aumentos de custos de produção para os produtores e diminuição da longevidade dos pomares, além da dificuldade de renovação do plantio em áreas de alerta.

Outras doenças e pragas também afetam os pomares e têm somado enormes perdas da produção e qualidade de frutas. Além do HLB, devido ao crescimento contínuo da incidência e severidade da doença, o cancro cítrico, pinta preta, leprose, bicho-furão e mosca-das-frutas têm causado queda de frutas. Associada à queda natural ou mecânica e desordens fisiológicas, como a rachadura, o índice de queda tem sido maior que 20% anualmente⁹, ou seja >50 milhões de caixas de frutas (40,8 kg) são perdidas, que representariam aproximadamente US\$ 500 milhões por ano.

⁷ <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/www/gdsv/index.php?action=dadosCitriculturaPautista>

⁸ <https://www.fundecitrus.com.br/levantamentos/greening>

⁹ https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2023_05_10_Sumário_Executivo_da_Estimativa_da_Safra_de_Laranja_2023-2024.pdf

Ademais, o aumento da ocorrência de pragas e doenças em várias culturas tem sido observado, associado a mudanças do clima. Temperaturas mais elevadas do ar, chuvas irregulares e variações abruptas na umidade relativa podem favorecer a multiplicação de pragas e vetores nos pomares, tornando complexo e difícil o manejo fitossanitário, com consequente aumento do emprego de defensivos agrícolas no campo.

2.2. Clima adverso e impactos à produção dos citros

Nos últimos anos, o aumento da temperatura do ar e, consequentemente, do déficit de pressão de vapor, coincidentes com elevada irradiância, têm resultado em perdas de produtividade nas principais regiões citrícolas do estado de São Paulo⁹. Esses problemas são atrelados a prejuízos de processos fisiológicos e bioquímicos foliares, ainda não bem elucidados em plantas cítricas.

Em 2021, a citricultura passou pela pior seca dos últimos 90 anos, além de geadas repentinas, acrescentando novos desafios ao seu negócio. Quebras de safra, por condições adversas do clima, chegaram a >30 milhões de caixas no ano, nas safras 2020/21¹⁰ e 2021/22¹¹.

De fato, na região norte do estado de São Paulo, as temperaturas médias máximas do ar de períodos decendiais

¹⁰ https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/0421_Fechamento_da_Safra_de_Laranja.pdf

¹¹ https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/0422_Fechamento_da_Safra_de_Laranja.pdf

no mês de outubro foram 31,3 °C em 2009, 36,5 °C em 2012, 38,9 °C em 2014 e 37,7 °C em 2015 (INMET, 2016). Em outubro de 2020 as temperaturas alcançaram 43 °C nas regiões norte do estado (INMET, 2020). Importante destacar também a ocorrência de altas temperaturas do ar nos meses de janeiro-fevereiro, as quais podem afetar a safra pela queda de frutos jovens (maiores que os chumbinhos) ou redução na qualidade dos frutos (Nawaz *et al.*, 2020). O aumento da temperatura do ar, assim como ondas de calor, determinam o aumento da demanda evaporativa, fechamento estomático e redução do suprimento do CO₂ aos cloroplastos, superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs), reduzindo a capacidade fotossintética das plantas.

Estima-se um aumento no requerimento hídrico de plantas de citros para os períodos de 2055s e 2090s, em resposta às mudanças potenciais na concentração de CO₂, temperatura do ar, evapotranspiração e precipitação, o que possivelmente continuará afetando a produção, causando maiores impactos econômicos ao setor (Fares *et al.*, 2017). Um fato importante é que apenas 39% dos pomares de citros do estado de São Paulo são irrigados¹², o que pode permitir melhor proteção da produção nestes, diante das mudanças do clima. Dessa forma, ampla disponibilidade de água, assim como manejo correto da irrigação, são condições que carecem de melhor estabelecimento no setor, para garantia de altas produtividades em todo o cinturão citrícola.

¹² https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2022_07_01_Inventario_e_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2022-2023.pdf

3. Ações prioritárias/ direcionamento das pesquisas científicas para solução dos problemas

A atuação do Centro de Citricultura/IAC ocorre da produção ao consumo dos citros, além da formação de recursos humanos, disponibilização de produtos e de serviços especializados. Os resultados desse trabalho têm permitido a obtenção de novas variedades porta-enxertos e copas, melhores práticas de controle de doenças, eficiência de uso de nutrientes, além de manejo dos pomares com plantas de cobertura, e das plantas daninhas, para proteção de recursos e investimentos na citricultura.

Nesse contexto, busca-se ainda planejamento para com as necessidades da cadeia, em um cenário futuro de enfrentamento às alterações do clima e garantia de segurança alimentar, articulando esforços em projetos que permitam ao setor citrícola manter a liderança no estado.

3.1. Projetos de pesquisas e resultados relevantes

A caracterização do banco de germoplasma e a obtenção de novas cultivares por diferentes métodos têm sido empregadas pelo programa de melhoramento genético do Centro de Citricultura/IAC há anos. São mais de 1.700 acessos mantidos na maior coleção de citros do mundo e, ainda, centenas de híbridos gerados por cruzamentos dirigidos.

Haja vista, a crescente demanda por novas cultivares de copa e de porta-

-enxertos de citros que confirmam boas características às plantas, tais como maior longevidade dos pomares e produtividade, melhor qualidade físico-química dos frutos, maior tolerância às doenças, principalmente o HLB, maior tolerância aos estresses abióticos, como o déficit hídrico, e otimização do manejo e tratos culturais nos pomares, todas qualidades convergem para uma citricultura moderna e sustentável, pois podem resultar no menor custo de produção, maior ganho produtivo, menor uso de princípios ativos e, conseqüentemente, menores impactos adversos também ao contexto sócio-ambiental.

Avaliações de plantas geneticamente modificadas ocorrem em experimentos de campo em liberação planejada no meio ambiente (LPMA). Também tem sido empregada a edição gênica com uso da técnica CRISPR para alguns objetivos: i) reduzir a resposta de hipersensibilidade (HR) de plantas infectadas à bactéria do HLB, ii) utilização de porta-enxertos mais tolerantes à doença e iii) indução de menor porte da variedade copa. Essas atividades fazem parte dos projetos INCT Citros e do Centro de Ciência para o Desenvolvimento (CCD-CROP-IAC), no Instituto Agrônômico (IAC).

Existem diferenças na incidência e severidade de danos pelo HLB em função do porta-enxerto utilizado para várias copas, resultando em diferentes níveis de tolerância das plantas a campo. Citrandarins (híbridos de microtangerinas x *Poncirus trifoliata*), quando usados como porta-enxertos, têm se mostrado mais tolerantes ao

HLB e/ou podem induzir a produção de plantas com menor porte, podendo resultar em plantios de pomares com reduzido espaçamento entre as plantas e consequente melhor aproveitamento da área, podendo induzir aumentos de produtividade por área, sem prejuízos à qualidade dos frutos. Ainda, o porta-enxerto Flying Dragon, por exemplo, está sendo estudado em pomares com plantios em alta densidade, por induzirem menor porte às variedades de copa.

Em estudos realizados pelo Centro de Citricultura/IAC em conjunto com empresas parceiras, os resultados se mostram promissores. Como exemplo, experimento com laranja Pera como variedade copa sobre diversos citrandarins foi estabelecido na região norte de São Paulo, em 2013, em parceria com o setor privado, e encontram-se em avaliação. Vinte porta-enxertos, sendo 18 citrandarins, obtidos no programa de melhoramento, os citrandarins do cruzamento entre *Citrus sunki* x *Poncirus trifoliata* cv. Rubidoux (18, 26, 47, 68, 70, 73, 110, 124, 128, 137, 139, 148, 150, 151, 152, 248, IAC 3299 Muriti) e citrandarin Sunki x Benecke (IAC 1697), do cruzamento entre tangerina Sunki x *Poncirus trifoliata* cv. Benecke, além dos citrumelos W2 e o Swingle [*Citrus*

paradisi Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.], têm sido avaliados, sendo estes dois últimos usados como variedades-padrão.

Os resultados mostraram diferenças de vigor da copa entre os porta-enxertos, o que é refletido na produção de frutos nas três safras avaliadas (Figura 2). Como destaque geral, o citrandarin IAC 3299 Muriti, porta-enxerto semiananicante, apresenta bom desenvolvimento, com porte desejado (cerca de 3 m) para a citricultura atual, alta tolerância à seca (Figura 3), bons índices de produção (Figura 2) e de eficiência produtiva (Figura 4).

A relevância desses resultados é estimada com base na perda de safra de 30 milhões de caixas (40,8 kg) em 2021/22. Nessa condição, se o parque citrícola fosse composto de materiais mais eficientes para a produção de frutos, seria possível obter, aproximadamente, incrementos de 30% de produção, assim como proteger a safra com o uso de porta-enxerto tolerante à seca, revertendo a perda de frutos, alcançando outras 40 milhões de caixas a mais (Figura 4), cujos números representariam ganhos >US\$ 500 milhões para o setor, em um ano.

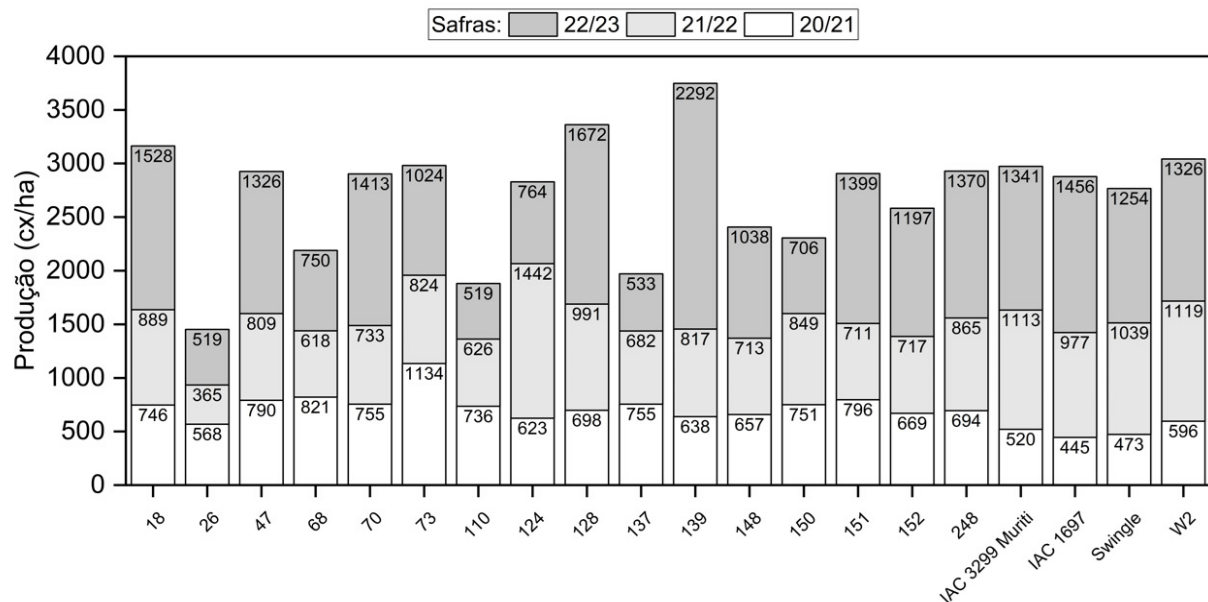


Figura 2. Pomar ilustra a diferença de tamanho entre algumas variedades e produtividade (em caixas de 40,8 kg ha⁻¹), de três safras de diferentes porta-enxertos (18 citrandarins e duas variedades-padrão) com a variedade copa Pera. Vale ressaltar que na safra 2020/21 houve uma produção de frutos temporões.

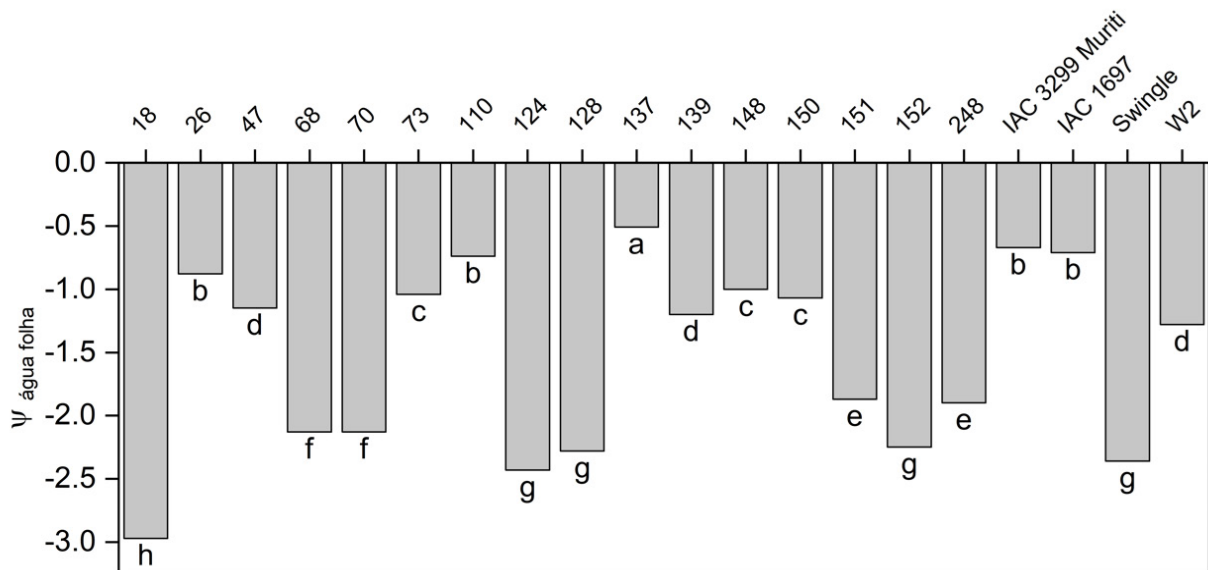


Figura 3. Potencial hídrico foliar de diferentes porta-enxertos (18 citrandarins e duas variedades-padrão) com a variedade copa Pera.

Ademais ao programa de melhoramento, um projeto para a sustentabilidade da produção de lima ácida Tahiti foi desenvolvido com apoio da Fundação Agricultura Sustentável (Agrisus) entre 2011 e 2014. Os resultados das pesquisas mostraram incrementos de 30% na produtividade do pomar com a adoção do consórcio de braquiária *ruziziensis* nas entrelinhas dos pomares e o uso da roçadora ecológica, proporcionando adequada

camada de palha na linha de plantio dos citros (*mulching*, Figura 5). Essa técnica contribuiu com o manejo integrado das plantas daninhas, proporcionando aporte de nutrientes, principalmente de potássio (K) na linha de plantio, além da manutenção da umidade do solo, redução da compactação e aumento da microbiota do solo, em acordo com a chamada Agricultura de Conservação, preconizada pela FAO, que recomenda não deixar o solo descoberto.

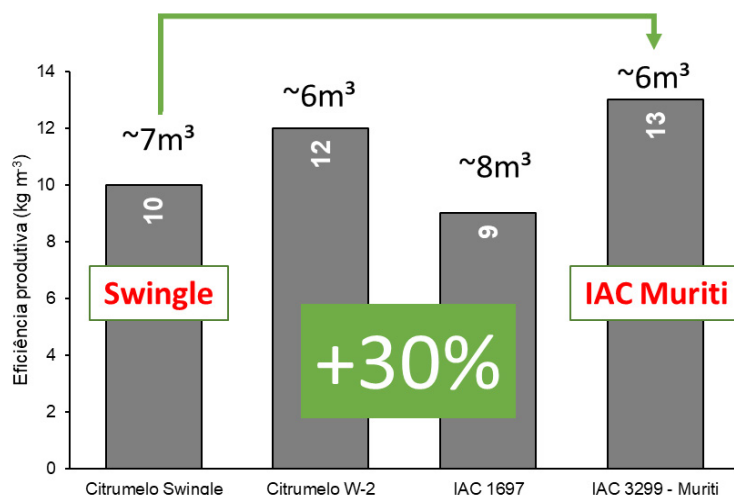


Figura 4. Eficiência produtiva (kg de frutos/m³ de copa) com indicações de volume de copa (m³) dos principais porta-enxertos com a variedade copa Pera. Vale ressaltar que na safra 2020/21 houve uma produção de frutos temporões.



Figura 5. Plantio de citros direto na palha, manutenção de braquiária *ruziziensis* na entrelinha com manejo com roçadora ecológica. Área experimental do Centro de Citricultura/IAC.

Esse tipo de pauta foi amplamente contemplado durante a realização do *International Citrus Congress* (ICC) em 2016, cuja temática do evento foi “Citricultura Sustentável: o papel do conhecimento aplicado”, evento realizado em colaboração entre o Centro de Citricultura/IAC e o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), juntos à Sociedade Internacional de Citricultura (ISC). Nesse evento foram discutidas estratégias no manejo sustentável da água e nutrientes, manejo de pragas, insetos vetores e doenças, além das percepções públicas sobre uso de transgênicos na agricultura.

Nessa oportunidade se externou para a comunidade internacional a capacidade de inovação e a inteligência de produção da citricultura brasileira para estar forte, apta a continuar e reinventar o negócio frente aos desafios do mundo moderno.

Viabilidade dos sistemas de cultivos protegidos de citros e adequação de práticas de manejo é avaliada em um módulo experimental e demonstrativo de produção de diferentes variedades, para o mercado de mesa, com duas condições ambientais de telado (que excluem o vetor do HLB) e plantas com combinações copa e porta-enxertos (Figura 6). Além da exclusão do psílídeo, o cultivo protegido para a produção de frutos de mesa, com uso de espaçamento superadensado e porta-enxertos ananizantes, manejo intensivo de adubação, irrigação, poda, desbaste e outras técnicas para melhoria do tamanho, coloração e sabor dos frutos, aliado ao controle da floração e frutificação para oferta em épocas de melhor preço, poderá agregar valor aos frutos, favorecendo a relação custo/benefício em um novo modelo de citricultura intensivo.



Figura 6. Plantas e frutos de citros obtidos em condições de plantio protegido (telado). Área experimental do Centro de Citricultura/IAC.

Integrando ações de pesquisa e eventos, o Centro de Citricultura/IAC estabeleceu colaboração com a Fundação Solidaridad para capacitar citricultores de pequenas propriedades em boas práticas de manejo dos pomares (BPM's). A Solidaridad é uma organização internacional que atua há 50 anos em prol de cadeias produtivas sustentáveis e inclusão de produtores rurais. No Brasil, visa engajar cadeias produtivas para a transição para uma produção inclusiva e de baixo carbono. Por meio do projeto Fruto Resiliente, a colaboração promove a adoção de práticas mais sustentáveis pelos pequenos citricultores, pelo incentivo ao bom gerenciamento das propriedades rurais e fortalecimento da produção de quase 500 citricultores.

Dessa colaboração veio a oportunidade para certificação da fazenda experimental do Centro de Citricultura/IAC com o selo, nível ouro, da FSA/SAI (sigla em inglês para Avaliação de Sustentabilidade da Fazenda/Plataforma de Iniciativa de Agricultura Sustentável). A SAI é uma organização mundial sem fins lucrativos que ajuda a transformar a indústria de alimentos e bebidas, para abastecimento e produção de forma mais sustentável.

Melhorias na eficiência do uso de insumos na agricultura são críticos para enfrentar os desafios de segurança alimentar, degradação ambiental e mudança do clima. Estima-se que o agronegócio é a segunda atividade que mais emite gases de efeito estufa do Brasil, respondendo por 27% do total¹³, contribuindo

para os desequilíbrios climáticos. Perdas de nitrogênio (N) de solos agrícolas, causam, por exemplo, contaminação de águas, emissões de óxidos de N e gás amônia, afetando negativamente o rendimento das culturas. Nesse contexto, baixo uso do N significa menor produtividade das culturas, má nutrição humana e degradação do solo, mas uso excessivo de N leva à poluição ambiental e suas ameaças concomitantes à produtividade agrícola, segurança alimentar, saúde do ecossistema, saúde humana e prosperidade econômica. Assim, é projetada a necessidade de aumentos da eficiência de uso de N pelas culturas para atender à demanda global de alimentos em 2050 (Zhang *et al.*, 2015).

O grupo de pesquisa do Centro de Citricultura/IAC tem abordado esse assunto na citricultura. Já demonstrou diferenças da eficiência de uso do N por plantas de laranja e limão (DOVIS *et al.*, 2021), cujas informações poderão apoiar programas de melhoramento genético na área de nutrição mineral de plantas. Consolidado informações acerca das melhores práticas de manejo da fertilidade de solos tropicais, o Boletim 100 do IAC traz recomendações de calagem e adubação, para qualidade e lucratividade da produção, sobre quantidades de nutrientes absorvidas e exportadas pelos citros, fertilizantes e valores de referência para o diagnóstico dos teores de nutrientes disponíveis no solo e do estado nutricional das plantas, obtido com a análise de folhas (Cantarella *et al.*, 2022).

¹³ <https://www.insper.edu.br/noticias/emissoes-da-agropecuaria-brasileira-ameaca-ou-oportunidade/>

3.2. Rede de pesquisas estratégicas para soluções dos problemas

Para abordar os desafios futuros da produção de citros sob a pressão de mudanças do clima e garantia da sustentabilidade, será necessário o estabelecimento de parâmetros para desenvolver novas variedades e novas

tecnologias de manejo da produção que possam contribuir para melhoria da qualidade e produtividade dos frutos, tanto para processamento de suco quanto para comercialização in natura. Neste escopo, serão necessárias abordagens que se integrem em linhas de pesquisas sobre i) planta, ii) ambiente e iii) sistema produtivo (Figura 7).

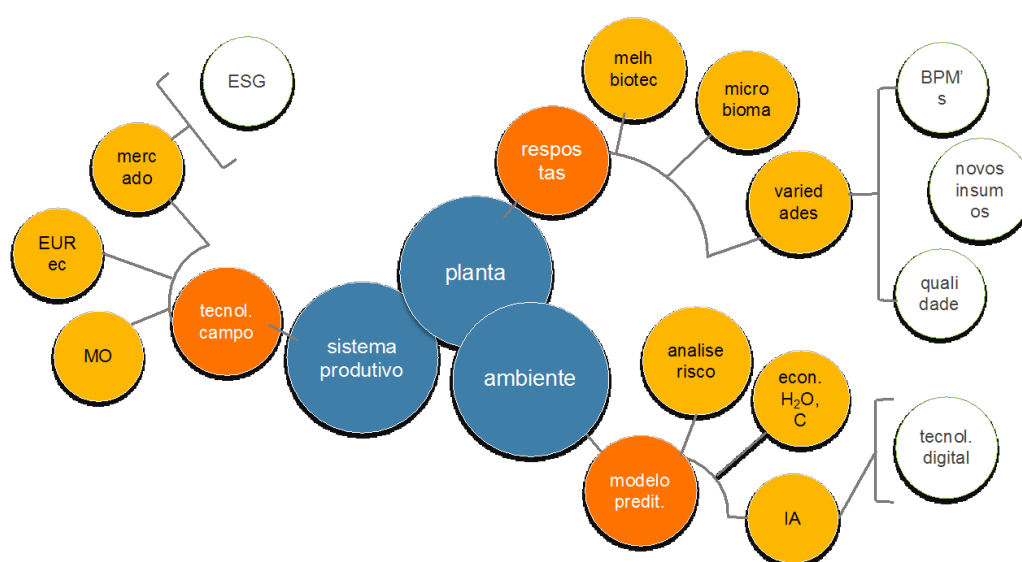


Figura 7. Representação do mapa de ações de pesquisa que integram planta, sistema produtivo e ambiente. Legenda: ESG = ambiente, social e governança (da sigla em Inglês), EUR ec = eficiência de uso de recursos, MO = mão de obra, BPMs = boas práticas de manejo, econ = economia, IA = inteligência digital.

A organização de uma rede estratégica para solução de problemas deverá refletir os objetivos e metas correspondentes definidos, em uma visão de curto a longo prazo.

As ações principais de pesquisa deverão contemplar temas para:

- caracterizar processos bioquímicos/fisiológicos de respostas das plantas ao ambiente de produção (sob estresse biótico/abiótico), de acordo com a fenologia da planta;

- avaliar a combinação de estresse (irradiância, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor, déficit hídrico e outros);

- caracterizar transcriptoma, metaboloma da planta;

- determinar *thresholds* para perdas de produção/qualidade (severidade e tolerância) sob ambiente adverso;

- estabelecer modelos preditivos para ocorrências do clima locais;

- obter novas variedades por seleção/uso de marcadores moleculares,

transformação genética/edição de genes para tolerância a estresses, qualidade e saudabilidade;

- estabelecer BPM's para uso eficiente de recursos produtivos;
- desenvolver moléculas funcionais, biológicos, bioestimulantes e protetores;
- estabelecer estratégia RNA interferente (RNAi) para controle de pragas;
- caracterizar microbioma para proteção da planta, promoção da qualidade do solo e ambiente, estabelecer pegadas de C e H₂O;
- desenvolver redes de dados lógicos para tomadas de decisões.

Referências

AYRES, A. J. **Manejo do greening**: 10 mandamentos para o sucesso no controle da doença. Araraquara: Fundecitrus, 2019. 67 p.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van. (eds.). **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 2022. 489 p.

DOVIS, V. L. *et al.* Biomass partitioning and photosynthesis in the quest for nitrogen use efficiency for citrus tree species. **Tree Physiology**, v. 41, p. 163-176, 2021.

FARES, A.; BAYABIL, H. K.; ZEKRI, M.; MATTOS JR., D.; AWAL, R. Potential climate change impacts on citrus water requirement across major producing areas in the world. **Journal of Water and Climate Change**, v. 8, p. 576-592, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2017.182>.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados históricos de Franca-SP. 2016. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>.

Acesso em: 4 nov. 2016.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 5 dez. 2020.

KIST, B. B.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. **Anuário Brasileiro de Horti&Fruti 2022**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2022. 96 p. Disponível em: https://www.editoragazeta.com.br/site/wp-content/uploads/2022/04/HORTIFRUTI_2022.pdf.

LARANJEIRA, F. F.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; AGUILAR-VILDOSO, C. I.; DELLA COLETTA FILHO, H. Fungos, procariotos e doenças abióticas. In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JR., J. (eds.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundag, p. 509-566, 2005.

MATTOS JR., D. *et al.* O Centro Avançado de Pesquisa e Desenvolvimento de Citricultura "Sylvio Moreira" na pauta de um dos maiores negócios do estado de São Paulo. **O Agrônomo**, v. 74, p. 196-212, 2022.

MATTOS JR., D. *et al.* Contribuição do Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC) na cadeia de produção de citros. **Citricultura Atual**, n. 137, p. 24-25, 2023.

NAWAZ, R.; ABBASI, N. A.; HAFIZ, I. A.; KHALID, A. Impact of climate variables on growth and development of Kinnow fruit (*Citrus nobilis* Lour. x *Citrus deliciosa* Tenore) grown at different ecological zones under climate change scenario. **Scientia Horticulturae**, v. 260, 108868, 2020.

ZHANG, X.; DAVIDSON, E. A.; MAUZERALL, D. L.; SEARCHINGER, T. D.; DUMAS, P.; SHEN, Y. Managing nitrogen for sustainable development. **Nature**, v. 528, p. 51-59, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature15743>.



ENGENHARIA E AUTOMAÇÃO

Eficiência Ambiental em Sistemas Operacionais de Produção Agrícola

Hamilton Humberto Ramos*, Afonso Peché Filho, Antonio Odair Santos, Daercy Maria Monteiro de Rezende Ayroza, Luiz Marques da Silva Ayroza, Maria Aparecida Lima, Moises Storino, Roberto da Cunha Mello

*hamilton.ramos@sp.gov.br

A ação conjunta de toda humanidade tem provocado uma acelerada deterioração do ambiente na agricultura, além da substituição das paisagens naturais por paisagens cultivadas. O uso intensivo de tecnologia provoca diferentes situações que em muitas vezes condena a capacidade produtiva, comprometendo o produto, a integridade humana e a condição ecológica do local. O conceito de eficiência ambiental em propriedades agrícolas tem um significado amplo, passando pela forma de ocupação e uso das terras, uso correto de tecnologias, menos resíduos e poluição, redução

de gastos energéticos, segurança no trabalho, proteção da biodiversidade e, entre tantas outras, a promoção da segurança alimentar.

A pesquisa relacionada com a eficiência ambiental de operações agrícolas busca desenvolver o conhecimento tecnológico, com objetivo de tornar sistemas de produção mais seguros e sustentáveis. A figura 1 esquematiza alguns dos diferentes aspectos da eficiência ambiental pesquisados no Centro Avançado de P&D de Engenharia e Automação, do Instituto Agrônomo (CEA/IAC).



Figura 1. Linhas de pesquisa em eficiência ambiental no CEA/IAC.

A engenharia de requalificação de ocupação e uso de terras tem como objetivo inserir a variável ambiental nos sistemas de produção agrícola como instrumentos de gestão agroambiental ecoeficiente. A partir da análise de cenários do Centro Experimental de Campinas "Fazenda Santa Elisa"/IAC, por exemplo, foi possível sistematizar uma metodologia aplicável para

requalificação de propriedades agrícolas frente às necessidades de adequação ambiental para diferentes temáticas, como é o caso da gestão de águas, carbono e sistemas para produção de floradas (alimentos para polinizadores e fauna). A figura 2 mostra a proposta de compartimentação em seis diferentes ambientes que compõem as áreas do CEA/IAC.



Figura 2. Proposta de compartimentação ambiental do Centro Experimental de Campinas “Fazenda Santa Elisa”, Campinas (SP). Foto: Barbosa, W. Fonte: Peche Filho, A. (2022).

Nocaso da “gestão águas” a proposta do CEA/IAC, é avaliar e caracterizar a “dinâmica hidrológica” a partir dos seis ambientes da propriedade. O modelo CEA/IAC preconiza a gestão em dez

diferentes tipos de águas identificadas na propriedade. A figura 3 mostra uma representação esquemática do “modelo de gestão para diferentes tipos de águas”.

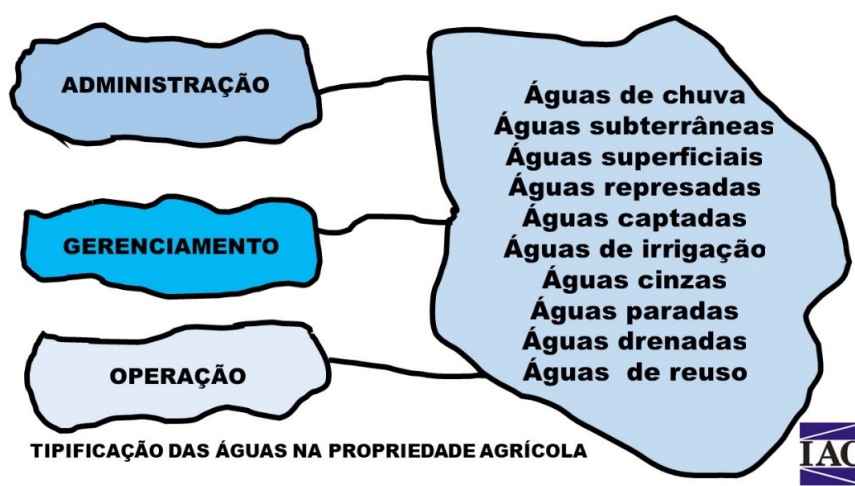


Figura 3. Modelo de Gestão de Águas em Propriedades Agrícolas. Fonte: Peche Filho, A. (2022).

Com relação ao carbono, os estudos em desenvolvimento no CEA/IAC têm como objetivo inicial sistematizar conhecimentos para propor a caracterização de sua dinâmica na propriedade agrícola. O entendimento da dinâmica do carbono na propriedade é fundamental para a sua quantificação e análise como um produto agrícola. O desafio é disponibilizar um modelo de gestão do carbono que atenda

às premissas de transferência do conhecimento, de forma a estabelecer uma proposta de ATER (Assistência Técnica e Extensão Rural) voltada para complementar a ação de extensionistas frente a preparação das propriedades às mudanças climáticas. A figura 4 mostra a representação da proposta do Modelo IAC para as principais práticas de gestão das questões que envolvem a dinâmica do carbono na propriedade.

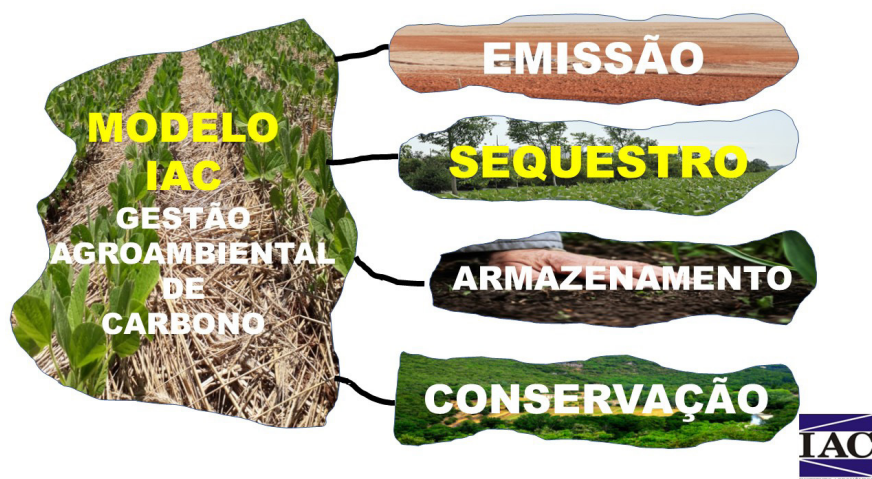


Figura 4. Representação da proposta do Modelo IAC para Gestão Agroambiental do Carbono em Propriedades Agrícolas. Fonte: Peche Filho, A. (2022).

Ainda dentro da linha de pesquisa em qualificação e requalificação na ocupação e uso de terras, principalmente aquelas cultivadas pela agricultura familiar em áreas declivosas, o CEA/IAC desenvolveu estudos junto aos pequenos agricultores na região do Vale do Ribeira, no estado de São Paulo, e disponibilizou diretrizes tecnológicas denominadas de Manejo Adaptativo de Sistemas Agroflorestais, com o objetivo de contribuir para a soberania e segurança alimentar de pequenos agricultores a partir da realidade

local. A tecnologia desenvolvida pelo CEA/IAC permite a implantação de áreas diversificadas contendo em um hectare, 40 espécies de árvores nativas, duas espécies de palmito (juçara e pupunha), 14 tipos de fruteiras, hortaliças de folhas, frutos, temperos e medicinais além de 100 pés de mandioca e 25.000 pés de milho. A figura 5 destaca o arranjo teórico para execução do protocolo de instalação com todas as operações realizadas em nível e a figura 6 destaca o “arranjo georreferenciado de implantação de três áreas.



Figura 5. Destaque para o “arranjo teórico” de adaptação de SAFs proposta pelo Centro Avançado de P&D de Engenharia e Automação/IAC.



Figura 6. Destaque para o “arranjo georreferenciado” de implantação de três áreas de SAFs em Pedro de Toledo (SP).

A pesquisa relacionada com a eficiência energética na agricultura é uma das vertentes sustentáveis. Tem como objetivo criar caminhos a serem seguidos para a contribuição

do setor na redução da poluição e do aquecimento global. Dentro das atividades do CEA/IAC destacamos duas iniciativas diferentes. Uma relacionada com estudos para

seleção de áreas para instalação de usina fotovoltaica (Figura 7), cujos objetivos serão produzir energia para o autoconsumo e subsidiar a criação de laboratório de pesquisas voltado

ao desenvolvimento de sistemas de geração fotovoltaica para as diferentes demandas do setor agrícola, com a possibilidade de parceria com a APTA e a Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel.



Figura 7. Representação da base esquemática para instalação da usina fotovoltaica nas dependências do Centro Avançado de P&D de Engenharia e Automação/IAC.

A pesquisa em segurança nos ambientes operacionais de produção também é um dos pontos fortes de

atuação do CEA/IAC e é realizada segundo as linhas de pesquisa especificadas na figura 8.

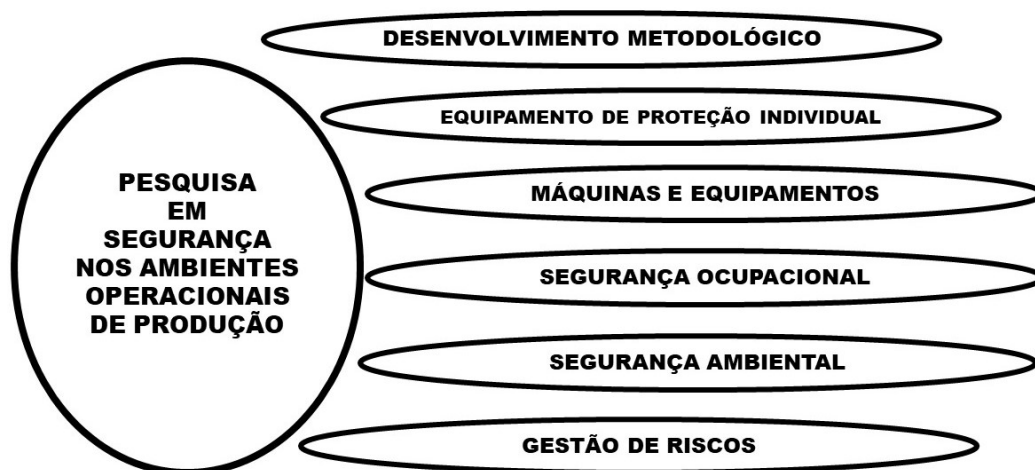


Figura 8. Representação da base esquemática para linhas de pesquisa em segurança do trabalho desenvolvidas no Centro Avançado de P&D de Engenharia e Automação/IAC.

Dentro da linha de máquinas e equipamentos, uma das iniciativas em estudo no CEA/IAC é o desenvolvimento de um sistema de colheita de cana-de-açúcar elétrico (Figura 9), composto por um cortador mecânico e um picador ou despalhador, para permitir a colheita mecânica de forma econômica em pequenas e médias propriedades. O cortador mecânico realizará as operações de levantar as canas deitadas no solo, separar as linhas de plantio, despontar, cortar na base e por meio de correia dentada carregar a cana em um compartimento de carga para então descarregá-la por meio

de transbordo direto no caminhão. Esta proposta é para uma máquina de baixo custo, alta versatilidade e que pode trabalhar em áreas com maior declividade, além de reduzir a compactação do solo. O picador ou despalhador ficará estacionado em um barracão e alimentado pela rede elétrica. Espera-se oferecer ao mercado um conjunto de máquinas que possam atender tanto aos pequenos e grandes produtores, como também contribuir para uma colheita mecanizada de cana-de-açúcar de baixo custo, pouca emissão de carbono e menor compactação do solo.

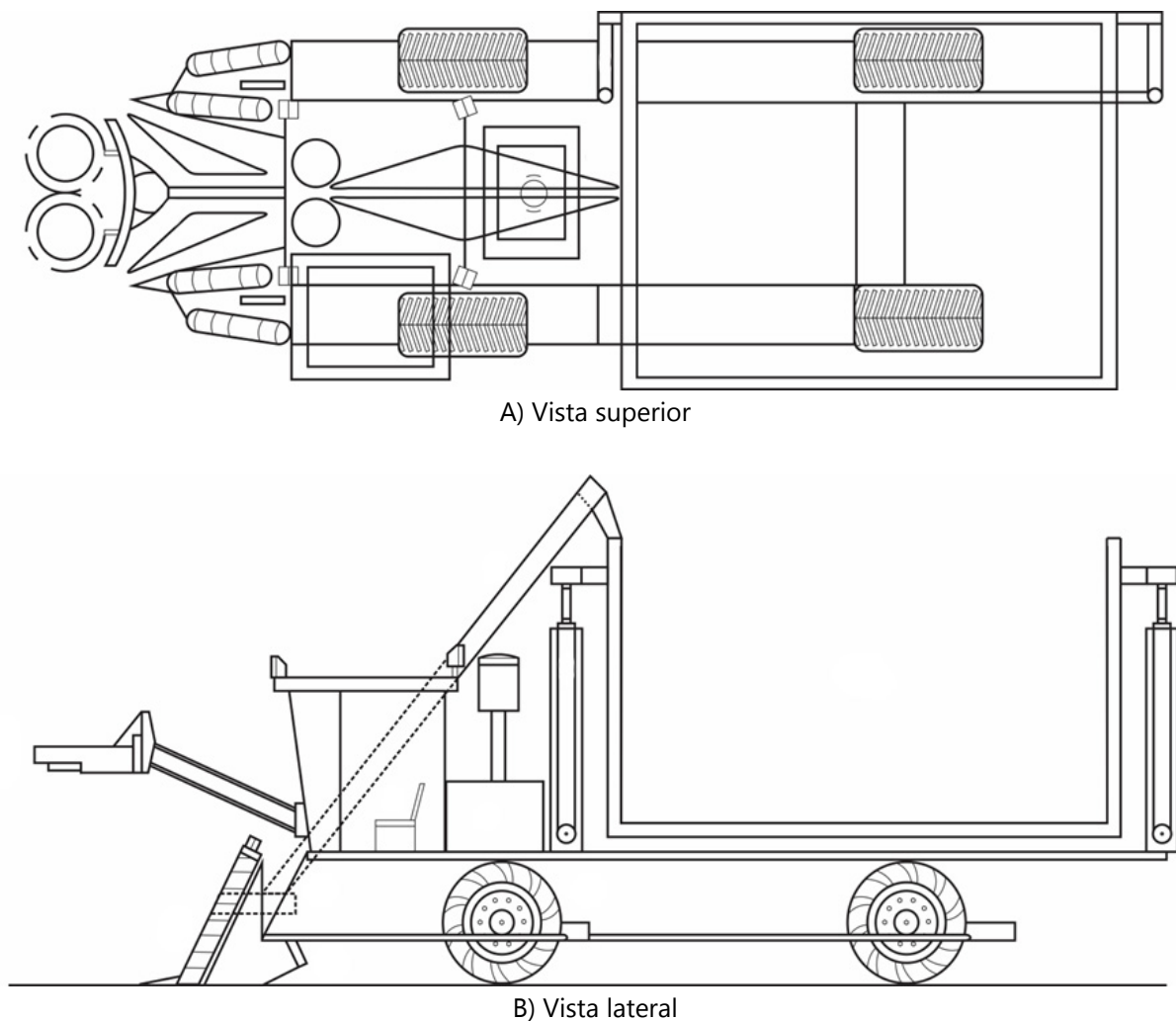


Figura 9. Projeto de colhedora elétrica de baixo custo para cana-de-açúcar.

Ainda com relação ao desenvolvimento de máquinas e implementos seguros, podem ser citados o pulverizador confinador e reciclador de calda para a viticultura (Figura 10), onde em vez de a calda de pulverização ser jogada diretamente no ambiente, ela é jogada em um ambiente confinado e, toda a calda que passar pela planta ou que não pare

na mesma é coletada e recirculada para o tanque de pulverização, reduzindo o desperdício, a contaminação ambiental e do alimento. Nessa linha também está em desenvolvimento no CEA/IAC, em parceria com uma empresa francesa, um sistema para aplicação de hormônios de brotação na viticultura utilizando a inteligência artificial e elementos de robótica.

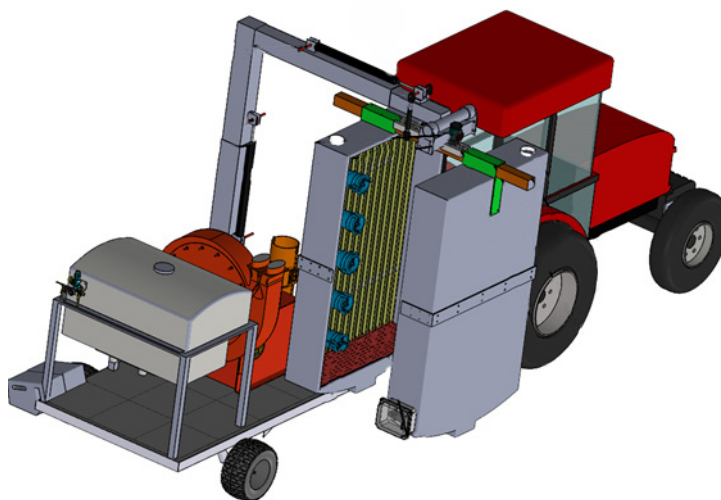


Figura 10. Projeto de montagem do pulverizador confinador e reciclador de calda.

A segurança ocupacional é também uma das linhas contempladas pelas pesquisas do CEA/IAC, que tem forte relação com as mais diversas questões ambientais envolvidas nas atividades agrícolas, principalmente aquelas relacionadas com a proteção de trabalhadores dos riscos causados por agentes físicos, biológicos e químicos, além da prevenção de acidentes de trabalho. Uma das ações mais antigas do CE/IAC nessa área é a utilização dos conhecimentos da pesquisa no auxílio ao desenvolvimento de normas de qualidade e segurança aplicadas a máquinas e equipamentos de proteção, com a participação em órgãos de normatização nacionais e internacionais como as Comissões de Estudo CE 203:006.01 - Comissão de Estudos de Máquinas e Implementos para Aplicação de Defensivos e CE 32:006.-03 - Comissão de Estudos de Luvas e Vestimentas de Proteção para Riscos Químicos, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

e o Subcomitê ISO/TC94/SC13 - *Protective Clothing* da Organização Internacional de Normatização (ISO). Normas que hoje são leis, como a NR 31 - Segurança e Saúde no Trabalho, na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura, na parte de qualidade de máquinas agrícolas, e a ABNT NBR ISO 27065 - Vestimenta de proteção - requisitos de desempenho para vestimenta de proteção utilizada por trabalhadores na aplicação de defensivos e durante o período de reentrada entre outras, utilizadas como parâmetro de qualidade para o fornecimento do Certificado de Aprovação (CA), pelo Ministério do Trabalho e Previdência para vestimentas de proteção no trabalho com defensivos, contaram com a colaboração de pesquisadores do CEA/IAC.

Vários projetos de pesquisa estão também ligados à área de segurança ocupacional e de Equipamentos de

Proteção Individual (EPI), como o de Tecnologia de Aplicação que atua, por exemplo, junto aos agricultores buscando otimizar os volumes de calda utilizados na aplicação de produtos químicos e biológicos. Em função da regulação adequada de pulverizadores obteve-se resultados de redução de 10 mil para 2 mil litros de água utilizados no tratamento fitossanitário da cultura dos citros ou até 70% de redução na necessidade do uso de defensivos em horticultura e fruticultura de pequenas propriedades. O Quepia - Programa IAC de Qualidade de Equipamentos de Proteção Individual na Agricultura, que é uma parceria do CEA/IAC com fabricantes de vestimentas de proteção para o trabalho com defensivos, que desde 2006 vem trabalhando a qualidade das vestimentas de proteção no Brasil. Devido ao trabalho do Quepia e seus parceiros o Brasil foi o primeiro país no mundo a adotar, como lei, normas de qualidade para as vestimentas de proteção no trabalho com defensivos e reduzir o número de reprovações nos testes de qualidade de 52% para menos de 20% em 10 anos. Em razão desse trabalho, o aplicador está mais seguro mesmo sem saber, uma vez que a qualidade das vestimentas de proteção é garantida para os EPIs comercializados. Além disso, o CEA/IAC possui um moderno laboratório de avaliação e desenvolvimento de qualidade de EPI, único no Brasil e reconhecido internacionalmente. O Programa Adjuvantes da Pulverização desenvolve métodos de avaliação para a funcionalidade de adjuvantes, que são produtos colocados juntos aos defensivos na pulverização,

para potencializar a aplicação ou o efeito no produto. Conhecendo tais potencialidades, os fabricantes conseguem orientar os agricultores sobre como aplicar melhor e com mais eficácia, reduzindo a contaminação ambiental, do trabalhador e do alimento. Os resultados das análises e os métodos desenvolvidos deverão ser utilizados no aperfeiçoamento de métodos de ensaios que permitam elaborar um sistema de classificação e certificação dos adjuvantes. O Aplique Bem, desenvolvido desde 2007 em parceria com a UPL, trabalha a segurança sob diferentes aspectos: pela avaliação da qualidade dos pulverizadores em uso, por meio de normas ISO, pela avaliação e auxílio na regulação do pulverizador, reduzindo desperdícios, e pelo treinamento de técnicos, agricultores e trabalhadores, auxiliando na transferência de tecnologias seguras ao campo. Atuando diretamente nas propriedades com veículos especialmente adaptados, denominados TechMóveis (Figura 11), o Aplique Bem já atingiu mais de 80.000 pessoas no Brasil, em 22 estados e Distrito Federal, e avaliou mais de 400 pulverizadores, auxiliando na sua melhoria. Os dados obtidos nas avaliações compõem um Banco de Dados que, além de auxiliar nos treinamentos, permitem identificar os principais problemas de manutenção e a eficácia dos treinamentos, com a análise dos problemas encontrados em avaliações subsequentes. Atualmente, a ação de Pesquisa Participativa, que são pesquisas simples realizadas diretamente com os agricultores, tem ajudado a difundir as técnicas seguras de aplicação. Em conclusão, a

Unidade de Referência em Tecnologia e Segurança na Aplicação de Produtos Químicos e Biológicos (UR), foi criada com o objetivo de transferir tecnologia para agentes multiplicadores, encarregados do treinamento de agricultores ou outros profissionais no uso correto e seguro de produtos utilizados no tratamento fitossanitário. Desenvolvidos para atender aos preceitos da NR 31 do MTP e mais recentemente do Programa Aplicador

Legal do MAPA, além de cursos presenciais teórico-práticos, acaba de lançar um curso totalmente a distância (EAD), em parceria com o FonteAgro e a CropLife Brasil, com 40 horas de duração, ministrado a profissionais que desejam se dedicar a treinamentos nessas áreas. Dessa forma, gerando e transferindo ciência, tecnologia e inovação, o CEA/IAC está contribuindo para a sustentabilidade da agricultura paulista e brasileira.



Figura 11. TechMóvel utilizado pelo Aplique Bem nas ações de avaliação de pulverizadores, da pulverização e no treinamento de trabalhadores.

Com relação à segurança ambiental e gestão de riscos o CEA/IAC desenvolve pesquisas metodológicas para subsidiar avaliação, análise e monitoramento de impactos potenciais em função das mudanças climáticas na

ocupação e uso das terras de bordas de reservatórios hídricos. A figura 12 destaca a compartimentação proposta para estudos nas bordas do principal Reservatório Hídrico do Córrego Jundiaí-Mirim, manancial da cidade de Jundiaí.

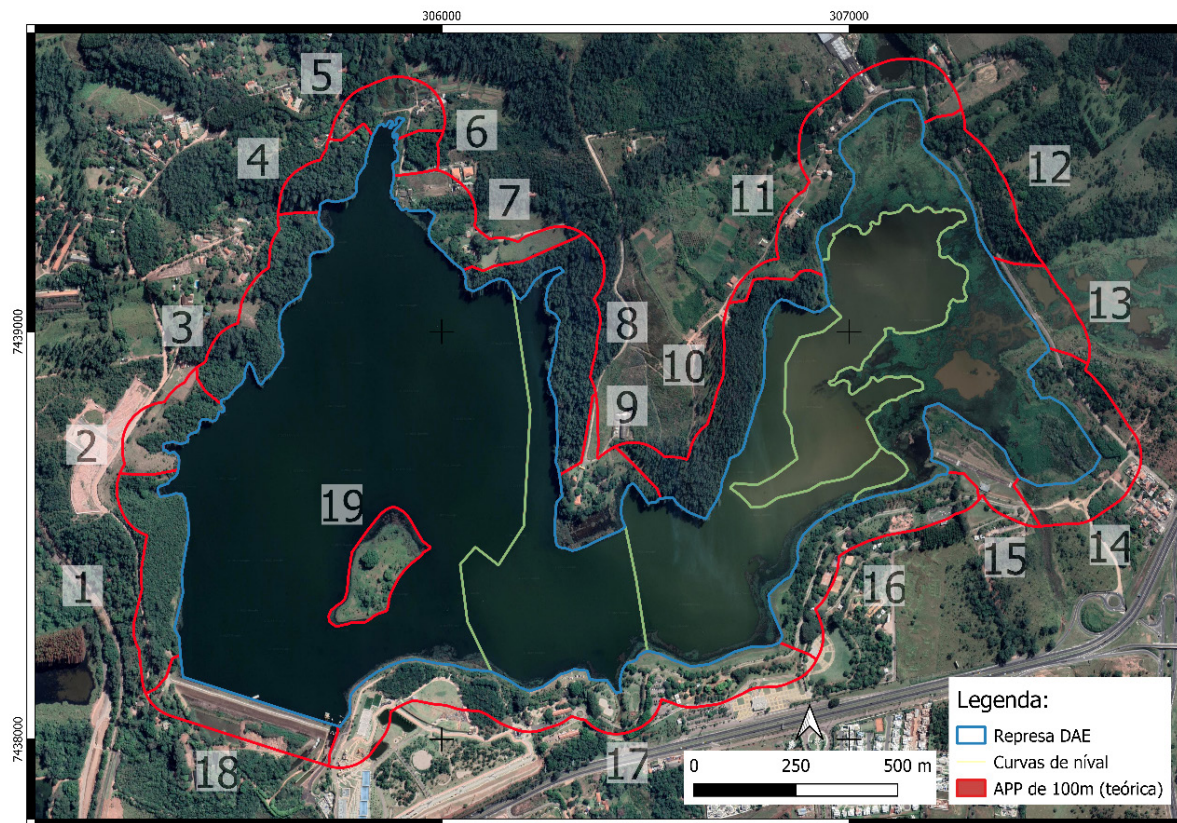


Figura 12. Gestão de Riscos - Compartimentação proposta para estudos nas bordas do Reservatório Hídrico do Córrego Jundiá-Mirim.

Com o avanço tecnológico da mecanização aumentou a capacidade de trabalho e rendimento de máquinas, possibilitando mobilizar grandes extensões de terras. Esse é um dos principais fatos que desencadearam estudos e alternativas para diminuir os impactos e riscos de degradação causados pela mecanização em ambientes tropicais. Como resultado o CEA/IAC preconiza um conjunto de

diretrizes técnicas denominadas de mecanização conservacionista, que pode ser definida como uma forma de aplicação do conhecimento no sentido de viabilizar a qualidade da proteção do solo nas etapas de implantação e condução de lavouras. A figura 13 esquematiza as principais diretrizes da mecanização conservacionista em operações de preparo do solo preconizadas pelo CEA/IAC.

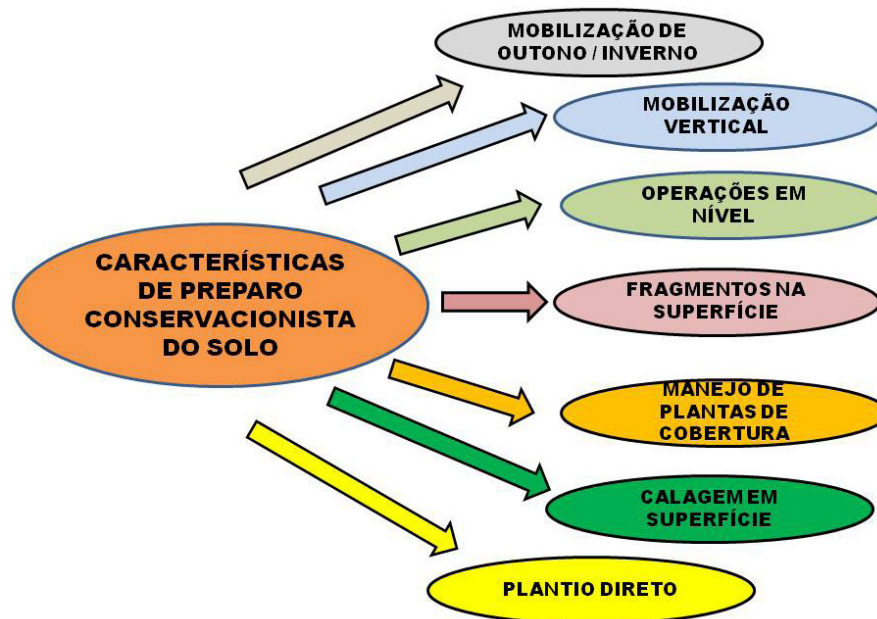


Figura 13. Diretrizes CEA para mecanização conservacionista em operações de preparo do solo.

Considerações finais

Podemos afirmar, de acordo com as atividades em andamento no CEA/IAC, que o direcionamento institucional em disponibilizar resultados e transferir tecnologia relacionada com a eficiência ambiental de operações agrícolas e gestão agroambiental vão ao encontro dos desafios e necessidades de tornar sistemas de produção agrícolas mais seguros, sustentáveis e cada vez mais adaptados às mudanças climáticas.

Referências

PECHE FILHO, A. **Enriquecimento vegetal e produção de floradas.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yezmiEWW3SA>. Acesso em: 28 nov. 2022.



FITOSSANIDADE

Segurança Alimentar:
Sustentabilidade e Impacto
das Mudanças Climáticas na
Produção Agrícola

Margarida Fumiko Ito*, Christina Dudienas,
Roberta Pierry Uzzo, José Alberto Caram de
Souza Dias, Carlos Eduardo Rossi

*margarida.ito@sp.gov.br

Introdução

Os trabalhos de pesquisa científica em fitossanidade no Instituto Agrônomo (IAC) iniciaram-se em 1892, logo após a sua fundação, devido ao aparecimento de problemas com doenças da videira, resultando na criação da Seção de Fitopatologia, em abril de 1894, a mais antiga do Brasil.

A Seção de Entomologia foi criada em 1927, seguida da Virologia em 1954 e da Nematologia, em 1990. Em 1998, as Seções de Fitopatologia, Virologia, Nematologia e Entomologia passaram a constituir o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Fitosanidade. Em 2014, o Quarentenário IAC passou a fazer parte do Centro.

As principais linhas de pesquisa do Centro são:

1. Estudos básicos sobre variabilidade de pragas e fitopatógenos, para suporte aos programas de melhoramento genético, visando resistência de plantas;
2. Interação patógeno-hospedeiro, vetores e epidemiologia;
3. Taxonomia de pragas e microrganismos;
4. Métodos de controle, manejo integrado e avaliação de perdas causadas por doenças e pragas;
5. Sanidade de sementes;
6. Técnicas em biologia molecular, aplicadas ao estudo de pragas e microrganismos.

No Centro são desenvolvidos projetos de pesquisa a longo, médio e curto prazos, com o principal objetivo

de dar suporte aos programas de melhoramento genético de culturas, para obter cultivares resistentes a pragas e patógenos. Tem trabalhado nas culturas de algodão, amendoim, batata, feijão, figo, hortaliças, maracujá, milho, morango, plantas ornamentais, soja, trigo, videira, entre outras.

1. Principais problemas em fitossanidade, frente à sustentabilidade e às mudanças climáticas

1.1. Importância da fitossanidade para o estado/Brasil/mundo

A produção agrícola, nos países tropicais e subtropicais, principalmente, sofre muitas perdas por pragas e doenças, anualmente. Essa situação é agravada com as mudanças climáticas, que vêm ocorrendo há muitos anos, com graves consequências econômicas, sociais e ambientais. O aquecimento global interfere na distribuição geográfica das pragas e doenças de plantas, pela alteração nas zonas agroclimáticas e têm sido observadas alterações significativas na incidência e severidade de doenças em plantas, além de aumento de danos por pragas.

O ambiente influencia o crescimento e suscetibilidade da planta hospedeira, multiplicação, disseminação e sobrevivência dos patógenos e pragas e as interações com as plantas. Os fitopatógenos e as pragas podem se adaptar às mudanças climáticas, com o desenvolvimento de novas raças mais resistentes às diferentes condições de temperatura, umidade ou maior amplitude térmica. Essas adaptações

são facilmente observadas devido à ocorrência de numerosas populações, facilidade de multiplicação e dispersão, além do curto tempo entre gerações.

Além dos efeitos nos fitopatógenos e pragas, as mudanças no clima interferem na morfologia, fisiologia e metabolismo das plantas, resultando em alterações na ocorrência e severidade de doenças e danos por pragas. São realizados trabalhos contínuos de melhoramento genético, visando resistência às doenças e pragas, no entanto os mecanismos de resistência das plantas hospedeiras podem ser quebrados mais rapidamente, como resultado do desenvolvimento acelerado das populações desses agentes.

Organismos que atuam em controle biológico de pragas e fitopatógenos também podem ser afetados pelas alterações climáticas, resultando no aumento de doenças e pragas nas plantas. Doenças, cujos patógenos são transmitidos por insetos vetores, também apresentam diferenças de distribuição e incidência, devido às alterações nas populações dos vetores.

Todas essas alterações aumentam a dificuldade de controle das doenças e pragas de plantas. Observa-se grande aumento no uso de produtos para controle químico e aumento de resistência dos fitopatógenos e pragas aos produtos. As pesquisas

em fitossanidade, em suas diferentes áreas, são necessárias e devem ser constantes, ininterruptas, para dar suporte aos programas de pesquisa em culturas agrícolas.

1.2. Principais problemas das mudanças climáticas e/ou necessidade de práticas mais sustentáveis na produção agrícola

As alterações no comportamento dos agentes pragas e fitopatógenos, devido às mudanças climáticas, causam prejuízos que podem atingir perdas de até 100% na produção de uma cultura.

Têm-se como exemplos:

• **Ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi***

Na cultura da soja, a doença ferrugem asiática constitui-se em uma das mais temidas e severas doenças, podendo causar perdas de até 90% na sua produção, dependendo do clima durante a safra (Figura 1).

Essa doença causou danos econômicos na safra 2000/01, quando produtores sofreram a perda total na sua produção e continua ainda causando prejuízos ao país e aos produtores de soja, na ordem de 2 bilhões de dólares anuais para o seu controle químico, principalmente.



Figura 1. Doença ferrugem asiática da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*: perda total na safra 2000/01 (A); efeito do bom controle químico da doença (B) e uredosporos de *P. pachyrhizi* (C).

Em relação às práticas sustentáveis de controle, foi estabelecido o vazio sanitário, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), com objetivo de eliminar a ponte verde entre as safras de soja, uma das medidas para o controle da ferrugem. Cada estado estabeleceu o seu período do vazio sanitário.

No estado de São Paulo o período é de 15 de junho a 15 de setembro. Nesse período não se pode plantar e nem ter plantas vivas de soja no campo, havendo necessidade de pelo menos 90 dias sem cultura e sem plantas voluntárias no campo. Essa prática é relevante, pois o fungo *P. pachyrhizi* é patógeno obrigatório, necessita de plantas vivas para se manter viável, apesar de sobreviver por um período ao redor de 60 dias em restos culturais e apresentar hospedeiros alternativos.

O vazio sanitário da soja tem contribuído na redução do potencial de inóculo de *P. pachyrhizi*, retardando o início do desenvolvimento da doença ferrugem nos primeiros plantios da safra, reduzindo o número de aplicação de fungicidas. O controle biológico tem sido introduzido há alguns anos para o controle dessa doença, com

resultados positivos e promissores. Essa modalidade de controle encontra-se em pleno desenvolvimento no Brasil, com relevantes resultados e deve ser intensificado ainda mais, visto o país ser detentor de grande biodiversidade de agentes de controle.

Há necessidade de maior desenvolvimento de trabalhos em melhoramento genético, visando resistência a *P. pachyrhizi*. As cultivares lançadas, com incorporação de genes para resistência a esse patógeno, ainda necessitam de complementação com controle químico, para evitar prejuízos na produção. É muito importante o emprego do manejo integrado de pragas e doenças, para o bom controle dos agentes bióticos, causadores de danos às plantas.

• **Mofo-branco, causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary**

Esse patógeno é polífago e encontra-se amplamente distribuído nas principais regiões produtoras do Brasil (Figura 2).

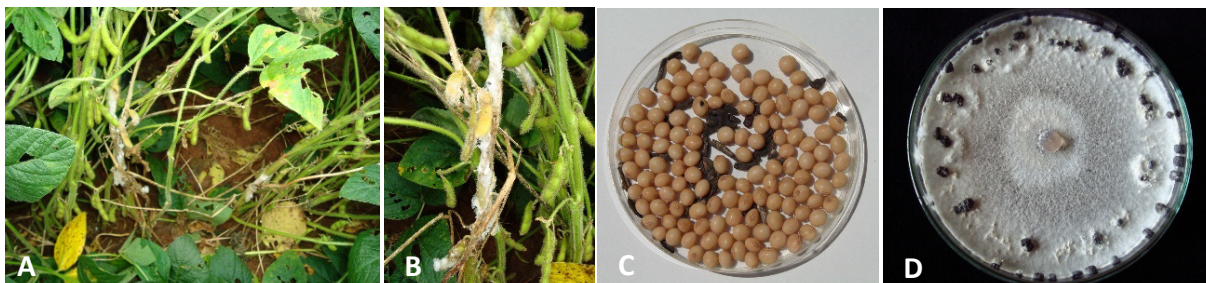


Figura 2. Mofo-branco em soja, causado por *Sclerotinia sclerotiorum*: desenvolvimento da doença na planta (A); formação do micélio e escleródios do fungo (B); escleródios em contaminação com as sementes (C) e desenvolvimento do fungo em meio de cultura BDA (Batata-Dextrose-Agar) (D).

A partir da safra 2007/08, a doença mofo-branco tem causado perdas econômicas significativas nas culturas como algodão, feijão, girassol e soja, no Brasil. A doença mofo-branco pode ocorrer em mais de 200 gêneros de plantas, abrangendo acima de 500 espécies, compreendendo desde culturas de alto potencial econômico a plantas daninhas. Essa doença já foi relatada em muitos países, causando maior severidade nas culturas em países de clima temperado a subtropical e regiões com clima ameno, sob alta umidade relativa e do solo.

No Brasil, o patógeno *S. sclerotiorum* causava doença em cultivos nas regiões mais frias, porém atualmente encontra-se amplamente disseminado, com maior ocorrência nos estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste e também em outras regiões brasileiras. O patógeno adaptou-se, provavelmente, às condições de mais altas temperaturas, observadas com as mudanças climáticas. Extensas áreas brasileiras, mais de 11 milhões de hectares, estão com solo contaminado com o fungo *S. sclerotiorum*.

Em relação às práticas sustentáveis de controle, é recomendado o uso de sementes e mudas saudáveis, práticas culturais, como maior espaçamento entre plantas, uso adequado de nitrogênio, emprego de controle biológico, dentre outras, no cultivo de espécies de plantas suscetíveis ao fungo *S. sclerotiorum*. Há necessidade de maior desenvolvimento de trabalhos com controle biológico, extratos vegetais, óleos essenciais, produtos para o estímulo da resistência e do vigor das plantas, nanotecnologia, metabólitos naturais como os feromônios, etc., visando a sustentabilidade do agroecossistema. É muito importante o emprego do manejo integrado da doença, para o bom controle do patógeno *S. sclerotiorum*.

• Enfezamento do milho, causado por espiroplasma e fitoplasma

Nos últimos anos tem ocorrido grande aumento na incidência e severidade do enfezamento do milho. Os enfezamentos ocorrem de forma generalizada nas principais

regiões produtoras de milho do país, principalmente nas lavouras cultivadas na "safrinha", geralmente quando os cultivos são realizados sucessivamente numa mesma área. Essa doença é causada por espiroplasma e fitoplasma,

que pertencem à classe dos Mollicutes e são transmitidas pela cigarrinha-do-milho *Dalbulus maidis* (Figura 3). Podem ocorrer o enfezamento pálido, causado por *Spiroplasma kunkelli* e o enfezamento vermelho, causado por fitoplasma.



Figura 3. Enfezamento pálido e vermelho do milho, causados por *Spiroplasma kunkelli* (pálido) e fitoplasma (vermelho), transmitidos pela cigarrinha-do-milho *Dalbulus maidis*: cigarrinha-do-milho *Dalbulus maidis* (A); enfezamento pálido (B); enfezamento vermelho (C) e danos no milho (D).

A proliferação da cigarrinha-do-milho tem ocorrido em alta taxa, principalmente em temperaturas mais elevadas, transmitindo e disseminando os patógenos nas culturas de milho no Brasil, causando muitos danos e prejuízos. O cultivo intensivo, na mesma área, a homogeneidade genética das cultivares suscetíveis e a existência de plantas hospedeiras, contribuem para o aumento do potencial da praga. Além disso, o uso de inseticidas, sem rotação com inseticidas de diferentes modos de ação, induz ao aumento da população da cigarrinha resistente ao produto. Ocorre também a falha na reserva e uso da área de refúgio no cultivo de milho transgênico Bt. Esses fatores, aliados às mudanças climáticas, tornam severos os danos no patossistema milho x cigarrinha x espiroplasma e fitoplasma.

Em relação às práticas sustentáveis de controle recomenda-se a escolha de cultivares de milho tolerantes aos enfezamentos, uso de sementes tratadas e redução da janela de semeadura, além da eliminação do milho tiguerado, que serve de abrigo à cigarrinha. Há necessidade de maior desenvolvimento de trabalhos com controle biológico e desenvolvimento de cultivares tolerantes, ou resistentes às doenças. É muito importante o emprego do manejo integrado de doenças, para o bom controle dos patógenos.

• Nematoides em culturas agrícolas

Nematoides de galha do gênero *Meloidogyne* são considerados

importantes pragas em muitas culturas agrícolas, responsáveis por perdas estimadas em 12,3%, equivalente a 157 bilhões de USD. Trata-se de um parasito aquático e biotrófico de raízes,

dependente de condições climáticas, principalmente temperatura e água no solo, além de níveis de dióxido de carbono atmosférico (Figura 4).



Figura 4. Doença causada por *Meloidogyne* sp.: morte de plantas em lavoura de quiabo (A); sistema radicular de tomateiro com muitas galhas (B); sistemas radiculares de pimentas: direita = resistente e esquerda = suscetível (C) e juvenis do nematoide de galha (D).

As principais espécies que ocorrem no Brasil são adaptadas ao clima tropical, cujas temperaturas ótimas encontram-se na faixa de 15 a 30 °C. As mudanças climáticas estão afetando, como afetarão, padrões biológicos com reflexos nas distribuições de nematoides, estímulo a gerações adicionais, maior potencial reprodutivo, desenvolvimento de relações nematoides-patógenos mais complexas e graves. Essas espécies podem atingir regiões agrícolas de maior altitude e menores temperaturas, afetando mais drasticamente as culturas de inverno. Entretanto, o aquecimento do solo, que favorece o desenvolvimento do parasito, também induz à seca, que lhe é desfavorável.

Outro importante parâmetro alterado com o aquecimento global é a resistência das plantas aos nematoides de galha. Os principais genes de resistência são inativados em temperaturas constantes do solo,

acima de 28 °C. Com as mudanças climáticas, provavelmente, quase todas as cultivares resistentes tornar-se-ão suscetíveis.

Em relação ao manejo dos nematoides, além da resistência genética, a utilização de compostos orgânicos supressivos pode ser afetada, devido às perdas consideráveis de matéria orgânica e potencial antagonico do solo. Tem-se observado que o controle biológico de nematoides apresenta resultados muito positivos no Brasil, devendo ser incrementado. Rotações de culturas e adubação verde deverão ser reavaliadas. Da mesma forma, bionematicidas, insumos, atualmente, com altos investimentos e potencial de controle sem agressão ao meio ambiente, deverão ser revisados, pois os agentes de controle biológico também poderão ser afetados. O monitoramento preciso das populações de nematoides deverá ser priorizado, para que a resposta à infestação inicial seja rápida e eficaz.

- **Viroses em batata, transmitidas por insetos vetores pulgões e moscas brancas**

As mudanças climáticas em regiões de temperaturas mais elevadas, com estiagens prolongadas, favorecem o aumento populacional de espécies de insetos. Nas últimas duas décadas, houve mudança na relação vírus x bataticultura: o *PLRV* deixou de ser o causador da virose de maior importância, dando lugar ao *PVY*, que vem dominando e ocorrendo de forma crescente nos últimos 15 anos. As pesquisas realizadas no Centro de P&D de Fitossanidade (IAC) mostraram

que de 2003 a 2011 houve a primeira evidência sobre a transmissão do vírus *PLRV* por moscas brancas, além dos pulgões, em batatais de regiões do Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

- **Tecnologia IAC-Broto/Batata-semente**

Os brotos originados dos tubérculos/batata-semente, que eram descartados, passaram a ser utilizados como “sementes”, de baixo custo, via produção de minitubérculos/batata-semente, classe básica (G-0, G-1), livres de vírus (Figura 5).



Figura 5. Tecnologia IAC-Broto/Batata-semente: brotos originados de batatas-sementes (A); plantas livres de vírus, desenvolvidas a partir dos brotos (B) e minitubérculos obtidos a partir de brotos (C).

O aproveitamento desses brotos vem atendendo à sustentabilidade na produção agrícola, pelo uso de um subproduto, que antes era descartado, além de reduzir muito o custo da batata-semente ao produtor.

- **Tecnologia Bio-imuno monitoramento de viroses em campo**

Nessa tecnologia, as plantas indicadoras de viroses, transmitidas

por insetos, *Datura stramonium* (manifestam sintomas típicos para *PLRV*, *ToCV*, *Begomovirus* e *Tospovirus*) e *Datura metel* (*PVY*), são levadas para exposição, durante o ciclo vegetativo do batatal, destinado à produção de tubérculos/batata-semente. Por meio da inspeção visual, combinada com testes microtubo-ELISA (imuno-monitoramento), é diagnosticada a presença ou a ausência de vírus (Figuras 6 e 7).

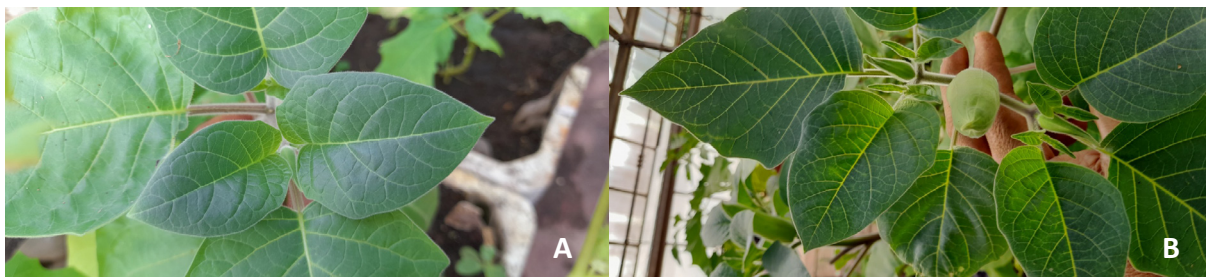


Figura 6. Plantas de *Datura metel* sadia (A) e sintomas iniciais do vírus PVY (B), clareamento das nervuras das folhas apicais.



Figura 7. Folhas de *Datura stramonium*, planta indicadora para biomonitoramento dos vírus PLRV ou ToCV: sadias (A) e com sintomas (B).

• Virose da hortênsia

A área de pesquisa em floricultura encontra-se altamente competitiva, exigindo aprimoramento técnico constante. Em relação às culturas de propagação vegetativa de plantas ornamentais, há carência de mudas de boa qualidade sanitária para o mercado interno, como também pelas exigências do mercado externo.

Trabalho realizado no Centro de P&D de Fitossanidade solucionou a dificuldade da produção de hortênsias da variedade Renat Blue, que apresentavam degenerescência, devido à infecção pelo vírus *Hydrangea ringspot vírus* - HdRSV (Figura 8). Com base na técnica da termoterapia, as matrizes de hortênsias ficaram livres do vírus, passando a produzir mudas sadias.

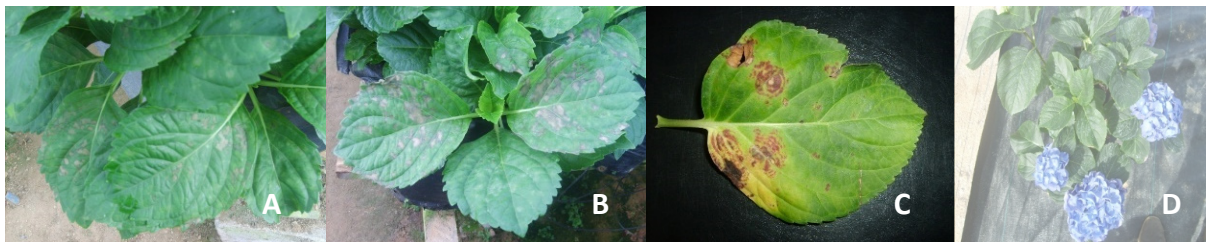


Figura 8. Sintomas do vírus *Hydrangea ringspot virus* - HdRSV em hortênsia variedade Renat Blue. Lesões cloróticas (A); lesões necróticas (B); anéis necróticos (C) e matriz sadia (D). Foto: Yuki, V. A. (2011).

As mudanças ocorridas na predominância das viroses na bataticultura e outras culturas requerem ações da ciência e tecnologia, em busca de práticas culturais inovadoras, eficazes e ao alcance dos produtores. São necessários estudos contínuos de manejo da cultura, principalmente em relação ao material de propagação, tubérculos/batata-semente, mudas de plantas ornamentais e outras, de alta sanidade, com percentuais de vírus próximos a zero.

• Quarentenário IAC

O Quarentenário IAC é o principal quarentenário do Brasil, atualmente (Figura 9). A maior parte das introduções de vegetais, do exterior, para pesquisas científicas, são realizadas por esse quarentenário. São feitas análises laboratoriais e em casa de vegetação, para todas as áreas da fitossanidade: doenças, pragas e plantas daninhas. Essas atividades são de alta importância, visando interceptar a introdução de pragas quarentenárias ausentes no país.

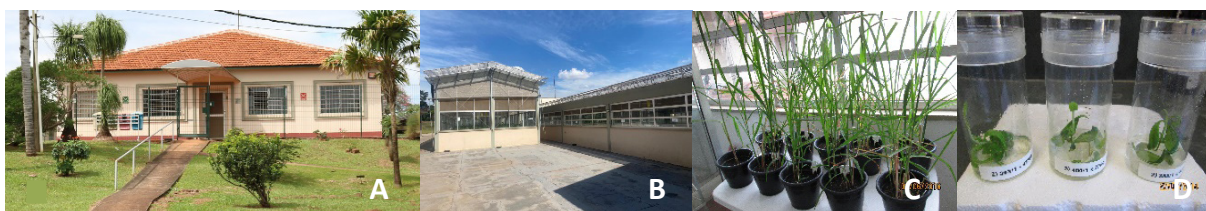


Figura 9. Quarentenário IAC: prédio principal (A); casas de vegetação (B); quarentena de milho (C) e quarentena em cultivo in vitro (D).

Com os efeitos das mudanças climáticas sobre as pragas e patógenos e visando a sustentabilidade da agricultura brasileira, a barreira contra

pragas quarentenárias ausentes deve ser atividade constante e com uso de todas as técnicas possíveis de diagnóstico, nas diferentes áreas.

1.3. Ações necessárias de práticas mais sustentáveis na produção agrícola

Em relação às práticas mais sustentáveis na produção agrícola, há necessidade de pesquisas constantes em todas as áreas da fitossanidade, como:

- Estudo da variabilidade de pragas e fitopatógenos, por região;
- Métodos sustentáveis de controle com produtos biológicos, óleos essenciais, extratos vegetais, vazio sanitário, produtos para o estímulo da resistência e do vigor das plantas, nanotecnologia, metabólitos naturais como os feromônios, agricultura de precisão, etc.;
- Sanidade de sementes em alta demanda nos segmentos de produção de sementes da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) e empresas produtoras de sementes;
- Técnicas de diagnoses sensíveis, de rápido resultado, em relação custo/benefício;
- Fitossanidade digital, Agricultura de precisão e Inovação tecnológica;
- Agricultura regenerativa, envolvendo rotação de culturas, plantio direto e integração LPF.

A mitigação das mudanças climáticas traz contribuições nos pilares ambiental, social e econômico.

1.4. Impactos das ações da fitossanidade, para uma agricultura sustentável

As pesquisas na área da Fitossanidade, Entomologia, Fitopatologia, Nematologia e Virologia, propor-

cionam impactos positivos nos pilares econômico, ambiental e social, resultando em:

- Aumento da produtividade e da qualidade do produto;
- Redução do custo de produção, proporcionando maior rentabilidade ao produtor;
- Recuperação de áreas degradadas;
- Evita a expansão a novas áreas, reduzindo o desmatamento;
- Proteção aos produtores e trabalhadores do campo;
- Redução da contaminação do ar, da água, do solo e do meio ambiente;
- Manutenção ou aumento dos organismos benéficos, proporcionando o equilíbrio biológico.

Com a prática dessas ações, mantém-se a sustentabilidade do agroecossistema.

1.5. Ações prioritárias/direcionamento das pesquisas científicas para solução dos problemas

Deve-se mitigar problemas no âmbito dos três pilares: econômico, ambiental e social, por meio de:

- Redução do uso de defensivos químicos;
- Incentivo às pesquisas na área de controle biológico de pragas e fitopatógenos.

O Brasil é referência mundial na utilização de defensivos agrícolas biológicos no campo, com 552 produtos registrados no MAPA, desde 2000 (MAPA, 01/07/2022).

- Estudo da variabilidade de pragas e fitopatógenos, com monitoramento por região;

- Pesquisas em métodos sustentáveis de controle, como produtos biológicos, extratos vegetais, produtos para o estímulo da resistência e do vigor das plantas, metabólitos naturais como os feromônios, nanotecnologia, inovações tecnológicas, agricultura de precisão, etc.;

- Uso de sementes saudáveis: Patologia de Sementes.

Há demanda para o estabelecimento de padrões de sanidade, para os principais patógenos das culturas.

- Pesquisas com rotação de culturas x pragas e doenças;

- Agricultura regenerativa, envolvendo rotação de culturas, plantio direto e integração lavoura-pecuária-floresta (LPF).

1.6. Brasil x mudanças climáticas mundiais

O Brasil apresenta cultivos em extensas áreas para produção de alimentos, fibras e energia, como exemplo as culturas de algodão, batata e hortifruticulturas, cana, citros, feijão, milho, seringueira, soja, dentre outras. Em cultivos sustentáveis e rastreáveis, o país tem a oportunidade da venda de créditos de carbono a outros países, com extensa contribuição do IAC.

Em relação aos três pilares, econômico, ambiental e social, considera-se que as mudanças climáticas potencializam todos os pontos críticos, com nível máximo (5) de impacto.

No **pilar econômico** para produtividade, custo de produção, pragas e doenças, preço e economia local/regional, causando:

- Alterações na dinâmica das pragas e dos fitopatógenos, como também nas culturas agrícolas, com prejuízos na produtividade;

- Impactos na inflação, pela sazonalidade dos alimentos e aumento do custo de produção.

Para a mitigação dessas alterações, há necessidade de maiores investimentos em pesquisas científicas.

No **pilar ambiental** para solo, ar, água, biodiversidade e emissão de gases de efeito estufa (GEE):

- As mudanças em pragas e fitopatógenos, devido às mudanças climáticas, podem exigir a aplicação intensiva de controle químico, de imediato, para evitar grandes prejuízos;

- Essa ação tem como consequências as perdas de áreas produtivas, a poluição ambiental, redução da biodiversidade benéfica, aumento da emissão de GEE, etc.

No **pilar social**, para segurança no alimento, qualidade de vida e acesso ao alimento.

Referências

BETTIOL, W.; MEDEIROS, F. H. V. **Como o Brasil tornou-se o maior produtor e consumidor de produtos de biocontrole.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/79156418/artigo-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-consumidor-de-produtos>

de-biocontrole. Acesso em: 14 abr. 2023.

DÓRIA, K. M. A. B. V. S.; NOZAKI, D. N.; YUKI, V. A.; PAVAN, M. A.; KRAUSE-SAKATE, R. First report of *Hydrangea ringspot virus* in Hydrangea in Brazil. **Journal of Plant Pathology**, v. 91, S4.101, 2009. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/41998726>.

DORIA, K. M. A. B. V. S.; NOZAKI, D. N.; PAVAN, M. A.; YUKI, V. A.; KRAUSE-SAKATE, R. Identificação e caracterização de um isolado do *Hydrangea ringspot virus* em hortênsia no estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 2, p. 125-128. 2011. CD-ROM.

EMBRAPA SOJA. **Vazio sanitário e calendarização da semeadura da soja**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/soja/ferrugem/vaziosanitariocalendarizacaoemeadura>. Acesso em: 14 abr. 2023.

GUINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. EMBRAPA Meio Ambiente. 2005. 104 p.

ITO, M. F.; GOMES, M. G. Mofo-branco na cultura do feijão no estado de São Paulo: situação atual e perspectivas. In: JACCOUD FILHO, D. S.; HENNEBERG, L.; GRABICOSKI, E. M. G. (eds.). **Mofo branco - Sclerotinia sclerotiorum**, Ponta Grossa, PR.: Toda palavra, 2017. p. 155-158.

ITO, M. F.; DUDIENAS, C.; YUKI, V. A. Fungo espalhado. **Revista Cultivar - Grandes Culturas**, v. 271, p. 40-47, 2021.

ITO, M. F.; YUKI, V. A.; SOUZA-DIAS, J. A. C.; DUDIENAS, C.; ROSSI, C. E.; UZZO, R. P. 7. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Fitossanidade. **O Agrônomo**, Campinas, v. 74, p. 115-126, 2022.

LACERDA, J. T. J. G. de *et al.* New insights into lectin from *Abelmoschus esculentus* seeds as a Kunitz-type inhibitor and its toxic effects on *Ceratitis capitata* and root-knot nematodes *Meloidogyne* spp.

Process Biochemistry, v. 63, p. 96-104, 2017.

LOBATO, B. **Cigarrinha e enfezamentos do milho desafiam produtores, que devem seguir recomendações de manejo**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/65316124/cigarrinha-e-enfezamentos-do-milho-desafiam-produtores-que-devem-seguir-recomendacoes-de-manejo>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MACHADO, M.; STOETZER, F.; VIRMOND, E. P.; SOUZA-DIAS, J. A. C.; KAWAKAMI, J. Metiram + Pyraclostrobina: effect on PVY translocation, potato growth and yield, and transmissivity by aphids. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 7, n. 3, p. 49-55, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5935/PAeT.V7.N3.06>.

ROSSI, C. E.; OLIVEIRA, F. C.; NIRO, B. L. M.; SANTOS, A. C. C.; PAULA, J. S. Efeito de formulação de fertilizante organo-mineral líquido no controle de nematoide de galha em batata. **Nucleus**, v. 18, n. 1, p. 311-318, 2021.

SOUZA-DIAS, J. A. C.; GIUSTO, A. B. Tecnologia do broto/batata-semente: avaliação do Elisa em broto versus respectivos tubérculos, na detecção de quatro vírus regulamentados. **Summa Phytopathologica**, v. 43, p. 195-202, 2017. CD-ROM.

SOUZA-DIAS, J. A. C.; DANDREA, P. A.; KUHLE, M. S. C. D.; VENZKE FILHO, S. P. Novas evidências de menores valores de absorbância (405 Nm) na detecção do Potato Virus Y (PVY) por Elisa em plantas de batata cv. Atlantic tratadas com Microgeo®. **Summa Phytopathologica**, v. 44, p. 170, 2018. CD-ROM.

VOIGT, K. **Epagri é protagonista na defesa das lavouras contra a cigarrinha-do-milho**. 2022. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2022/06/23/epagri-e-protagonista-na-defesa-das-lavouras-contra-a-cigarrinha-do-milho/>. Acesso em: 20 abr. 2023.



FRUTAS

Sustentabilidade e Impacto das
Mudanças Climáticas na Produção
de Frutas

Armando Tavares, Graciela da Rocha Sobierajski,
José Emilio Bettiol Neto, José Luiz Hernandez,
Mara Fernandes Moura, Luiz Antonio Junqueira
Teixeira*

*luiz.teixeira@sp.gov.br

Importância da fruticultura

A fruticultura é uma importante atividade econômica no estado de São Paulo e no Brasil, sendo responsável por gerar renda e empregos em todo o país. O cultivo de frutas movimenta grande cadeia produtiva, dinamizando a indústria produtora de insumos e máquinas, redes de distribuição, comercialização e a agroindústria. Além disso, a produção de frutas contribui significativamente para a melhoria da dieta da população, disponibilizando à mesa dos brasileiros alimentos com alto valor nutricional. Em relação aos aspectos sociais, a fruticultura pode ser uma importante ferramenta para a promoção do desenvolvimento rural,

permitindo a inserção de pequenos produtores no mercado e possibilitando a diversificação das atividades nas propriedades.

Segundo a FAO, em 2021, o Brasil era o terceiro maior produtor de frutas do mundo (Figura 1). Entre as frutíferas com maior volume de produção no mundo, destacam-se a banana, melancia, maçã, laranja, uva e manga (Figura 2). No mesmo ano, São Paulo ocupou o 1º lugar entre os maiores produtores nacionais de banana, manga e laranja, e o 3º lugar na produção de uva, segundo estimativas do IBGE. Este destaque nacional da fruticultura paulista reflete-se na importância do setor na composição do valor total da produção agropecuária no estado.

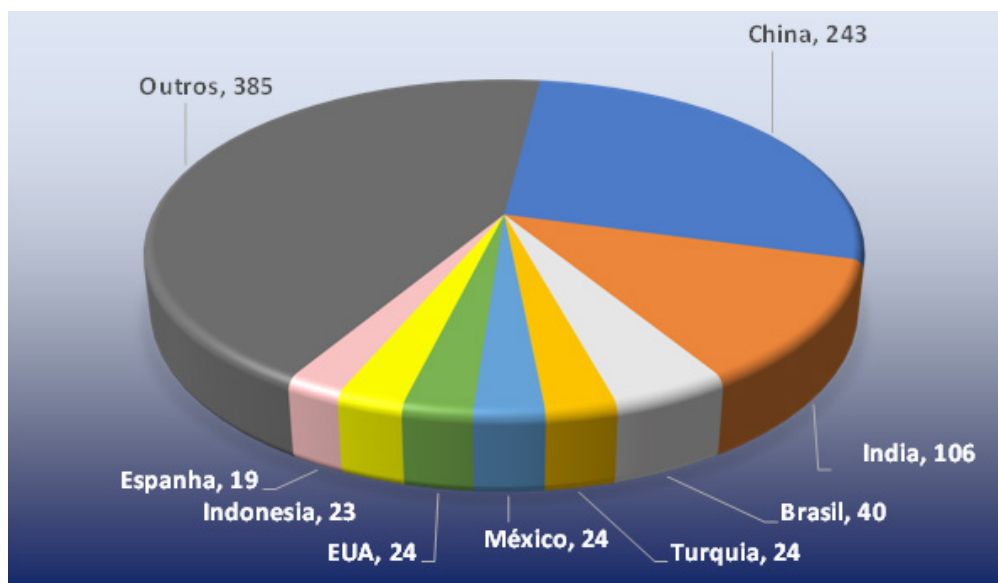


Figura 1. Produção mundial de frutas por país, em 2021. Os valores de produção são expressos em milhões toneladas/ano de frutas. Fonte: FAO 2021, acessado em março de 2023.

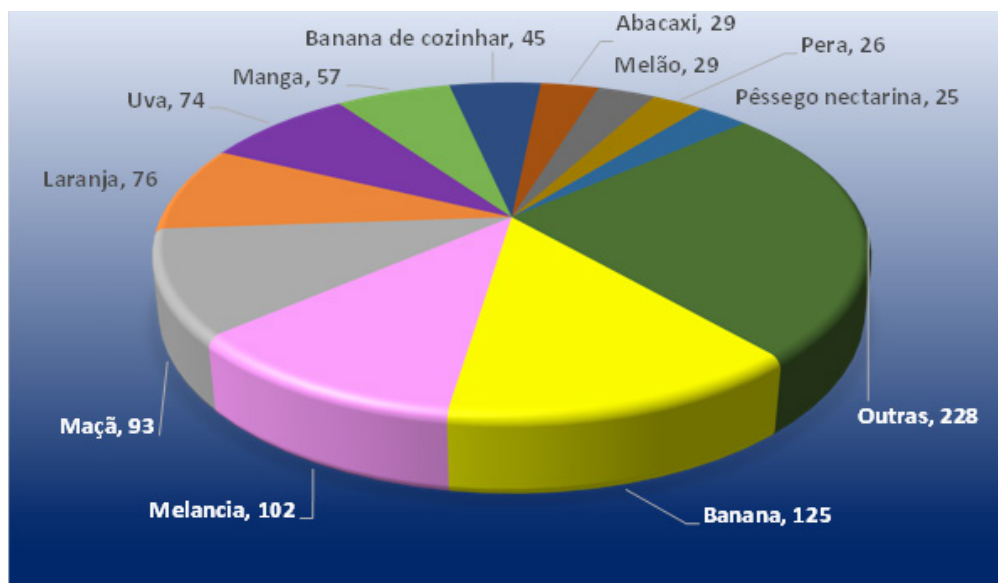


Figura 2. Produção mundial de frutas por espécie, em 2021. Os valores de produção são expressos em milhões toneladas/ano de frutas. Fonte: FAO 2021, acessado em março de 2023.

A capilaridade e importância regional da fruticultura é uma das suas qualidades e, ao mesmo tempo, vulnerabilidade às mudanças climáticas. Qualquer impacto que as mudanças climáticas venham causar nesse ramo da agricultura pode afetar profundamente economias regionais, gerar desemprego e abalar toda a economia nacional.

Para ilustrar os impactos das mudanças climáticas na fruticultura, serão apresentadas três frutíferas que auxiliam a prever o cenário dos efeitos dessas mudanças nesse setor da agricultura: bananeira, espécie tropical por excelência, pessegueiro e videira. Estas duas últimas frutíferas têm sua produção fortemente condicionada pelo clima, mas que com a intervenção humana ganharam plasticidade ambiental. A dimensão econômica e distribuição geográfica da produção mundial das três frutíferas que serão

discutidas ao longo deste texto são apresentadas na figura 3.

Principais problemas que as mudanças climáticas e/ou a necessidade de práticas mais sustentáveis estão causando na cultura/produção agrícola

A busca por práticas que venham ao encontro do desenvolvimento sustentável da fruticultura sempre foi o tema da programação de pesquisa do IAC para essas culturas. Muito antes da ONU estabelecer, em 2015, os Objetivos Mundiais para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), a geração de conhecimento em fruticultura no estado de São Paulo já objetivava a saúde e o bem-estar da população, na redução da fome e na agricultura sustentável. A produção de alimentos, cuja inclusão na dieta é fundamental para uma existência saudável, reforça

o papel da fruticultura na consecução dos ODS. Viabilizar a oferta de alimentos de alta qualidade nutricional de forma sustentável é a resposta que a fruticultura traz à sociedade. Nesse cenário, as mudanças climáticas são

mais um impulsor da pesquisa no sentido da sustentabilidade, norteador de novos caminhos a serem investigados e ratificando a importância da continuidade de áreas nas quais a pesquisa vem trabalhando.

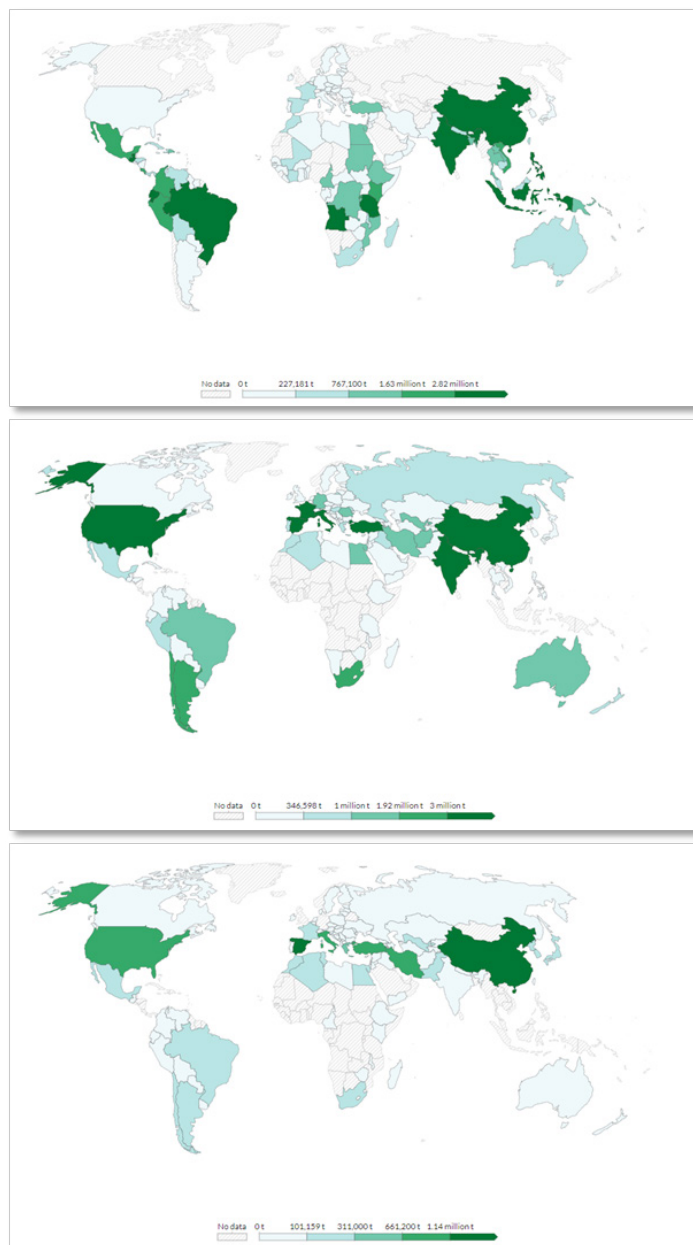


Figura 3. Distribuição geográfica da produção de banana, pêsego e uva, em 2021. Fonte: <https://ourworldindata.org/agricultural-production> com dados de <https://www.fao.org/faostat>, referentes ao ano de 2021.

As mudanças climáticas são atualmente uma das principais preocupações da agricultura em todo o mundo, incluindo a fruticultura. A produção de frutas é um importante setor agrícola pela sua participação na geração de riqueza, empregos e alimentos que depende fortemente das condições climáticas para o seu sucesso. Aumento na temperatura do ar, chuvas irregulares, secas prolongadas e ocorrência de fenômenos climáticos extremos, como tempestades, ventos fortes, granizo e geada, já são sentidos como efeitos das mudanças climáticas. Tais condições afetam a fruticultura impactando a produtividade, a qualidade e a segurança dos alimentos produzidos, bem como a rentabilidade da atividade. Além disso, as mudanças climáticas também afetam a ocorrência de pragas e doenças; alguns fungos, pulgões, nematoides e bactérias, podem ter sua incidência e severidade

aumentadas, o que eleva o custo de produção e o impacto ambiental.

As previsões dos efeitos das mudanças climáticas na fruticultura são, em geral, pessimistas (Figura 4). Essas variam de acordo com a região, espécie cultivada e características da produção, mas são bastante uniformes quanto ao aumento da incerteza associada ao processo produtivo e ao protagonismo dos envolvidos em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em direção à sustentabilidade. A fruticultura no estado de São Paulo tem sua sustentabilidade econômica ameaçada não só por fatores ambientais, mas também por condicionantes econômicos. O elevado valor da terra, preços dos insumos, custo e disponibilidade de mão de obra qualificada, competição de outros polos produtores, entre outros aspectos, têm gerado demandas do setor produtivo que devem ser atendidas pela pesquisa.



Figura 4. O que aumenta e o que diminui na fruticultura (setas vermelhas) ante as mudanças climáticas (seta cinza).

Bananeira

A banana é uma das frutas mais cultivadas e consumidas em todo o mundo e importante fonte de alimento e renda para muitas comunidades rurais e algumas economias nacionais. As mudanças climáticas podem afetar a produção de banana de várias maneiras: mudanças na temperatura, umidade, precipitação e eventos climáticos extremos são os pontos que mais têm preocupado os bananicultores.

Para a bananeira, planta tipicamente tropical cujo cultivo é limitado pelas baixas temperaturas, o aquecimento da atmosfera tende a expandir as áreas aptas para sua produção em direção à região subtropical. Entretanto, estudos revelam que o aquecimento global tem efeito final negativo no cultivo de banana na maioria das áreas de produção do mundo. Além do efeito direto sobre a fisiologia da planta, o aumento da temperatura favorece o ataque de doenças e pragas, como sigatoka, insetos e nematoides. Em algumas regiões tropicais, à medida que as temperaturas se tornam mais quentes, a produção de banana pode ser inviável ou menos lucrativa devido ao calor excessivo.

O aumento da temperatura gera os principais impactos das mudanças climáticas na produção de banana. As altas temperaturas podem afetar negativamente o desenvolvimento da planta, levando à redução na produção e na qualidade das frutas. O acúmulo de açúcar e de compostos secundários, fundamentais para a qualidade das frutas, pode ser afetado com a diminuição da amplitude térmica e o

aumento das temperaturas mínimas do ar, prejudicando a relação entre síntese e degradação desses compostos. Outros problemas que já estão sendo observados na produção de banana e que podem ser creditados às mudanças climáticas estão relacionados com a sanidade. Entre as pragas de solo, os nematoides têm se tornado limitantes à produção em decorrência do aumento da temperatura e diminuição da umidade do solo em algumas regiões produtoras. A sigatoka negra, causada por um fungo com potencial de destruir as folhas das bananeiras, tem sua severidade dependente da temperatura do ar. Com mais calor, a multiplicação do patógeno se dá em menor espaço de tempo. Na prática, observa-se que as diferenças de temperatura média do ar entre áreas produtoras de banana do estado de São Paulo e da Costa Rica, explicam em parte, pois na América Central é necessário fazer em torno de uma aplicação de fungicida por semana, enquanto no Brasil essa doença é controlada com menos de dez voos anuais para pulverização de fungicidas.

A bananeira exige precipitação mensal acima de 100 mm bem distribuída ao longo do ano para que o crescimento não seja afetado. Com a diminuição das chuvas e o atraso da sua chegada, no final do inverno, observados no estado, a produção de banana no Planalto Paulista estará comprometida. Menor disponibilidade hídrica implica em extensão do ciclo de produção, menor eficiência de uso da terra e fertilizantes, diminuição na quantidade e qualidade das colheitas e aumento do custo e pegada de

carbono da produção. Em relação à temperatura, valores em torno de 27 °C seriam ideais para o balanço entre acúmulo de carbono, crescimento das plantas e produção; com temperatura média em torno de 16 °C é paralisada a emissão de folhas e com 14 °C cessa o crescimento. Por outro lado, acima de 34 °C, a planta entra em estresse térmico. Na figura 5 têm-se as normais climatológicas de precipitação, médias das temperaturas máximas e mínimas mensais de duas regiões produtoras de banana no estado de São Paulo. No Vale do Ribeira, onde se concentra em torno de 85% da bananicultura paulista, nos meses de junho a setembro podem ocorrer problemas devido ao frio. Nessa época do ano é comum chegar ao mercado frutos com sintomas de *chilling* (escurecimento da polpa e estrias avermelhadas, casca acinzentada e maturação desuniforme) e danos por geada. Mas no Vale do Ribeira, as limitações hídricas são menos importantes, permitindo o cultivo sem irrigação. Já no Planalto Paulista, a falta de água nos seis meses em torno do inverno com precipitação inferior a 100 mm/mês e as ondas de calor no verão impactam a produção. Com as mudanças climáticas, a produção de banana no planalto sofrerá muito com as altas temperaturas e a diminuição das chuvas. No Vale do Ribeira, região que até poderia ser favorecida pelo aumento da temperatura média, as geadas deverão se tornar mais imprevisíveis como revelam estudos de variação do clima ao longo do tempo (1890 a 2020) no estado de São Paulo.

O pesadelo dos bananicultores da América Central tem como

personagem principal os furacões. Na nossa região, eventos climáticos extremos, como tempestades, ventos fortes, geadas tardias e ondas de calor, já vêm preocupando os produtores. No Vale do Ribeira, inundações, geadas e vento sempre causaram prejuízo aos produtores. O aumento na frequência desses eventos já tem impactado a sustentabilidade da produção e a oferta de frutas. Juntamente com o incremento no preço dos insumos, principalmente fertilizantes e fungicidas, os eventos extremos têm levado à diminuição do número de produtores. Para uma região que já apresenta indicadores econômicos desfavoráveis, menos produtores gerando renda implica em concentração da riqueza e diminuição na atividade econômica no setor de serviços, o que ocasiona perdas a toda a economia regional.

O Instituto Agrônomo tem gerado, ao longo dos últimos 50 anos, soluções tecnológicas para a bananicultura do estado de São Paulo que constituem boa parte da base tecnológica de toda bananicultura moderna no país. Técnicas de manejo com ampla adoção, como controle de brotação, renovação dos bananais, adubação e calagem, estabelecidas no século passado, fundamentaram a bananicultura atual.

Desenvolver soluções de manejo para a bananicultura do Planalto Paulista é uma experiência útil para desenharmos estratégias de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. A limitação hídrica vivida hoje pelos bananicultores do planalto (Figura 5) pode se tornar realidade para a principal região produtora de banana do

estado. Assim, soluções envolvendo fertirrigação voltadas para essa região têm potencial para se tornarem recomendações no futuro para o Vale do Ribeira. Ampla experimentação de campo com aplicação de fertilizantes via água de irrigação possibilitou aumentar a eficiência de uso de fertilizantes nitrogenados e potássicos em 35%. Assim, tornou-se possível

produzir a mesma quantidade de frutos aplicando, via fertirrigação, 85% da dose de fertilizantes recomendada para a adubação convencional via solo. Em outra frente, a resposta das bananeiras à irrigação foi significativamente aumentada com o ajuste das doses de nitrogênio e de potássio, evidenciando que a eficiência de uso da água pode ser melhorada por meio da adubação correta.

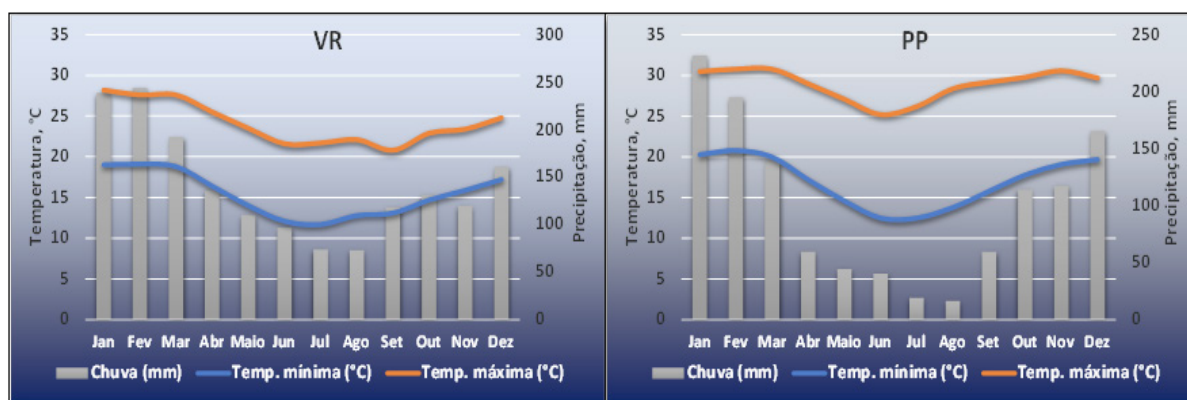


Figura 5. Precipitação média mensal, temperatura máxima e mínima em duas regiões produtoras de banana em São Paulo, Brasil: Vale do Ribeira (VR) e Penápolis representando o Planalto Paulista (PP). Gráficos elaborados com dados do site <https://pt.climate-data.org/>.

Atualmente, a sustentabilidade social, ambiental e econômica da bananicultura, o manejo focado na saúde do solo, a redução do impacto ambiental e a otimização do uso de insumos são demandas constantes do setor produtivo. O programa de pesquisa em solos oferece soluções que começam com métodos de análise química adaptados às condições tropicais do solo e se estendem até as mais recentes recomendações de adubação e calagem para a cultura, publicadas na última edição do Boletim 100 do IAC.

O estabelecimento de práticas de manejo voltadas à melhoria da saúde do solo tem guiado a pesquisa em bananicultura mais recentemente, pois se sabe que algumas doenças têm sua severidade modulada por fatores químicos, físicos e biológicos do solo. Atualmente, a bananicultura mundial está ameaçada por uma nova raça do fungo causador da fusariose da bananeira ou mal-do-Panamá. A nova Raça 4 tropical do *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (R4T) é devastadora para todas as cultivares de interesse comercial. Nas regiões onde chega,

a R4T praticamente inviabiliza a produção de banana. O IAC, EMBRAPA, Alliance Bioversity International e CIAT da Colômbia formaram um grupo de pesquisa em bananicultura para estudar os fatores de solo que favorecem a resistência das plantas à fusariose. Com base em levantamentos em áreas de produção (Figura 7), experimentos de campo e em casa de vegetação, determinou-se que a resistência das plantas pode ser reforçada por meio de práticas de manejo que regulem a acidez do solo, incrementem a matéria orgânica e melhorem os aspectos físicos do solo. Esse conjunto de práticas, que estão sendo estudadas, tem demonstrado potencial para serem incluídas no controle integrado da fusariose. Interessante é que essas orientações que estão surgindo com essa linha de pesquisa vêm ao encontro da necessidade da mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, bem como possibilitam diminuir a pegada de carbono e hídrica da cultura.

Pessegueiro

O pessegueiro é conhecido como frutífera que requer período de repouso hibernar para estimular a brotação de gemas e florescer com regularidade e vigor. As cultivares desenvolvidas nas regiões produtoras tradicionais têm exigência de frio acumulado de aproximadamente 850 horas com temperaturas abaixo de 7,2 °C. Essa é a principal razão pela qual os materiais trazidos de regiões temperadas, selecionados para as condições de inverno que lhes são peculiares, não encontram plena adaptação ao clima ameno do estado de São Paulo.

Estudos realizados no IAC mostraram que a maior parte da produção paulista de pêssegos provém das regiões onde o inverno se apresenta com valores térmicos médios entre 60 e 120 horas de frio. Considerando as projeções de aquecimento global, muitas dessas regiões poderão se tornar limítrofes, ou até mesmo inaptas, à produção de pêssegos de qualidade. Felizmente, a variabilidade genética permite a seleção de materiais adaptados às regiões de inverno ameno, como a região do Circuito das Frutas no estado de São Paulo. Jarinu, uma das cidades participantes desse circuito é o principal polo produtor de pêssegos no estado e a condição climática da região permite a colheita de pêssegos precoces de alta qualidade.

As alterações constatadas no regime de chuvas também impactam a produção de pêssegos em São Paulo. As árvores necessitam de água para prover seus frutos, principalmente, na fase de crescimento celular. No pessegueiro, esta fase de desenvolvimento do fruto ocorre entre os meses de setembro e outubro, podendo ocorrer pequenas oscilações conforme a cultivar (Figura 6). Essa época do ano coincide com o período em que as chuvas deveriam iniciar em São Paulo. Dessa forma, os produtores fazem uso de irrigação para suprir a necessidade de água principalmente no início da frutificação. Porém, com a ampliação do período seco no estado, o uso da irrigação tem se intensificado nos últimos anos e, conforme as projeções do regime de chuvas, esse fato tende a agravar-se.

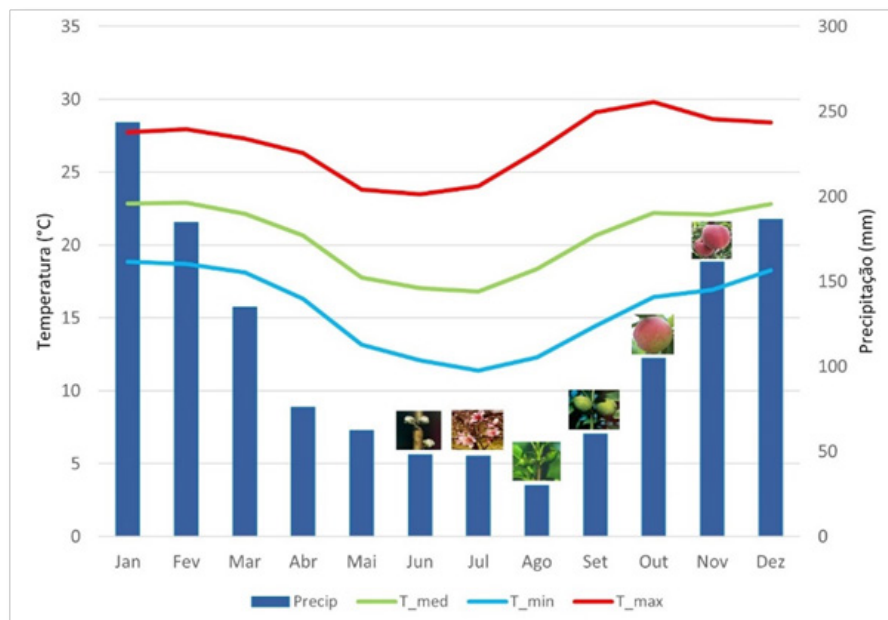


Figura 6. Médias de temperaturas máximas, médias e mínimas e precipitação em Jarinu (SP). As imagens representam estágios fenológicos do pessegueiro ‘BRS Kampai’ nos respectivos meses de ocorrência: junho - diferenciação das gemas florais; julho - florescimento pleno; agosto - pegamento de frutos; setembro - crescimento dos frutos (divisão celular); outubro - maturação; novembro - colheita. Imagens retiradas de Layne D. R.; Bassi, D. The peach: botany, production and uses. CABI: Oxfordshire. 2008. 615 p.

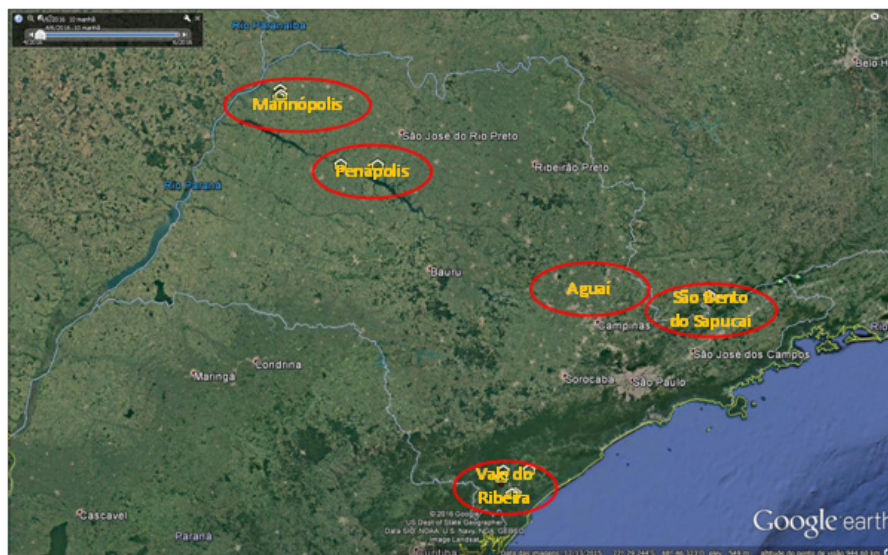


Figura 7. Regiões do estado onde foram realizados levantamentos de campo em bananais visando relacionar atributos químicos, físicos e biológicos de solo, ocorrência de pragas (nematoides e brocas), doenças foliares e sistema de produção com a incidência e severidade da fusariose da bananeira. Projeto Saúde do solo e saúde das plantas, 2020. Apoio: FAPESP, APTA Regional, CATI, EMBRAPA e Alliance Bioversity International e CIAT.

Os produtores de pêssgo ao redor do mundo têm mudado seus sistemas de cultivo para aumentar a produtividade e a qualidade dos pomares, ao mesmo tempo que buscam a redução de insumos e de mão de obra. O uso de pomares de alta densidade é adotado como uma opção para atingir esses objetivos e induzir as plantas à produção precoce. Pomares de alta densidade requerem modificações na arquitetura da planta, o que só pode ser alcançado por meio de podas repetitivas ao longo dos anos. A arquitetura da planta afeta a interceptação e utilização da radiação solar, impactando na produção e, principalmente, na qualidade dos

frutos. Melhorar a interceptação de luz também pode reduzir a incidência de doenças, pois a radiação solar está diretamente relacionada à capacidade fotossintética e muitas outras atividades fisiológicas.

O IAC, ciente dessas necessidades, incluiu em sua programação de pesquisa estudos climáticos e fitotécnicos em pomares de pessegueiro instalados em sistema de condução Y e paredão frutal (Figura 8). Os resultados mostraram vantagens na adoção do paredão frutal, proposto no estudo. Esse sistema, além de aumentar a massa dos frutos, manteve a qualidade destes e facilitou o manejo do pomar na prática da poda, raleio e pulverizações.



Figura 8. Arquitetura de plantas de pessegueiro nos sistemas de condução em Y e em Paredão Frutal.

A escolha do porta-enxerto em culturas perenes é de grande importância, pois este será o responsável, dentre outros fatores, por fornecer resistência às pragas e doenças de solo e absorver os nutrientes necessários para a planta. O Instituto Agrônômico e a EMBRAPA realizaram, em parceria, avaliação da adaptabilidade de 20 porta-enxertos resistentes a nematoides e verificaram diferenças significativas no desenvolvimento vegetativo e na absorção de nutrientes pelas plantas. Estes resultados demonstram que há materiais melhor adaptados à região e que otimizam a utilização dos nutrientes presentes no solo.

Com o aumento da temperatura do ar decorrente das mudanças climáticas, o foco dos melhoristas de pessegueiro na busca por genótipos menos exigentes em horas de frio, volta a ter destaque na programação de pesquisa da Instituição.

Videira

O cultivo da videira sempre esteve condicionado à disponibilidade de condições climáticas favoráveis. Os efeitos do clima vão desde a sanidade do vinhedo, passando pela fenologia, desenvolvimento e crescimento das plantas até a qualidade das frutas para mesa e vinho. O avanço da produção de uva para a região Nordeste com clima tropical exigiu adaptações, demanda que está sendo atendida pela pesquisa agrícola e iniciativas de inovação no processo produtivo.

O clima ideal para produzir uvas é quente e seco, com inverno longo o suficiente para garantir um período de dormência para as plantas e sem geadas tardias. No estado de São Paulo, registros climáticos (1890 a 2020) revelam incremento na temperatura média ao longo do período, sendo o aumento mais significativo para as temperaturas mínimas. A diminuição da amplitude térmica afeta a relação fotossíntese-respiração, o que pode impactar a qualidade das frutas. Maiores temperaturas noturnas implicam em aumento da respiração, o que afeta o acúmulo de açúcares e preservação de compostos secundários. Contrário ao senso comum, o aumento das temperaturas mínimas não nos livra de imediato das geadas, mas aumenta a variabilidade na sua frequência de ocorrência, trazendo ainda mais incerteza à atividade.

O aumento da temperatura desencadeia várias alterações químicas nas uvas, que atingem diretamente a qualidade da produção. Com calor, a uva amadurece mais rapidamente e acumula mais açúcar, o que aumenta o conteúdo de álcool dos vinhos. Em alguns vinhos, o álcool mais elevado cria sensação de sabor mais ardente e mascara aromas sutis, além de ir de encontro às tendências de mercado que apontam para vinhos menos alcóolicos. A acidez, que influi no sabor e no frescor dos vinhos, diminui com o calor. Mas o maior impacto na produção de uvas, tanto para mesa como para vinho, é a diminuição de compostos secundários em resposta à temperatura. A qualidade da uva depende do acúmulo desses metabólitos nas

frutas; entre eles, os flavonoides, mais prevalentes e que modulam diversas características de qualidade do vinho, como cor, sensação bucal e potencial de envelhecimento. As antocianinas são responsáveis pela cor das uvas e do vinho, e sua concentração pode ser afetada por fatores ambientais externos, tais como radiação solar e calor. A superexposição a essas condições pode levar à decomposição das antocianinas.

O estímulo ao crescimento vegetativo das plantas em resposta ao aumento da temperatura e da disponibilidade de CO₂ na atmosfera pode afetar o delicado equilíbrio entre biomassa acumulada e produção de frutas de qualidade. O excesso de vegetação é um problema enfrentado por produtores localizados em regiões mais quentes, o que tem sido contornado com porta-enxertos menos vigorosos. Com as mudanças nos padrões de temperatura e precipitação, certamente serão demandados novos genótipos de copa e de porta-enxerto, bem como alterações de manejo. No manejo, a irrigação, a orientação das linhas visando diminuir a radiação recebida e minimizar a degradação de compostos secundários, o monitoramento e controle fitossanitário, a diminuição da área foliar terão que ser ajustadas às novas condições climáticas.

O melhoramento genético visando à adaptação e ao desenvolvimento de variedades de uvas às temperaturas mais altas, ao déficit hídrico e resistentes às principais doenças fúngicas é fundamental para possibilitar a adaptação da cultura às mudanças

climáticas. A equação que melhoristas e viticultores devem resolver envolve a adaptação às alterações climáticas, a redução de pesticidas e a manutenção da tipicidade do vinho e das frutas para mesa. Embora o manejo do vinhedo possa mitigar os efeitos de curto e médio prazo das mudanças climáticas, o melhoramento genético é necessário para fornecer soluções sustentáveis de longo prazo para esses problemas. A maioria dos vinhedos em todo o mundo são plantados com vinhas que abrigam dois genomas de plantas enxertadas. Embora isso torne mais complexa a gama de interações (copa vs. atmosfera, porta-enxerto vs. solo, copa vs. porta-enxerto), também abre possibilidades para o melhoramento genético de um ou de ambos os genótipos enxertados. A composição da uva, determinante fundamental da qualidade, tipicidade e valor de mercado da fruta e do vinho, depende em grande medida do terroir (ambiente natural pleno), da vindima (variabilidade climática anual) e das suas interações. Além disso, existe forte demanda para a redução do uso de defensivos. Assim, a adaptação da viticultura às alterações climáticas passa pela exploração de novas áreas geográficas, novos sistemas de condução, novas práticas de manejo e no desenvolvimento de novas variedades, seja de porta-enxertos ou de copa.

Os aspectos positivos relacionados ao melhoramento da videira são: (a) ampla diversidade genética de porta-enxertos e copas ainda pouco exploradas; (b) progresso em tecnologias que permitem sequenciamento de alto rendimento de

genomas inteiros, mapeamento mais rápido de características específicas e determinação mais fácil de relações genéticas; (c) progresso em novas tecnologias de melhoramento que potencialmente permitem modificações precisas em genes residentes; (d) automação da fenotipagem que permite o monitoramento mais rápido e completo de muitas características em populações de plantas relativamente grandes; (e) caracterização funcional de um número crescente de genes envolvidos no controle do desenvolvimento, metabolismo da baga, resistência a doenças e adaptação ao ambiente.

A programação de pesquisa para a videira, além do melhoramento, envolve aspectos de nutrição e manejo do vinhedo. Atualmente, a irrigação ainda não é adotada em muitos cultivos no estado. Otimizar o uso da água e superar a provável diminuição das chuvas na nossa região, devem ser incorporados como diretrizes da pesquisa paulista a curto prazo. Para aumento da eficiência de uso da terra, água e de insumos, pesquisas relacionadas à nutrição e adubação da cultura também devem ser incrementadas pelas mudanças climáticas. Estratégias de melhoramento com os objetivos descritos anteriormente, ações de PD&I visando aumentar a eficiência de uso de recursos naturais, são ao mesmo tempo mitigatórias dos efeitos das mudanças climáticas e redutoras da pegada de carbono da atividade.

Considerações finais

Visando dar respostas para mitigar os efeitos danosos da imposição das alterações climáticas, pesquisadores de diversas áreas do conhecimento buscam unir esforços. Os projetos de melhoramento genético procuram desenvolver cultivares qualitativamente superiores e que sejam menos exigentes em horas de frio, a exemplo de pessegueiros. Novas espécies estão sendo estudadas para conhecimento de seu comportamento agrônomo e manejos culturais que permitam sua exploração e fomento da diversificação da produção na propriedade rural. Entre as alternativas de cultivo que estão sendo desenvolvidas na programação de pesquisa em fruticultura do IAC, têm-se amora, framboesa e macadâmia. Mas todas essas espécies com grande potencial para diversificar a produção de frutas no estado e agregar renda aos agricultores serão impactadas pelas mudanças climáticas. Fitotecnistas têm se dedicado ao estudo de combinações de porta-enxertos e variedades copa, manejo da poda e ao desenvolvimento de estruturas de sustentação ou condução dos pomares visando à sustentabilidade da produção. Linhas de pesquisa que focam em otimizar o uso da terra, água e insumos, minimizar o impacto ambiental da produção, mitigar as consequências das mudanças climáticas, bem como reduzir a pegada hídrica e de carbono já vinham sendo trabalhadas na Instituição. Mas com o despertar da sociedade para a ameaça que o ambiente nos apresenta, não há como todos os atores envolvidos em PD&I não se voltarem para essa realidade.



GRÃOS E FIBRAS

Amendoim, Feijão, Milho e Sorgo:
Culturas de Múltiplas Finalidades
para Enfrentamento das
Mudanças Climáticas

Alisson Fernando Chiorato*, Luiza Maria Capanema Bezerra, Sergio Augusto Moraes Carbonell, Rogério Soares de Freitas, Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani, Eduardo Sawazaki, Aildson Pereira Duarte, Cristina Fachini, Paulo Boller Gallo, Vera Lucia Nishijima Paes de Barros, Fernando Takayuki Nakayama, Ignácio José de Godoy, Marcos Doniseti Michelotto, Andrea Rocha Almeida de Moraes, Denizart Bolonhezi, João Francisco dos Santos, Marcelo Ticelli, Erivaldo Scaloppi Júnior

*alisson.chiorato@sp.gov.br

O Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Grãos e Fibras (CPDG&F/IAC) tem como atribuição realizar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico e fomentar a inovação nas cadeias produtivas das espécies graníferas, do algodão e de outras plantas fibrosas e de adubos verdes. Em sua estrutura organizacional de pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologias conta com programas de melhoramento genético de amendoim, feijão, milho e sorgo, fitotecnia básica, multiplicação de germoplasma, produção e comercialização de sementes genéticas. Os resultados da pesquisa, desenvolvimento e inovação desse Centro têm sido pautados por demandas do setor produtivo e buscam contribuir com a agricultura sustentável nas vertentes ambiental, econômica e social, bem como no desenvolvimento e transferência de tecnologias que favoreçam a segurança alimentar. Nesse sentido, são apresentados a seguir resultados de pesquisa e as perspectivas futuras relacionados às culturas de amendoim, feijão, milho e sorgo.

Programa de melhoramento genético do amendoim

O amendoim, *Arachis hypogaea* L., é uma leguminosa (Fabaceae) nativa da América do Sul e que possui grande importância para a indústria alimentícia pelas diferentes possibilidades de consumo (in natura ou adicionado a outros produtos), bem como pela utilização na alimentação animal. Ainda, o óleo pode ser utilizado para preparação de alimentos ou como componente do biodiesel.

China, Índia, Nigéria e Estados Unidos se destacam como os principais produtores mundiais de amendoim. O Brasil é o 11º produtor mundial de amendoim com produção de 746,7 mil toneladas na safra 2021/22, sendo que 90% dessa produção está concentrada no estado de São Paulo, principal estado produtor. Entretanto, entre os países exportadores, o país é o 6º maior fornecedor de amendoim para o mercado global (CONAB, 2023; USDA, 2023).

O consumo in natura e a confeitaria são os principais destinos do amendoim mundial, mas também se produz óleo comestível, torta, farelo, briquetes e outros produtos usados na alimentação animal. No Brasil, o mercado interno é o grande consumidor, mas a exportação tem crescido significativamente e representa cerca de 50% da produção. Isso se deve ao aumento sistemático da qualidade dos grãos, em função de melhores práticas e investimentos na etapa de armazenamento e na produção em campo, garantindo maior segurança à saúde humana e desempenho ambiental.

Embora o amendoim seja cultivado na mesma área em diversas regiões brasileiras, e principalmente no estado de São Paulo, o seu cultivo se dá principalmente na reforma de canaviais (Figura 1) ou pastagens e na ausência de irrigação. Por se tratar de uma leguminosa, o cultivo de amendoim traz grandes vantagens como a fixação de nitrogênio no solo. Isso evidencia a sua importância na Alta Mogiana e Alta Paulista, principais regiões produtoras no estado de São Paulo.

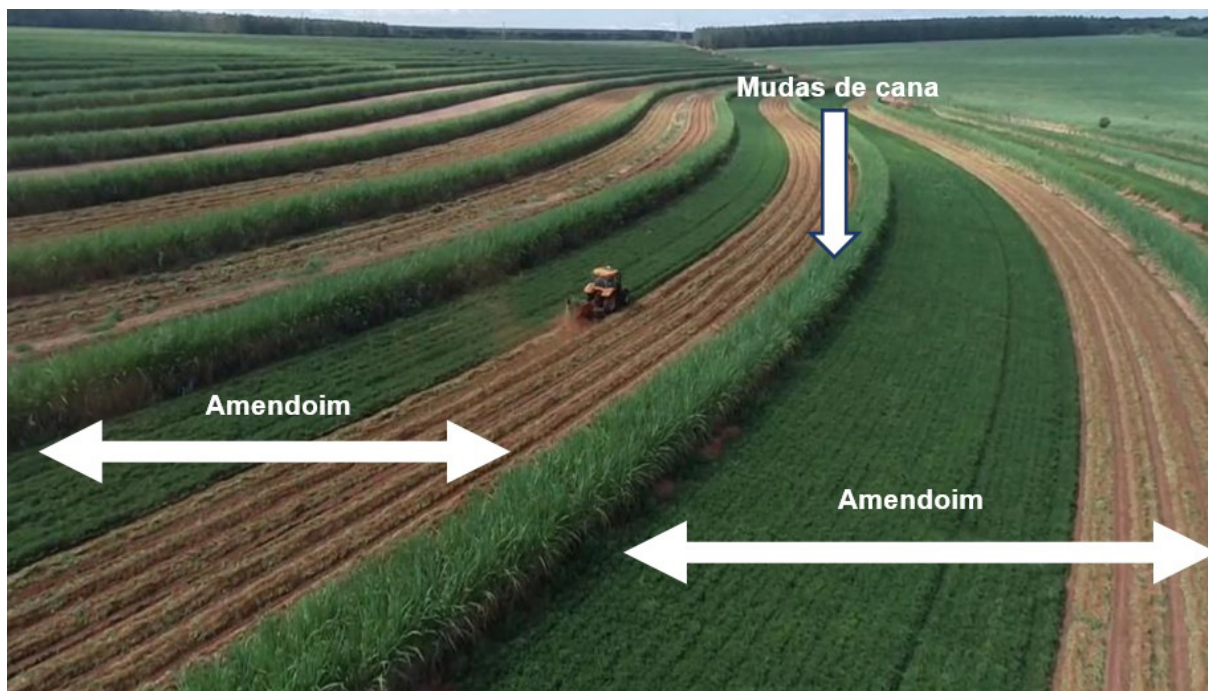


Figura 1. Amendoim sendo colhido em área de reforma de canavial em sistema de MEIOSI. Foto: Manduca, E.

As mudanças climáticas observadas, principalmente, nas últimas safras de amendoim, evidenciaram a necessidade do IAC em aumentar os trabalhos na adaptação de cultivares ao estresse hídrico, à alta temperatura e das constantes concentrações nos volumes de chuva que causam erosões, perdas de solo, com reflexos negativos na produtividade e no ambiente.

Perdas significativas de produtividade relacionadas ao estresse hídrico foram observadas nas principais regiões produtoras de amendoim (Alta Mogiana e Alta Paulista) e em áreas de expansão dentro do estado e em estados como Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Tais perdas poderiam ser ainda maiores não fosse a utilização de cultivares com maior tolerância

ao estresse hídrico, como a IAC 503, atualmente a principal cultivar plantada no Brasil, e as cultivares IAC 505 e IAC OL5 que estão em expansão das áreas de cultivo (Godoy *et al.*, 2018).

Outro aspecto importante relacionado à cultura é a alta incidência de doenças fúngicas foliares, como mancha-preta, *Nothopassalora personata* (Berk. & M. A. Curtis) S. A. Khan & M. Kamal (syn. *Cercosporidium personatum* [Berk. & M.A. Curtis] Deighton) e mancha-castanha, *Passalora arachidicola* (syn. *Cercospora arachidicola* [Hori]) que necessitam de alto número de aplicações de fungicidas ao longo do ciclo da cultura para seu controle e que elevam significativamente os custos de produção.

Como impacto direto do estresse hídrico e elevadas temperaturas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do amendoim têm-se observado reduções significativas na produtividade e aumento nos custos de produção.

O amendoim apresenta alta vulnerabilidade à erosão hídrica em consequência da adoção do preparo intensivo do solo, justificado pelas características morfofisiológicas da cultura (produção em subsuperfície), associado ao crescimento inicial lento e ao maior espaçamento entrelinhas comparado a outras oleaginosas. Portanto, a adoção de manejo conservacionista do solo torna-se uma necessidade premente para aumentar os indicadores de sustentabilidade e redução dos custos de produção (Bolonhezi *et al.*, 2021).

Já as doenças fúngicas foliares possuem impacto direto tanto no aumento dos custos de produção quanto no aspecto ambiental, sendo necessário ações para redução no uso de fungicidas sem perda de produtividade e qualidade do produto.

Embora algumas cultivares como as IAC 503, IAC 505 e IAC OL5 possuam alguma resistência quando comparado a outras cultivares, o número de aplicações de fungicidas para controle de doenças foliares ainda é alto, o que aumenta o custo de produção (Godoy *et al.*, 2022).

Dentre as ações prioritárias do programa de melhoramento de amendoim estão o desenvolvimento de cultivares com maior tolerância ao estresse hídrico. As cultivares IAC 503, IAC 505 e IAC OL5 são resultados desse trabalho.

Pesquisas envolvendo o plantio do amendoim na palha (Figura 2) também fazem parte das ações do IAC para redução dos impactos relacionados ao estresse hídrico ou excessos de precipitações que causam erosões e perdas de solo. Difundir a adoção de manejos conservacionistas (preparo reduzido em faixa ou semeadura direta) associada às práticas mecânicas é o caminho para evitar eventos drásticos de erosão hídrica e assegurar a sustentabilidade do produtor paulista de amendoim (Bolonhezi *et al.*, 2021).



Figura 2. Amendoim em semeadura direta sobre palhada de cana-de-açúcar. Foto: Bolonhezi, D.

Além disso, o programa de melhoramento do IAC tem como principal objetivo o atendimento das demandas atuais dos produtores: porte rasteiro, alta produtividade, ciclo alternativamente meio-longo a longo (125 a 150 dias), grãos tipo exportação e a característica "Alto Oleico". No entanto, recentemente, tem havido um foco significativo em pesquisas sobre a resistência a doenças fúngicas nas folhas, com o objetivo de reduzir a dependência de fungicidas. Isso se traduz em diminuição dos custos de produção e em um menor impacto ambiental (Godoy *et al.*, 2019, 2022).

O acesso dos programas de melhoramento a genes oriundos de espécies silvestres de *Arachis* inaugura nova era na obtenção de cultivares

com significativo impacto no setor produtivo. Essas espécies podem servir como fonte de resistência a diversos fatores abióticos e bióticos, como por exemplo, na resistência a mancha-preta (Michelotto *et al.*, 2016, 2017).

Como resultado deste trabalho, recentemente foi lançada a cultivar IAC Sempre Verde, que possui alta resistência às principais doenças fúngicas foliares. Essa cultivar tem as características de grãos de pele vermelha, relativamente pequenos e havia a necessidade de se aprimorar as características agrônômicas a partir desse tipo de cultivar. Novos cruzamentos têm sido realizados para se obter plantas altamente resistentes e com o padrão agrônomo mais próximo do que o mercado exige atualmente (Godoy *et al.*, 2021), conforme figura 3.



Figura 3. Folhas de amendoim com sintomas de doenças e as resistências observadas. Foto: Godoy, I. J.

De qualquer forma, a cultivar IAC Sempre Verde pode ser oferecida para amendoins visando a produção de produtos orgânicos. Por ter alta resistência e não necessitar de fungicidas, o manejo de pragas na parte aérea pode ser realizado com inseticidas biológicos, tornando possível a produção de amendoim produtivo e orgânico nos dias de hoje. A produtividade dessa cultivar pode chegar a 5 mil quilos por hectare, com baixo custo de produção.

Programa de melhoramento genético do feijão

De acordo com a classificação botânica atual, o gênero *Phaseolus* corresponde à família Fabaceae, conhecida como a família das plantas leguminosas. As principais espécies cultivadas em todo o mundo são *Phaseolus vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray var. *Latifolius* Freeman e *P. polyanthus greenman* (Singh, 2001).

O feijoeiro é uma planta que tem seu cultivo destinado à produção de grãos de feijão para consumo humano, seco ou vegetal fresco. O cultivo e consumo dessa leguminosa está presente em diversos países no mundo. No ano de 2019, dados disponibilizados pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) mostraram que 91 países produziram ao menos uma tonelada/ano e 151 países consumiram feijão. Ainda, de acordo com os dados da FAO para o mesmo ano, o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial, com 2,9 milhões de toneladas, atrás apenas de Índia e Myanmar, com 5,3 milhões e 3 milhões de toneladas, respectivamente. Entretanto, em termos de consumo anual, o Brasil estava em oitavo lugar, com 12,7 quilos per capita. Os três maiores consumidores per capita foram Ruanda, com 34,8 quilos, Burundi, com 25 quilos, e El Salvador, com 16,9 quilos (FAO, 2019).

O feijão é um alimento básico no prato da população brasileira, sendo amplamente consumido por diversas classes sociais, especialmente nas de menor poder aquisitivo (Coelho; Valcacer-Coelho, 2021). Esse consumo é observado por todo país, com variações de acordo com a região. Os dados da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) de 2008-2009 mostram que o Nordeste, por exemplo, é a região que mais consome feijão por habitante, mais de 12 quilos per capita ao ano, enquanto a região Sul consome 6,1 quilos per capita ao ano (Wander; Chaves, 2011).

Em relação ao cultivo de feijão, dados da safra de 2019/20 disponibilizados pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2021) apontam a região Nordeste com a maior área de plantio, com mais de 1,5 milhão de hectares, enquanto as regiões Sul e Sudeste apresentam menos de 500 mil hectares nesse período. Em termos de produção, o estado do Paraná se destacou, com 580 mil toneladas nesse período, seguido por Minas Gerais e Bahia, com 563 mil e 387 mil toneladas, respectivamente. A região Nordeste apresenta uma produtividade inferior às regiões Sul e Sudeste, com menos de 0,6 toneladas por hectare, enquanto o Sudeste se destaca com uma produtividade de 1,7 toneladas e o Sul com 1,5 t ha⁻¹. No estado de São Paulo, nessa safra, foram plantados 82 mil hectares e produzidas 182 mil toneladas.

Os efeitos das mudanças climáticas sobre os diferentes ecossistemas globais são de amplo conhecimento,

assim como as medidas para retardar ou evitar os mesmos. Notadamente, esses impactos são observados com grande preocupação quando se trata do ecossistema agroalimentar, dado que a produção de alimentos é elemento-chave para responder aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS (ONU): 1) erradicar a pobreza extrema; 2) combater a desigualdade e a injustiça; 3) conter as mudanças climáticas.

Assim, as mudanças climáticas apresentam demandas para os programas de melhoramento genético de feijão no Brasil, notadamente à adaptação a diferentes ambientes de cultivo que apresentam estresse hídrico e altas temperaturas, como também ao impacto de eventos climáticos extremos (secas, invernos mais rigorosos e precipitação pluviométrica acima da média) em épocas de cultivo subsequentes.

Frente aos desafios colocados pelas mudanças climáticas, observa-se que os sistemas de produção agrícola de feijão têm demandado cultivares adaptadas e com características como: tolerância ao estresse hídrico; tolerância às altas temperaturas; resistência às doenças; ciclo de emergência semiprecoce e precoce; rusticidade; sistema radicular vigoroso e alto potencial produtivo.

É importante destacar que as demandas trazidas pelas mudanças climáticas já eram alvo da pesquisa com feijoeiro. Contudo, observa-se em anos mais recentes que respostas à tolerância ao déficit hídrico e alta temperatura, têm se colocado em um cenário de maior urgência de respostas.

Outro desafio também trazido pelas mudanças climáticas é a geração de materiais genéticos superiores que se mostrem resistentes às doenças que acometem o cultivo do feijoeiro.

A programação de pesquisas do programa de melhoramento genético do feijão (Programa Feijão), assim como de outros programas do Centro, tem sido pautada na geração de cultivares alinhadas ao desenvolvimento sustentável do sistema agroalimentar do feijão em suas diferentes dimensões (social, econômica e ambiental). O uso de cultivares de feijão IAC associado ao manejo adequado, contribuirão para a sustentabilidade agroalimentar frente aos desafios das mudanças climáticas a partir das seguintes características agronômicas:

- **Raiz vigorosa:** permite a absorção de nutrientes, maior tolerância a patógenos de solo e ao déficit hídrico; maior produtividade; menor incidência de doenças de solo.
- **Resistência a doenças:** permite a adaptação a diferentes ambientes de cultivo; menor incidência de doenças; maior produtividade.
- **Precocidade:** permite a realização de mais cultivos quando trabalhado em conjunto com outras espécies precoces com o milho e a soja, redução de até 30% na utilização da água de irrigação, produzindo a mesma quantidade de alimento quando comparada a cultivares de ciclo normal.
- **Tolerância à alta temperatura:** permite a adaptação à ambiente com ocorrência de temperaturas acima da

faixa ideal da cultura, apresentando menor abortamento de flores e de vagens, e menor transpiração das folhas.

- **Tolerância ao déficit hídrico:** permite a adaptação a diferentes ambientes de cultivo, rotação de cultivos, menor uso de recursos hídricos, maior manutenção da turgescência foliar, aumento da oferta de produção em anos, épocas e áreas que se apresentam com baixa precipitação pluviométrica.

- **Alto potencial produtivo:** favorece a maior produtividade e o aumento da oferta de produção.

As cultivares de feijoeiro IAC (Figura 4) que possuem características agronômicas que melhoram a sustentabilidade ambiental e que estão atualmente no sistema agroalimentar de feijão no Brasil são:

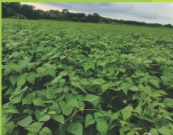
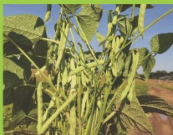
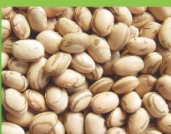
- IAC 2358 Unamax: cultivar lançada em 2023, com tegumento comercial tipo preto, apresentando raiz vigorosa, resistência à antracnose, alta produtividade de grãos e excelente qualidade de caldo.
- IAC Veloz: tipo comercial preto, ciclo precoce, porte ereto para a colheita mecânica, raiz vigorosa e excelente qualidade de caldo.
- IAC 1849 Polaco: tipo comercial carioca, tolerância à alta temperatura e ao déficit hídrico, ciclo precoce, porte ereto para a colheita mecânica, raiz vigorosa, resistência à antracnose e ao escurecimento do grão, permitindo o armazenamento dos grãos por um período de até seis meses.

- IAC 1850: tipo comercial carioca, porte ereto para a colheita mecânica, raiz vigorosa, resistência à antracnose, alta produtividade e rusticidade de cultivo.

- IAC 2051: tipo comercial carioca, tolerância à alta temperatura e ao déficit hídrico, grão com excelente qualidade culinária, ciclo semiprecoce, alta massa de grãos e alta produtividade e tolerância ao escurecimento do grão por até um ano.



PROGRAMA FEIJÃO

IAC 2358 Unamax			
IAC Veloz			
IAC 1849 Polaco			
IAC 1850			
IAC 2051			

SISTEMA DE PRODUÇÃO DE SEMENTES

Fones: (19) 3202-1658 / (19) 99710-5936
sementes@iac.sp.gov.br / www.iac.sp.gov.br




Secretaria de
Agricultura e Abastecimento



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO

Figura 4. Cultivares IAC de feijão.

O Programa Feijão mantém um sistema dinâmico de seleção de linhagens avançadas de feijoeiro visando à recomendação de novas cultivares ao setor produtivo. Dentre as linhas de pesquisa que estão sendo amplamente estudadas são a precocidade e a identificação de plantas com raízes mais vigorosas. Plantas com raízes mais vigorosas permitem não somente a identificação de plantas tolerantes ao déficit hídrico, como também plantas tolerantes a altas temperaturas, desenvolvendo assim, genótipos mais rústicos e mais adaptados às adversidades climáticas que ocorrem nas diferentes regiões produtoras de feijão no Brasil.

Com o intuito de ampliar a base genética dos genótipos utilizados no programa de melhoramento de feijoeiro, o Programa Feijão, no final de 2022, importou do CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) 108 genótipos selecionados para características de precocidade, robustez de raiz e coloração de grão, visando tipos especiais diferentes do tipo preto e carioca, resistência às doenças, porte de planta, tamanho de grão, etc. Espera-se com essa introdução ampliar a base genética no desenvolvimento de cultivares mais produtivas, resistentes às doenças e que apresentem ciclo precoce.

A precocidade, atualmente, se tornou uma importante característica a ser incorporada nas cultivares modernas, permitindo cultivos em épocas em que a janela de semeadura está curta devido à implantação de vazios sanitários, ou então, por atrasos

na semeadura devido à ocorrência de intempéries climáticas. Cultivares de ciclo precoce, quando presentes em diferentes espécies utilizadas em práticas de rotação de culturas ou em sistemas produtivos, permitem realizar até três safras por ano, ou então pelo menos, cinco safras completas em relação a um período de dois anos. Considerando essa importância, o Programa Feijão avalia, anualmente, centenas de linhagens de ciclo precoce buscando sempre nesses genótipos maior produtividade, tolerância às principais doenças da cultura, raízes mais vigorosas e melhor qualidade tecnológica.

Programa de melhoramento genético do milho

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo, tendo maior representatividade na produção da cultura nos estados da região Centro-Oeste do país. O estado de São Paulo possui destaque, com 740 milhões de hectares (CONAB, 2023), porém, não é autossuficiente para o abastecimento local. A maior parte desse cereal é produzida na segunda safra, representando cerca de 77% dos 22 milhões de hectares. No estado de São Paulo, a área de milho vem reduzindo pois está sendo substituída pela soja, que deslocou a produção de milho para a safrinha, depois da colheita da leguminosa. Dificuldades técnicas têm desestimulado o cultivo do milho no estado e estas podem estar relacionadas, em parte, às mudanças climáticas.

A área de milho cultivado em 2ª safra, ou seja, o milho cultivado em condição de sequeiro, atinge cerca de 75% da produção nacional. Além disso, a produção e a exportação de milho devem superar os valores esperados para 2022. Dados da CONAB estimam que a produção de milho atual seja de 112,9 milhões de toneladas, considerando os três ciclos anuais da cultura, 29,7% maior que a registrada na safra passada. Em São Paulo, a produção concentra-se na região sudoeste do estado. Destaque para os municípios de Itapeva, Itaberá, Capão Bonito, Itapetininga e Casa Branca.

Muito versátil, o milho possui diversos benefícios, é uma importante fonte energética e apresenta alto teor de fibras, sendo utilizado como alimento humano ou ração animal, devido às suas qualidades nutricionais e na fabricação de diversos produtos na indústria.

A seca é a causa mais severa da redução da produção agrícola global. Déficit hídrico, custos elevados de irrigação e escassez de água, somados à degradação da capacidade de retenção de água do solo devido à compactação, são fatores que aumentam a frequência de seca, destacando a necessidade de melhoramento genético para tolerância à seca e obtenção de cultivares que possam escapar do déficit hídrico durante os períodos críticos da cultura, com a seleção de germoplasma para caracteres adaptativos relacionados com a tolerância à seca.

No estado de São Paulo, o milho de segunda safra já supera em área e produção o milho de primeira safra, que

torna a cultura mais suscetível a perdas por seca e geadas, que são eventos que poderão ser frequentes no milho safrinha, com as alterações climáticas. Nas regiões de solo arenoso e de baixa capacidade de armazenamento de água, o milho safrinha apresenta maior risco de perda por estresse hídrico, sendo que práticas de manejo como plantio direto e rotação com adubação verde pode minimizar as perdas.

Um outro problema que é consequência da alteração climática no Brasil é o aumento da população de insetos vetores de doenças, favorecido pelo aumento da temperatura. Nesses últimos anos, o principal problema da cultura tem sido o enfezamento do milho transmitido pela cigarrinha *Dalbulus maydis*. O controle de insetos vetores tem levado ao aumento do uso de defensivos na cultura.

O aumento da temperatura tem favorecido a ocorrência de tempestades com ventos fortes, causando sérios problemas de acamamento das plantas de milho, principalmente nas cultivares de porte mais alto.

O milho pipoca, que é altamente suscetível ao enfezamento e a pragas, tendo inclusive um sistema radicular menos desenvolvido que o milho comum, tem o seu plantio limitado a áreas irrigadas e ou de maior altitude, e com uso exagerado de defensivos.

A ocorrência de eventos climáticos extremos como seca, geada e furacões podem afetar seriamente a produção de milho e toda a cadeia que utiliza o milho e seus subprodutos. O aumento de defensivos na lavoura do milho e do milho pipoca, tem impacto na poluição

do ambiente e da água, afetando a longo prazo a saúde humana.

O programa de melhoramento genético de milho e de milhos especiais do IAC tem um importante papel no desenvolvimento de cultivares de milho voltados à alimentação humana e animal e na manutenção de variabilidade genética em bancos de germoplasma, disponibilizando materiais com genes variados frente às diferentes necessidades adaptativas da cultura, como as mudanças climáticas e cultivares para o mercado de sementes.

Com a predominância de sementes transgênicas no mercado brasileiro e mundial de milho que, apesar de vantajosa sob vários aspectos agrícolas, acarreta perda de variabilidade genética, está havendo a procura por cultivares convencionais (não transgênicas) de milhos especiais e de novas fontes de resistência a doenças, pragas e tolerância à seca. O IAC possui um banco de germoplasma de milho convencional, com híbridos que já não existem no mercado, populações com graus elevados de tolerância à seca, linhagens e outros tipos de milho, como milho verde, milho pipoca e milho branco.

Os milhos especiais IAC são importantes por atenderem a nichos específicos de mercado e agregarem valor à produção, sendo importantes na sustentabilidade da produção (Paterniani *et al.*, 2020).

O programa de melhoramento genético de milho e de milhos especiais do IAC desenvolveu uma população tolerante à seca que vem sendo amplamente estudada e deverá ser fonte de inúmeras linhagens tolerantes. Foi utilizada a variedade antiga IAC Maya latente, que possui o gene latente de tolerância a estresses abióticos, juntamente com outros híbridos mais produtivos e tolerantes (Bernini, 2016). Foram obtidos também dois híbridos intervarietais de milho (Rocha *et al.*, 2021), que tiveram elevada produtividade, tanto em condições de seca quanto de déficit hídrico, em dois ambientes paulistas. Os caracteres associados à tolerância à seca são: precocidade, intervalo curto entre florescimento masculino e feminino e *stay green*, e os materiais devem ser testados em ambientes com e sem déficit hídrico (Figura 5) (Paterniani, 2019).



Figura 5. Milho tolerante à seca.

O programa ainda tem priorizado a seleção de genótipos mais resistentes ao enfezamento e a doenças foliares e menos atacados pelas pragas. São selecionados genótipos mais tolerantes ao frio e à geada, que é o problema mais frequente no milho safrinha na região sul do estado e Vale do Paranapanema. Resistência ao enfezamento e a viroses tem sido incorporada nas cultivares de milho, tendo-se obtido linhagens, híbridos e variedade que se destacam quanto à resistência ao enfezamento. Genótipos mais tolerantes à geada também foram selecionados, constituindo duas populações que estão sendo melhoradas.

Com relação ao milho pipoca, foram desenvolvidos híbridos adaptados ao plantio de verão no estado, com alta

sanidade de grãos, boa resistência às principais doenças foliares, espigas bem empalhadas, suportando excesso de chuva durante a fase de pós-maturação. Como o milho pipoca é bem mais suscetível ao enfezamento que o milho comum, a obtenção de linhagens de cruzamento do milho pipoca x milho comum, visam incorporar a resistência ao enfezamento.

Cultivares de milho super precoces podem escapar ou sofrer menos danos com a seca. Cruzamentos de milho pipoca com milho comum, de modo geral, apresentam redução de ciclo para florescimento e colheita. A obtenção de híbridos cruzando-se linhagem de milho pipoca com milho comum é um dos meios que estão sendo utilizados para obtenção de híbridos super precoces.

O uso das variedades crioulas constitui uma alternativa para a sustentabilidade dos pequenos agricultores, pois demanda baixo custo de produção e independência de grandes empresas de sementes. Essas cultivares apresentam rusticidade, resistência a patógenos e eventos climáticos prejudiciais, proporcionam aumento da renda do produtor com a venda das sementes produzidas; possibilidade de reprodução dentro da própria propriedade; diminuição no uso de defensivos químicos e manutenção da diversidade biológica, contribuindo para a sustentabilidade nas propriedades.

As sementes crioulas estão diretamente ligadas à soberania alimentar no que tange a aspectos da segurança alimentar, culturais e socioeconômicos dentro de um

agroecossistema (Pereira *et al.*, 2017). Atualmente, existem diversas variedades de milho coloridas que são atrativas para conquistar novos nichos de mercado, como a alta gastronomia. Um exemplo que associa o patrimônio alimentar com a agrobiodiversidade no Brasil é o Roteiro do Milho (Fachini *et al.*, 2019), projeto que realizou um mapeamento das práticas tradicionais de produção e uso culinário do milho na região Sudoeste Paulista. Uma diversidade de 32 receitas elaboradas com farinha de milho ou milho verde foram catalogadas na região, resgatando a prática do cultivo, uso culinário e artesanato do milho crioulo, especialmente da Palha Roxa. Essa prática, que associa receitas culinárias à base de milho com o resgate de sementes crioulas, visa estimular a produção e consumo local, diminuindo a pegada de carbono e conservando a agrobiodiversidade.



Figura 6. Variedades de milhos crioulos multiplicadas pelo IAC.

Atualmente, o programa de melhoramento genético de milho e de milhos especiais do IAC tem multiplicado e rejuvenescido sementes de variedades crioulas de milho de diversas origens, tipos e colorações, que poderão ser utilizadas como fontes de genes de tolerância a doenças e adaptação a eventos climáticos e como fontes de alimento para a gastronomia.

Programa sorgo granífero e forrageiro

O sorgo é uma espécie com múltiplas finalidades, abrange diversos segmentos do mercado agrícola mundial. Os tipos de sorgo (*Sorghum* spp.) têm uma ampla variabilidade, apresentando cinco tipos bem distintos quanto às suas características e uso, que são os graníferos, forrageiros, sacarinos, vassoura e biomassa. O tipo granífero é o mais plantado, seguido pelo forrageiro, sendo que o Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais. Na safra de 2021/22, foi estimado pela CONAB uma produção de 2,9 milhões de toneladas de grãos, em uma área de 1,1 milhão de hectares.

Em 2023 as estimativas apontam crescimento da área para 1,237 milhões de hectares (CONAB, 2023). O sorgo é o principal substituto do milho na segunda safra. O milho tem sido seriamente afetado pela epidemia do enfezamento que está ocorrendo nesses últimos anos, sendo ainda mais suscetível ao calor e ao estresse hídrico, o que tem favorecido o incremento da cultura do sorgo. Atraso no plantio e na colheita da soja também tem contribuído para aumento do plantio

do sorgo no Brasil Central. Só na última safra houve um incremento de 22,6% na área plantada e aumento de 40,3% na produção, evidenciado um aumento da produtividade. Além da maior tolerância ao calor e estresse hídrico, o sorgo granífero é mais precoce, e tem custo de produção bem menor, o que favorece o seu uso em áreas marginais de solos arenosos ou épocas de maior risco para o milho safrinha.

Em São Paulo, essa cultura tem apresentado aumento de área, atingindo aproximadamente 73 mil hectares em 2022 (IEA, 2023), contudo, o sorgo tem potencial enorme de crescimento, considerando-se que extensas áreas de cultivo na safrinha têm apresentado elevado risco para produção de milho, geralmente após o cultivo de soja no verão.

O sorgo é uma cultura que tem melhor adaptação às regiões com maior restrição hídrica em relação ao milho. Isso está associado à tolerância diferenciada desse cereal ao estresse hídrico conferida pelo seu sistema radicular fibroso e muito extenso, o que confere maior tolerância à seca durante a fase vegetativa e reprodutiva (Singh, 1995; Camargo; Hubbard, 1999; Farré; Faci, 2006). A planta de sorgo também apresenta características foliares de plantas xerófitas que atrasam a perda de água, o que permite o uso mais eficiente da água.

No Brasil, o milho vem sendo cultivado em segunda safra após o plantio da soja, entretanto, devido às mudanças climáticas, tal sucessão tem apresentado cada vez mais riscos quando ocorre um período mais curto

na estação das chuvas, limitando o uso de milho na segunda safra. Além disso, nos últimos anos, o aumento do custo de produção associado ao aumento da doença denominada complexo de enfezamento do milho, vem afetando a produtividade da cultura e elevou sobremaneira os riscos associados da cultura do milho na safrinha, especialmente em regiões com maior temperatura, onde a doença tem se demonstrado mais severa; nessas situações, o sorgo também reforça seu papel de destaque como alternativa de cultivo. Nesse contexto, a cultura do sorgo se destaca por ser uma boa opção para safrinha por sua característica de maior resistência à seca, além de alcançar os principais mercados do milho.

Estudos realizados entre 2007 e 2009 no IAC demonstraram que, em áreas marginais caracterizadas pela maior restrição hídrica e solos arenosos, o sorgo é a cultura que obtém melhores produtividades de grãos em comparação ao milho (Freitas *et al.*, 2018).

Nesses últimos anos, o principal problema dos sorgos tem sido o pulgão amarelo (*Melanaphis sacchari*), que a partir de 2019 tem causado elevadas perdas na cultura do sorgo, principalmente nos tipos forrageiros de porte alto, devido à dificuldade na aplicação de inseticidas. O aumento da temperatura favorece o crescimento populacional do pulgão, necessitando de várias aplicações de defensivos para seu controle.

Os sorgos graníferos podem sofrer danos severos com ocorrência de

frio durante a fase de florescimento, causado pela esterilidade do pólen por temperaturas abaixo de 14 °C. A não polinização do ovário, o torna mais suscetível ao ataque de fungos causadores do *ergot* do sorgo (*Sphacelia sorghi*). Observou-se que as variedades são mais resistentes ao ataque do *ergot* que os híbridos.

O ataque do pulgão no sorgo causa danos severos na planta, tanto pela sucção como pela necrose foliar das áreas atacadas, causando a morte precoce. A ocorrência generalizada dessa praga aumenta o custo de produção e o uso de defensivos na cultura. O ataque do pulgão ocorre em todas as fases da cultura, prejudicando seriamente os sorgos forrageiros de porte alto e tardios, devido à maior dificuldade de aplicação de defensivos. Os danos causados pelo pulgão têm levado a uma queda na demanda de sorgos forrageiros, de ciclo longo, como o IAC Santa Elisa e, aumento da demanda de sorgos de duplo propósito, usados tanto para grãos e silagem, que são mais precoces e de porte mais baixo.

Os danos causados pelo frio nos sorgos graníferos limitam a expansão da cultura para as regiões sujeitas a baixas temperaturas.

O IAC tem dedicado grande esforço no estudo da cultura do sorgo em conjunto com outros pesquisadores de várias instituições no Brasil e nas atividades de divulgação tecnológica colaborando com publicações científicas. A instituição vem ao longo dos últimos anos trabalhando no desenvolvimento de novas variedades

de sorgo granífero (IAC 7021), vassoura (IAC 10V50, IAC 10V60 e IAC 10V70) e forrageiro (IAC Santa Elisa, IAC Sarte e IAC Brandelisa), recentemente disponibilizadas no mercado.

No melhoramento de sorgo forrageiro, a variedade IAC Santa Elisa foi cruzada com híbridos de duplo propósito para obtenção de linhagens, para seleção de progênie tolerantes à seca, resistentes ao tombamento, com grãos maiores, alta capacidade de rebrota e produção de perfilhos, de ciclos tardios a precoces.

À medida que as alterações climáticas afetarem a distribuição e ocorrência das chuvas nas regiões produtoras de

milho safrinha, vai haver incremento da cultura do sorgo. O IAC lançou recentemente a variedade de sorgo granífero IAC 7021 de ciclo precoce e grãos avermelhados, tolerante à seca e ao calor, com boa produtividade e baixo custo das sementes. É uma cultivar mais sustentável que os híbridos, permitindo aos agricultores salvar sementes para uso próprio. Prevendo aumento da demanda por sorgos graníferos, iniciou-se neste ano a produção de sementes e ensaios regionais no estado de São Paulo. Esses resultados de pesquisa visam desmistificar o uso dessa cultura no Brasil e aproveitar seu potencial para produção de grãos, forragem, bioenergia e vassoura.



Figura 7. Ensaios de avaliação de cultivares (A); vista da área experimental em Votuporanga (SP) (B); cultivar IAC 7021, em Votuporanga (SP) (C). Foto: Freitas, R. S. (2020).

Referências

BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. S.; CARLINI-GARCIA, L. C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Caracteres fisiológicos e agrônômicos em progênie interpopulacionais de milho selecionadas sob condições de déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, p. 39-52, 2016.

BOLONHEZI, D.; BETIOL, O.; AMBRÓSIO, L. M. S.; LEAL, E. R. P. Manejo conservacionista do solo para Amendoim. In: ALVES, P. L. C. A.; CARREGA, W. C. (orgs.). **A cultura do amendoim e seus reflexos econômicos sociais e técnicos**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2021, v. 1, p. 79-110.

CAMARGO, M. B. P. de; HUBBARD, K. G. Drought sensitivity indices for a sorghum crop. **Journal of production agriculture**, v. 12, n. 2, p. 312-316, 1999.

COELHO, C.; VALCACER-COELHO, A. E. O padrão do consumidor de arroz e feijão do estado de Goiás. *In*: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (eds). **Arroz e Feijão: tradição e segurança alimentar**. EMBRAPA Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goiás-GO, 2021. p. 71-80.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Safra 2020/21. Brasília: CONAB, 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Safra 2022/23 - Oitavo levantamento, Brasília: CONAB, v. 10, n. 8, maio 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 20 maio 2023.

FACHINI, C.; MARIUZZO, P.; ARAUJO, S. **Roteiro do Milho: cultura e culinária no Sudoeste Paulista**. 1. ed. Salto, SP: FoxTablet, v. 1, p. 115, 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Food Balances, 2019**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 15 de mar. 2022.

FARRÉ, I.; FACI, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 83, n. 1-2, p. 135-143, 2006.

FREITAS, R. S.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A. P.; ZOZ, A.; DUARTE, R.; NASCIMENTO, C. A. S. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada no cultivo de sorgo-vassoura. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, XXXII, 2018, **Resumos** [...]. Sete Lagoas-MG: ABMS, 2018. v. 21. p. 181.

GODOY, I. J.; MORAES, A. R. A.; SANTOS, J. F.; MICHELOTTO, M. D.; BOLONHEZI, D.; FREITAS, R. S.; CAVICHIOLI, J. C.; CARVALHO, C. R. L.; MARTINS, A. L. M. Cultivares de amendoim alto oleicos: uma inovação para o mercado produtor e consumidor brasileiros. **O Agrônomo**, Campinas, v. 70, p. 48-52, 2018.

GODOY, I. J.; MICHELOTTO, M. D.; BOLONHEZI, D.; SANTOS, J. F.; MORAES, A. R. A.; MARTINS, A. L. M.; FINOTO, E. L.; FREITAS, R. S.; GALLO, P. B.; NAKAYAMA, F. T. Inovações na Cultura do Amendoim: A Pesquisa Integrada com o Setor Produtivo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 71, p. 68-81, 2019.

GODOY, I. J.; MORAES, A. R. A.; SANTOS, J. F.; MICHELOTTO, M. D.; CARREGA, W. C.; BOLONHEZI, D.; FREITAS, R. S.; NAKAYAMA, F.; GALLO, P. B. Melhoramento Genético do Amendoim e a contribuição do IAC no Brasil. *In*: ALVES, P. L. C. A.; CARREGA, W. C. (orgs.). **A cultura do amendoim e seus reflexos econômicos sociais e técnicos**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2021, v.1, p. 25-49.

GODOY, I. J.; SANTOS, J. F.; MORETZSOHN, M. D. C.; MORAES, A. R. A.; MICHELOTTO, M. D.; BOLONHEZI, D.; NAKAYAMA, F.; FREITAS, R. S.; BERTIOLI, D. J.; LEAL-BERTIOLI, S. C.

'IAC SEMPRE VERDE': a wild-derived peanut cultivar highly resistant to foliar diseases. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 22, n. 3, e41252232, 5 p., 2022.

IEA - INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/>. Acesso em: 9 de maio 2023.

MICHELOTTO, M. D. et al. Identifying Arachis Amphidiploids Resistant to Foliar Fungal Diseases. **Crop Science**, v. 56, n. 4, p. 1792-1798, 2016.

MICHELOTTO, M. et al. Resistance to thrips (*Enneothrips flavens*) in wild and amphidiploid Arachis species. **PLoS One**, v. 12, n. 5, e0176811, 2017.

PATERNIANI, M. E. A. G. Z. et al. Estratégias de melhoramento para tolerância à seca em germoplasma de milho tropical. **Singular Meio Ambiente e Agrárias**, v. 1, n. 1, p. 19-24, 2019.

PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; FACHINI, C.; RODRIGUES, C. S. Innovation and specialty maize breeding for market niches in the State of São Paulo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, p. 19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18512/rbms2020v19e1202>.

PEREIRA, V. C.; LÓPEZ, P. A.; DAL SOGLIO, F. K. A conservação das variedades crioulas para a soberania alimentar de agricultores: análise preliminar de contextos e casos no Brasil e no México. **HOLOS**, v. 4, p. 37-55, 2017. DOI: 10.15628/holos.2017.4749.

ROCHA, D. S.; RODRIGUES, C. S.; GALLO, P. B.; TICELLI, M.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Drought tolerance in intervarietal maize hybrids. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 80-89, 2021.

SINGH, S. Broadening the Genetic Base of Common Bean Cultivars. **Crop Science**, v. 41, p. 1659-1675, 2001.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2221000>. Acesso em: 20 de maio 2023.

WANDER, A. E.; CHAVES, M. O. Consumo per capita de feijão no Brasil de 1998 a 2010: uma comparação entre consumo aparente e consumo domiciliar. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO (CONAFE), 10., 2011, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011. CD-ROM.



HORTICULTURA

**Segurança Alimentar:
Sustentabilidade e Impacto das
Mudanças Climáticas na Produção de
Espécies Hortícolas**

Eliane Gomes Fabri*, Lilian Cristina Anefalos,
Valeria Aparecida Modolo, Sally Ferreira Blat,
José Carlos Feltran, Thiago Leandro Factor,
Sebastião de Lima Junior, Valdemir Antonio
Peressin, Roberto Botelho Ferraz Branco,
Charleston Gonçalves, Luis Felipe Villani
Purquerio, Eduardo Yuji Watanabe, Matheus
Kainan de Paula Manjavachi

*eliane.fabri@sp.gov.br

Introdução

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) até 2030 os governos e a sociedade civil devem aplicar ações de mitigação da fome, que têm afetado a qualidade de vida de muitas pessoas no mundo (IDIS, 2023).

A segurança alimentar é uma garantia de todas as dimensões que inibem a ocorrência da fome, como disponibilidade e acesso permanente de alimentos, pleno consumo sob o ponto de vista nutricional e sustentabilidade em processos produtivos (Banco de Alimentos, 2023).

Em 2019, cerca de 2 bilhões de pessoas não tiveram acesso regular a alimentos de boa qualidade nutricional ou mesmo puderam alimentar-se. Essa condição de escassez retrata um estado de moderada a severa insegurança alimentar. Pessoas que se enquadram nesse grupo não têm acesso físico, social e econômico à alimentação segura, nutritiva e suficiente em todos os momentos, a fim de que tenham uma dieta adequada para uma vida saudável e ativa. Como consequência da insegurança alimentar essas pessoas podem ser vítimas da “fome oculta”, situação de má nutrição decorrente da ingestão deficiente de micronutrientes essenciais à vida (Garg *et al.*, 2018).

A sustentabilidade é a capacidade de se manter, com recursos próprios, a longo prazo e se auto-manter durante um período de tempo. Toda atividade deve ser sustentável, ou seja, aquela que pode e deve ser mantida por um longo período de tempo (longevidade), sem

esgotar a sua capacidade produtiva. Além disso, leva em consideração os imprevistos que podem surgir no decorrer do período, sem colocar em risco os recursos naturais e econômicos.

De acordo com o mais recente relatório de avaliação do Painel sobre Alterações Climáticas (IPCC), publicado em 2014, os níveis de emissões antropogênicas de gases de efeito de estufa (GEE) estão no seu ponto mais alto da história (Porter *et al.*, 2014). Dentro desse escopo, foram elencados fatores que poderão reduzir a produtividade das culturas agrícolas, podendo-se relacionar: aumento da variabilidade na precipitação, aumento na frequência das secas e inundações, temperaturas mais elevadas em relação às regiões tradicionalmente cultivadas.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), das 75 espécies hortícolas cultivadas nas diversas regiões, o estado de São Paulo é líder de produção de 35 espécies, o que corresponde a 46,66% das espécies hortícolas produzidas no país, a saber: abobrinha, acelga, agrião, aipo, alcachofra, alecrim, alface, alho poró, almeirão, batata-doce, berinjela, beterraba, brócolis, bucha vegetal, camu camu, chá-da-índia, chicória, couve, couve-flor, erva-doce (funcho), espinafre, louro, manjeriço, nabo, orégano, palmito, pepino, pimenta, pimentão, rabanete, repolho, rúcula, salsa, urucum e vagem. Dentre elas, merecem destaque as seguintes espécies quanto ao seu retorno econômico: alho, batata, batata-doce, cebola, mandioca (mesa e indústria), morango, pupunha e,

também, as flores que contemplam a grande área da horticultura.

As grandes transformações ocorridas no setor hortícola, ao longo dos anos, são decorrentes diretamente dos avanços em pesquisa e desenvolvimento, que foram capazes de gerar know-how e tecnologias de ponta para serem adotados pelo setor. No entanto, no futuro, esse setor enfrentará o grande desafio de aumentar a produtividade e a qualidade das hortaliças em um cenário de recursos naturais mais escassos e de mudanças climáticas. Além disso, haverá a necessidade do setor se adaptar às tendências do mercado consumidor, que tem exigido ações mais sustentáveis, com maior respeito ao ambiente e às normas de segurança alimentar.

Tendo em vista esse cenário de desafios para a produção agrícola e, em especial, para as espécies hortícolas, o Centro de P&D de Horticultura/IAC tem coordenado programas de melhoramento genético para as seguintes espécies: batata, batata-doce, mandioca (mesa e indústria) e flores tropicais. Paralelamente, tem liderado os programas para seleção de novos materiais genéticos e desenvolvimento de sistemas de produção para palmeiras produtoras de palmito, plantas aromáticas, condimentares e medicinais. Frente às novas tendências de mercado, o IAC tem coordenado pesquisas na área de sistemas de produção para espécies hortícolas, com destaque para o cultivo protegido e cultivo indoor.

A seguir serão abordados, com maior detalhamento, as iniciativas do IAC, com vistas aos impactos das mudanças climáticas na produção hortícola.

Programa de melhoramento vegetal de batata - *Solanum tuberosum* L.

A batata é uma hortaliça, originária das regiões frias de altitude dos Andes peruanos e chilenos, sendo o quarto alimento mais consumido no mundo, após o arroz, o trigo e o milho. Chegou ao Brasil trazida por colonizadores europeus que se instalaram na região Sul, onde perceberam que o clima frio era adequado para a bataticultura (ABBA, 2006). É cultivada no Brasil, predominantemente, nas regiões de clima temperado no sul do país, embora com significativa expansão em áreas de clima tropical de altitude durante o outono/inverno (Wrege *et al.*, 2004). Embora seja cultivada em grande amplitude geográfica no país, é considerada particularmente vulnerável ao aquecimento global (New Agriculturist, 2008).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a área plantada de batata no mundo, em 2020, foi de aproximadamente 19,5 milhões hectares, com produção total de 371 milhões de toneladas.

O principal produtor mundial de batata é a China, com cultivo de cerca de 24% da área global plantada, em 2020, seguida pela Índia, Rússia, Ucrânia e Estados Unidos. O Brasil ocupa a vigésima colocação nesse

ranking, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em 2020, foram cultivados aproximadamente 137 mil hectares de batata, com produção de cerca de 3,7 milhões toneladas. Os principais estados produtores são Minas Gerais, Paraná, São Paulo e Santa Catarina.

A cultura de batata é muito importante no Brasil e para o mundo por vários motivos:

- **Segurança alimentar:** é um alimento básico e versátil para muitas pessoas em todo o mundo, especialmente em países em desenvolvimento. A batata é fonte importante de carboidratos, vitaminas e minerais, sendo uma opção acessível para complementar a dieta alimentar.

- **Geração de empregos:** é fonte de emprego e renda para muitas pessoas em todo o mundo, desde pequenos produtores, médios e até grandes empresas agrícolas. No Brasil, a cultura emprega diretamente mais de 150 mil pessoas.

- **Diversificação agrícola:** pode ser utilizada em rotação com outros cultivos, ajudando a diversificar a produção agrícola. Essas características contribuem para a redução da pressão sobre o solo e para o aumento da produtividade agrícola.

- **Variedade de produtos:** é um ingrediente versátil, que pode ser usado em muitos pratos diferentes, desde fritas e purês até sopas e ensopados. É também um componente-chave na produção de alimentos processados, como batatas fritas, salgadinhos e molhos.

Em relação às mudanças climáticas, pode-se destacar os seguintes impactos na cultura, tanto bióticos como abióticos:

- **Alterações na temperatura e na umidade (abióticos):** a cultura requer temperaturas amenas para que ocorra tuberização abundante, que garanta boa produtividade aliada à qualidade de tubérculos. A temperatura ideal para o cultivo da batata já foi bastante estudada. Embora haja divergência de valores, a faixa de 10 °C a 22 °C representa a maioria dos resultados obtidos em várias partes do mundo. A maioria das cultivares comerciais tuberiza melhor em temperaturas médias pouco acima de 15 °C. Dados mais precisos apontam a faixa entre 15 °C e 18 °C, e que temperaturas noturnas acima de 22 °C reduzem significativamente a produção de tubérculos (Fernandes *et al.*, 2021).

A temperatura acima da faixa ideal afeta diretamente o metabolismo das plantas e interage com outros fatores ambientais, tendo, assim, efeito significativo no seu desenvolvimento. No caso específico da batata, temperaturas altas não só reduzem a síntese de fotoassimilados essenciais ao desenvolvimento da planta como também a sua partição aos tubérculos (Burton, 1981; Khedher; Ewing, 1985; Prange *et al.*, 1990; Denyer *et al.*, 1994; Timlin *et al.*, 2006; Haverkort; Verhagen, 2008). Como consequência, ocorre queda de rendimento e redução da matéria seca dos tubérculos (Hughes, 1974; Marinus; Bodlaender, 1975).

Além de provocar redução de produtividade, altas temperaturas ainda afetam negativamente a aparência do tubérculo, devido à ocorrência de doenças e distúrbios fisiológicos, tais como: lenticeloses, rachaduras, embonecamento e manchas internas (Hughes, 1974; Marinus; Bodlaender, 1975; Hooker, 1990; Menezes *et al.*, 1999). Esses fatores podem estar acompanhados ou não de crescimento exuberante da parte aérea e senescência precoce das folhas, com redução no crescimento de tubérculos pelo encurtamento do período de acúmulo de reserva (Marinus; Bodlaender, 1975; Fontes; Finger, 1999).

A maioria das cultivares atualmente plantadas no país foi desenvolvida especificamente para condições temperadas e, embora apresentem boas qualidades para o comércio ou indústria, quando submetidas às condições climáticas tropicais, apresentam produtividade e qualidade de tubérculos abaixo do seu potencial. Desse modo, a obtenção de cultivares adaptadas a condições climáticas locais, sobretudo em um cenário de aquecimento global, torna-se bastante importante para o país. Para tal finalidade, é necessário que os programas de melhoramento procurem selecionar genótipos com maior estabilidade e adaptabilidade. Além disso, as estratégias de seleção para condições de altas temperaturas devem ser estabelecidas, considerando-se que normalmente a interação genótipos x ambientes é bastante expressiva, quando levado em conta várias épocas de plantio.

Caso se confirmem as tendências de mudanças climáticas, a cultura da batata sofrerá rearranjo das regiões produtoras, bem como ajustes nas épocas de plantio. Há sério risco de erosão genética, devido à elevação de temperatura nos centros de origem e diversidade de *Solanum*, que poderá levar a perdas de espécies silvestres de grande importância ao melhoramento genético. Algumas regiões brasileiras produtoras de batata, que hoje permitem o cultivo durante todo o ano, poderão sofrer os efeitos do aquecimento global, com perspectiva de concentração da produção somente nos meses de temperaturas mais baixas, de redução de produtividade e de aumento da intensidade de algumas doenças (Lopes *et al.*, 2011).

• **Mudanças nos padrões de chuva (abióticos):** as mudanças climáticas podem impactar a quantidade e a distribuição das chuvas, o que pode afetar negativamente a produção de batatas. Se houver chuvas intensas e frequentes, há possibilidade de ocorrer o apodrecimento dos tubérculos e o aumento de doenças fúngicas. Por outro lado, na falta de chuva é possível que haja redução da produtividade da cultura, por déficit hídrico.

• **Aumento de eventos climáticos extremos (abióticos):** eventos como secas, inundações, ondas de calor e tempestades podem danificar as plantas, reduzir a produtividade e aumentar os riscos de doenças.

• **Aumento de pragas e doenças (bióticos):** com as altas temperaturas, é possível que aumente a atividade de insetos, como pulgões e besouros,

e ocorrer a transmissão doenças às plantas. Com o aumento do regime pluviométrico, há possibilidade de aumentar a umidade, o que favorece a ocorrência de doenças fúngicas, como a requeima (umidade e frio) e alternaria (umidade e calor).

• **Impactos econômicos:** com as mudanças climáticas, é provável que ocorra um impacto negativo na economia das regiões produtoras de batatas. A redução na produtividade pode acarretar em diminuição da oferta e, consequentemente, a um aumento nos preços. Já em relação à economia regional, alguns produtores poderão deixar a atividade, gerando redução nas oportunidades de empregos para essa atividade. Além disso, com os efeitos das mudanças climáticas como, por exemplo, a escassez de água, é possível haver um aumento nos custos de irrigação e de produção da cultura. As secas e inundações, por outro lado, podem danificar as infraestruturas agrícolas, como estradas e armazéns, causando prejuízos financeiros.

O programa de melhoramento do IAC tem como objetivo disponibilizar cultivares adaptadas às diferentes condições edafoclimáticas paulistas e brasileiras e possibilitar uma agricultura mais sustentável. Dessa forma, a equipe IAC tem trabalhado em ações prioritárias para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas, para desenvolver variedades mais resistentes aos estresses abióticos e bióticos, ou seja, tolerantes ao calor, resistentes às principais pragas e doenças, como viroses (principalmente PVY), doenças (pinta preta e requeima), além de alta

produtividade, rusticidade, porém com extrema qualidade de tubérculos em questão de pele, teor de matéria seca e nutrientes (vitaminas e antioxidantes).

Programa de melhoramento genético de batata-doce - *Ipomoea batatas* L.

A batata-doce é cultivada em mais de 120 países situados em uma extensa faixa do globo terrestre que vai de 42° de latitude Norte a 35° de latitude Sul. A produção mundial, em 2021, foi de aproximadamente 88,9 milhões de toneladas (FAO, 2021). A China é o maior produtor, com 51,8 milhões de toneladas, o equivalente a 56,4% da produção mundial. Em seguida estão Malawi, Nigéria e República Unida da Tanzânia, com produção de 5,9, 4,2 e 3,9 milhões de toneladas, respectivamente (Statista, 2021). A produção mundial de batata-doce está concentrada na Ásia e na África com, respectivamente, 81,4% e 15,2 % da produção (FAO, 2021).

A América é responsável por apenas 2,6% da produção mundial de batata-doce (FAO, 2021). O Brasil não ocupa um lugar de destaque entre os maiores produtores de batata-doce no mundo. O país apresenta produção de 824.680 toneladas, em área colhida de 56.587 hectares, com rendimento médio de 14,57 t ha⁻¹ (IBGE, 2020), sendo o maior produtor da América Latina.

A batata-doce é cultivada em todas as regiões do país. O estado de São Paulo é o maior produtor com 182.759 toneladas em 10.153 hectares, seguido pelo Rio Grande do Sul, com 133.605

toneladas em 11.045 hectares e o Ceará, com 101.187 toneladas em 5.205 hectares (IBGE, 2020). A produtividade média de batata-doce, no estado de São Paulo, é de 18 t ha⁻¹, ou seja, 26,27% superior à média do Brasil, que é de 14,25 t ha⁻¹. As principais regiões produtoras são: Presidente Prudente, Araçatuba, Tupã, Jaboticabal e Dracena.

A batata-doce tem grande capacidade de produção de raízes tuberosas, pode ser rapidamente propagada e adapta-se a diversas condições edafoclimáticas. Por ser uma cultura rústica, sua produção é viável em condições de pouca fertilidade e baixas taxas de precipitação, visto que a planta tolera déficit hídrico e solos mais pobres. Contudo, apresenta grande incremento de produtividade com fornecimento de adubação equilibrada e de água em quantidade desejável. Essas características permitem a produção de um alimento nutritivo em locais inviáveis para outras culturas, ajudando assim a combater a fome e a insegurança alimentar em diversas regiões do mundo.

As mais altas produções para a batata-doce são obtidas em regiões ou épocas de plantio que apresentem, durante o ciclo vegetativo, um período de quatro meses com temperatura média superior a 20 °C (Peressin; Feltran, 2014). Mas, como é uma planta de fácil adaptação climática e a vários tipos de solo, pode ser cultivada desde a latitude 42° N até 35° S, em altitudes referentes ao nível do mar até 3.000 m (Castro *et al.*, 2008). Não é uma cultura que se adapta bem a condições de frio e, em condições

climáticas com temperatura inferior a 10 °C, tem seu crescimento severamente retardado, não tolerando geadas. No entanto, pode ser cultivada em regiões temperadas, nos períodos da primavera e verão, quando as temperaturas estão mais elevadas e com alta radiação solar, fatores esses que favorecem o desenvolvimento da cultura. Possui característica de fácil adaptabilidade, o que lhe permite que seja cultivada em locais de climas diversos, como o das Cordilheiras dos Andes; em regiões de clima tropical, como o da Amazônia; regiões de clima temperado, como o do Rio Grande do Sul e até em clima desértico, como o da costa do Pacífico (Castro *et al.*, 2008).

Quanto ao regime pluvial, a cultura deve ser plantada em locais com pluviosidade anual média de 750 a 1000 mm, sendo que cerca de 500 mm são necessários durante a fase de crescimento. A primeira semana após o plantio pode ser considerada uma fase crítica em relação à necessidade de umidade no solo na camada mais superficial, isso porque as ramas-semente não possuem ainda sistema radicular para explorar a umidade contida em camadas inferiores do solo. Caso não ocorra tal condição, se faz necessário realizar duas irrigações, sendo a primeira logo após o plantio, para que ocorra o contato do solo úmido com as ramas-semente, o que proporciona maior taxa de aproveitamento do material de propagação, evitando-se o replantio (Silva *et al.*, 2008). A planta suporta períodos de seca durante o seu desenvolvimento, no entanto isso pode causar queda na produtividade

(Vendrame; Melo, 2021). Quando ocorrerem chuvas abundantes após período seco é comum a ocorrência de rachaduras na superfície das raízes tuberosas em formação, causando danos irreversíveis e depreciação do produto no mercado.

O solo mais adequado para o desenvolvimento da batata-doce deve apresentar boa drenagem, textura arenosa ou areno-argilosa, sendo levemente ácido ou neutro. Solos compactados e/ou mal preparados causam alterações no formato e na uniformidade das raízes, diminuindo o seu valor comercial. A planta apresenta seu ótimo desenvolvimento em solos com pH 5,6 a 6,5, mas cresce e produz bem em solos com pH entre 4,5 e 7,7 (Peressin; Feltran, 2014).

Deve-se levar em consideração a capacidade de drenagem do solo como um fator essencial, observando a profundidade do lençol freático, pois solos rasos ou sujeitos ao encharcamento podem propiciar a formação de raízes longas, denominadas de "chicote".

A batata-doce possui um sistema radicular profundo, podendo chegar de 75 a 90 cm e bem ramificado, o que lhe possibilita explorar maior volume de solo e absorver água em camadas profundas. É aconselhável evitar o cultivo em solos argilosos, pois se tornam endurecidos durante períodos secos e, também, solos pedregosos, pois são sujeitos ao encharcamento, situações que dificultam o desenvolvimento das batatas, tornando-as desuniformes e dificultando a colheita (Silva *et al.*, 2008).

Em relação às mudanças climáticas, pode-se destacar os seguintes impactos na cultura, tanto bióticos como abióticos:

- **Temperaturas mais altas:** requer temperaturas quentes para crescer e se desenvolver. Entretanto, temperaturas extremas e prolongadas podem reduzir a produtividade e a qualidade dos tubérculos. Aquecimentos intensos e prolongados podem até mesmo reduzir a produtividade e, em casos extremos, pode levar à morte das plantas;

- **Seca:** requer água para o seu crescimento e desenvolvimento. Mudanças nos padrões de chuva e secas prolongadas podem reduzir a disponibilidade de água para a cultura, levando à redução da produtividade e até mesmo à perda total das plantas;

- **Alterações nos ciclos de pragas e doenças:** as mudanças climáticas, também, podem afetar a incidência e a distribuição de pragas e doenças que influenciam a produção de batata-doce. Com o aumento da temperatura, alguns insetos podem ter seu ciclo reprodutivo acelerado, resultando em um aumento no número de pragas.

O Instituto Agrônomo (IAC) em parceria com a APTA Regional de Presidente Prudente, vem desenvolvendo um programa de melhoramento genético da cultura da batata-doce, objetivando a biofortificação da cultura. Biofortificação é o processo utilizado para aumentar o conteúdo nutricional de micronutrientes, como vitaminas e minerais específicos, das porções comestíveis das plantas utilizadas como alimentos, o que pode ser feito

por meio de técnicas de melhoramento convencional de plantas.

A batata-doce é rica em vitamina C, ferro, potássio, fibras, vitamina B1, B2 e ácido pantotênico. As cultivares com polpa alarajanda, em especial, contêm elevados teores de β -caroteno (pró-vitamina A) e são utilizadas em diversos países no combate à deficiência de vitamina A em crianças (Rossel, 2022), um micronutriente essencial à saúde humana devido à sua importância em vários processos fisiológicos. A vitamina A é fundamental ao sistema imunológico, auxilia na acuidade visual, proliferação e diferenciação celular e na expressão gênica. Entre os mais vulneráveis à carência de vitamina A encontram-se crianças menores de

cinco anos, gestantes e lactantes (Lima *et al.*, 2020).

O desenvolvimento de novas cultivares de batatas-doces biofortificadas adaptadas a regiões brasileiras torna-se necessário na medida em que estas possam proporcionar aumento da produção e auxiliar no combate à má nutrição da população, do estado de São Paulo e do Brasil. Como resultado desses trabalhos, o Instituto Agrônomo (IAC) disponibilizou em 2021 seis cultivares de batata-doce (Figura 1). Outros detalhes sobre o manejo da cultura, bem como das cultivares disponibilizadas pelo IAC estão no livro "A cultura da batata-doce" (Peressin *et al.*, 2022).

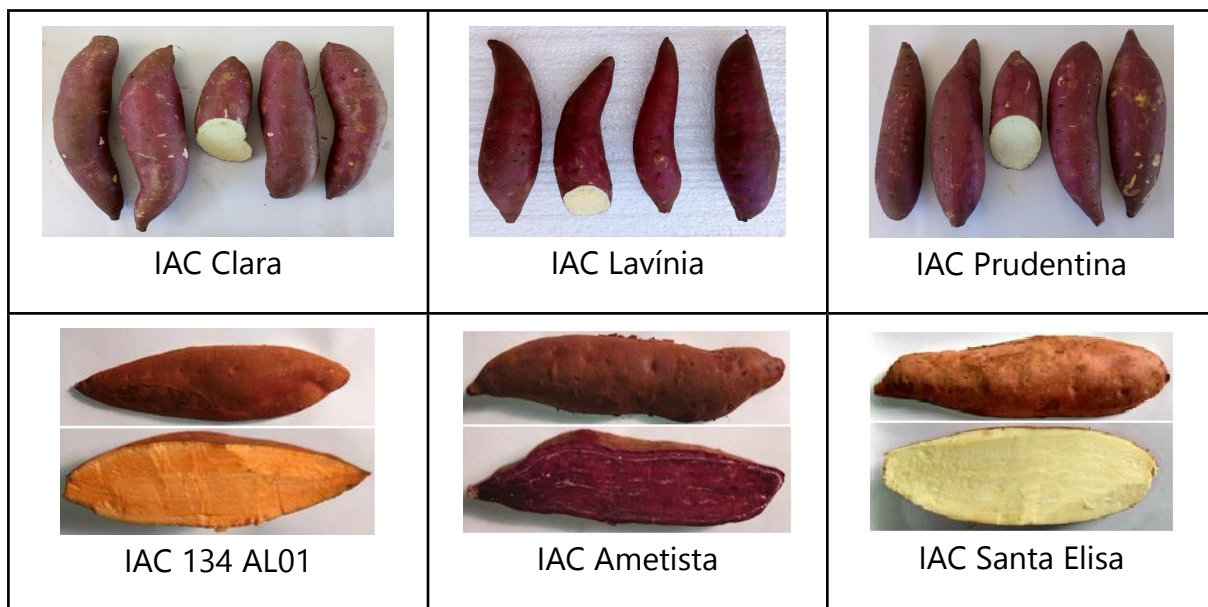


Figura 1. Cultivares de batatas-doces disponibilizadas pelo Instituto Agrônomo (IAC), em 2021.

Programa de melhoramento genético de mandioca - *Manihot esculenta*

A mandioca pode ser cultivada entre os paralelos 30° de latitude Norte e 30° de latitude Sul, e adapta-se a ampla faixa, desde o nível do mar até cerca de 2.300 m, no entanto, tem melhor desenvolvimento em regiões mais baixas, com altitude entre 600 e 800 m. Isso ocorre, principalmente, por influência da temperatura.

A raiz de mandioca pode ser utilizada na alimentação humana, na forma in natura (cozidas ou fritas) e na forma processada (farinhas e féculas nativas e modificadas). Na indústria alimentícia, a fécula tem aplicações como espessante, geleificante, estabilizante e emulsificante; na indústria não alimentícia, a fécula é utilizada em aplicações nas áreas de petróleo, têxtil, papel, biopolímeros e farmacêutica. Na alimentação animal as raízes, a parte aérea e os resíduos do processamento industrial podem ser utilizados na forma

de raspas, silagem e farelo de bagaço, respectivamente. Como recurso energético, as raízes e a parte aérea podem ser utilizadas na produção de etanol e na geração de energia térmica, respectivamente. Dessa forma, pode-se verificar a importância estratégica dessa cultura para a indústria, alimentação humana e animal e para geração de energia. Por esses motivos a FAO considera a mandioca como a cultura do século XXI.

Dados econômicos demonstram o papel fundamental da mandioca na segurança alimentar das populações, principalmente das situadas nas zonas mais carentes do ambiente tropical e subtropical, sendo o alimento básico de mais de 800 milhões de pessoas espalhadas pelo mundo. Mundialmente são produzidas próximo de 304 milhões de toneladas de raízes de mandioca. Dessa quantidade, o Brasil, quinto produtor mundial, contribui com apenas 6%. Na figura 2 observa-se as áreas colhidas de mandioca no mundo e a distribuição no Brasil.

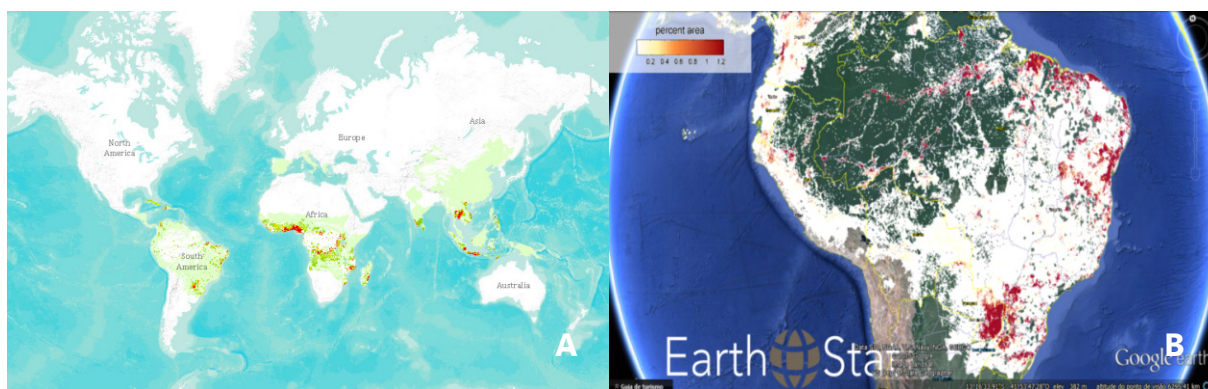


Figura 2. Área colhida de mandioca no mundo e distribuição da produção de mandioca por regiões do Brasil (A). Fonte: <http://www.rtb.cgiar.org/RTBMaps/> (A); <http://www.earthstat.org/harvested-area-yield-175-crops/> (B).

No Brasil, a produção está espalhada por todo o território nacional e pode ser classificada em mandioca industrial e mandioca de mesa, sendo utilizada, principalmente, para a produção de farinha. Estima-se uma produção anual de 19 milhões de toneladas de raízes obtidas com o cultivo de aproximadamente 1,3 milhões de hectares.

No estado de São Paulo a mandioca é cultivada praticamente em todos os municípios, principalmente a mandioca de mesa, tanto em cultivo periurbano como no meio rural. Entretanto, os plantios comerciais de mandioca de mesa concentram-se nas proximidades de grandes centros consumidores, com área estimada em 20 mil hectares. De acordo com os levantamentos realizados pelo IEA e CATI, as principais regiões produtoras de mandioca de mesa estão localizadas nos EDRs de Campinas, Sorocaba, Mogi Mirim, Jaboticabal, Pindamonhangaba e Itapetininga. Em relação à mandioca para indústria, os plantios concentram-se nas proximidades de polos industriais, onde se produz fécula e farinha. No estado a área cultivada com mandioca industrial fica próxima de 60 mil hectares e concentra-se nas regiões dos EDRs de Presidente Prudente, Assis, Presidente Venceslau, Marília, Tupã e Piracicaba.

Em relação às mudanças climáticas, pode-se destacar os seguintes impactos na cultura, tanto bióticos como abióticos:

• **Alterações na temperatura e na umidade (abióticos):** a planta de mandioca foi domesticada no

continente americano. Admite-se que o centro de origem da mandioca compreende área de transição entre a floresta e o cerrado que se estende do Paraguai ao Brasil Central. Essa região apresenta áreas secas ou com estiagem bastante pronunciada, onde a condição climática predominante compreende os tipos Cw e Aw da classificação de Köppen, caracterizados por temperaturas elevadas e estação seca de inverno bem definida. Por esse motivo, a planta de mandioca apresenta alta adaptabilidade a ambientes estressantes e pode ser cultivada onde outras culturas não conseguem gerar produção adequada. Isso ocorre por meio de ajustes fisiológicos no sistema de uso de água da planta e pelas associações com microrganismos - micorrizas vesículo-arbusculares e bactérias diazotróficas - que garantem a absorção de fósforo (P) e de nitrogênio (N), respectivamente. A cultura da mandioca tem exigência de poucos insumos para sua produção, que dessa forma torna-se sustentável. Isso possibilita sua adaptação a sistemas de produção de baixo impacto. Por esse motivo está presente em muitos ambientes marginais, em quintais rurais e na agricultura urbana e periurbana.

O fator temperatura está associado diretamente ao desenvolvimento da planta de mandioca, assim, cultivos de mandioca em locais onde a temperatura média anual fica abaixo de 20 °C tem potencial vegetativo muito limitado e, consequentemente, menor produtividade, no entanto, ocorre ótimo crescimento sob temperaturas médias superiores a 25 °C. A tempera-

tura média anual, considerada ótima para o desenvolvimento da mandioca fica entre 20 a 27 °C, sendo que em condições de temperaturas baixas, em torno de 15 °C, atrasarão a germinação e podem diminuir e até paralisar a atividade vegetativa da planta, fazendo com que entre em estado de repouso, situação essa observada na região Sul do Brasil. No entanto, a planta de mandioca suporta temperaturas elevadas e altos níveis de radiação solar, já que promove ajustes no processo de fotossíntese e de uso da água, atingindo maiores taxas de fotossíntese entre 30 e 40 °C (Alves, 1998).

A mandioca tem tolerância à seca, no entanto o baixo índice pluviométrico por longos períodos pode diminuir consideravelmente a produtividade. Estima-se que secas nos primeiros cinco meses do plantio são as mais prejudiciais, podendo reduzir em até 60% a produtividade quando ocorre pelo menos dois meses sem chuvas nesse período. Após o plantio das manivas, as raízes fibrosas do sistema radicular têm crescimento rápido e atingem profundidade superior a 2 m, garantindo a absorção de água para a planta, porém com secas prolongadas pode ocorrer diminuição na produtividade. Já as folhas da mandioca são mais espessas pela presença de células papilosas na superfície inferior e com muitos estômatos e são lisas na superfície superior com pouca presença de estômatos, anatomia do tipo C3 e a presença de enzimas do metabolismo C4. Essas adaptações permitem maior tolerância à seca.

A planta de mandioca está adaptada ao ambiente tropical, a altas temperaturas, altas taxas de CO₂ e ao déficit hídrico. Entretanto, não suporta temperaturas muito baixas, geadas e solos com alta umidade por longos períodos. A deficiência hídrica somente trará problemas na produtividade se ocorrer nos primeiros cinco meses após o plantio. No entanto, mesmo sob condições mais críticas, precipitações muito baixas e temperaturas muito elevadas, ocorrerá a produção de raízes, porém muito abaixo do potencial produtivo. Por outro lado, o aumento das temperaturas e a diminuição da precipitação pode favorecer o aparecimento de pragas em maior intensidade.

Seleção e sistema de produção de palmeiras produtoras de palmito

O palmito, produto proveniente da extremidade superior do estipe de certas palmeiras, pode ser obtido de várias espécies de palmeiras. Alguns atributos quanto às características do palmito, tais como, cor clara, sabor brando, maciez alta ou moderada, formato cilíndrico e diâmetro médio e também da palmeira, tais como, precocidade de produção e facilidade de cultivo adensado, contribuíram para que algumas espécies de palmeiras se consolidassem quanto à produção de palmito.

Atualmente, os principais palmitos encontrados no comércio são de pupunheira, açaí, palmeira real australiana e juçara. Todavia, os dados nacionais de produção de palmito não diferenciam as espécies

produtoras, considerando somente palmito cultivado e palmito extraído. Segundo os dados do IBGE (2021), constata-se que a produção de palmito está concentrada nos estados da região Centro-Sul, com destaque para o estado de São Paulo, principal produtor no território nacional. Em 2020, considerando-se área plantada, o estado de São Paulo representava em torno de 40% em relação ao total plantado no Brasil, com produção distribuída em 62 municípios, sendo que a maior área destinada à colheita está concentrada em 12 municípios localizados na região do Vale do Ribeira.

Essa tendência de aumento da quantidade total produzida de palmito cultivado e retração de extração vegetal já era observada desde 2006. No estado de São Paulo, de 2000 a 2005, em média, 98% de toda produção de palmito já era oriunda de cultivos e não de extrativismo vegetal (Anefalos *et al.*, 2007). De acordo com dados do IBGE (2016), em 2013 e 2014 não se identificou nenhuma produção paulista extrativista de palmito. Esse crescimento diferenciado, provavelmente, já estava atrelado aos efeitos concomitantes da introdução da pupunheira no estado, aliado aos esforços contínuos da pesquisa ao longo dos anos para prover incremento na produtividade e na qualidade do produto final (Anefalos *et al.*, 2017).

A produção de palmito é pesquisada no IAC desde a metade do século passado, sempre com vistas a suprir a necessidade de práticas mais sustentáveis de produção, uma vez que a cadeia do palmito se iniciou

e, por muitos anos, foi baseada no extrativismo. A identificação de outras possibilidades de palmeiras para produção de palmito com base na diversidade de espécies, tanto nativas como exóticas, foi adotada como estratégia de desenvolvimento de novos produtos. Nesse sentido foram realizados trabalhos com o palmiteiro juçara (Bovi; Cardoso, 1975; Bovi *et al.*, 1987a; Bovi *et al.*, 1990), com a produção de açaí no estado de São Paulo (Bovi; Cardoso, 1976; Bovi *et al.*, 1991; Bovi, 1999) com a obtenção do híbrido entre juçara e açaí (Bovi *et al.*, 1987b) e, mais recentemente, com espécies precoces e passíveis de cultivo adensado, palmeira real australiana (Bovi *et al.*, 2003) e a pupunheira (Ferreira *et al.*, 1982; Germek *et al.*, 1981; Bovi *et al.*, 1992; Clement; Bovi, 2000; Modolo *et al.*, 2013; Tucci, 2018; Modolo *et al.*, 2020; Modolo *et al.*, 2021).

A introdução da pupunheira e adoção das tecnologias geradas para seu cultivo foi uma importante e sustentável inovação agrícola e, em grande parte, responsável pela redução de extrativismo de palmeiras nativas no estado de São Paulo. De acordo com Anefalos *et al.* (2012), considerando a pesquisa com a pupunheira e analisando os parâmetros técnicos do cultivo, relativos ao alto controle da erosão do solo, redução da compactação do solo, uso racional de fertilizantes químicos e orgânicos, maior conscientização da necessidade de irrigação em regiões de baixa precipitação pluviométrica, fica evidente que houve significativa agregação de conhecimento pelos agricultores sobre o cultivo dessa

espécie. De maneira geral, houve impacto ambiental positivo no Litoral e no Vale do Ribeira, locais de maior concentração de áreas produtoras.

Na área de produção de palmito, as ações prioritárias da pesquisa do IAC concentram-se na continuidade ao programa de melhoramento de pupunheira iniciado na década de 1980, com seleção de progênies mais adaptadas ao cultivo em São Paulo, em regiões com e sem déficit hídrico. Na busca por outros sabores de palmito oriundos de espécies de palmeiras que sejam propícias para cultivo adensado e com produção precoce está sendo estudado o gênero *Roystonea*. Além do consagrado uso ornamental, algumas espécies desse gênero possuem rápido crescimento e apresentam palmito de coloração branca. O projeto foi financiado pela FAPESP e seu objetivo foi avaliar o potencial agrônomo, industrial e econômico de quatro espécies de *Roystonea* para produção de palmito, bem como as propriedades organolépticas do produto in natura e processado. O estudo envolveu uma equipe multidisciplinar com pesquisadores do IAC, do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e da APTA Regional de Pariquera-Açu, todos órgãos vinculados à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Os resultados apontaram que todas as quatro espécies de *Roystonea* apresentaram crescimento rápido e possibilidade de colheita com dois anos, sendo uma nova opção de cultivo para produção de palmito.

Dessa forma, com relação a essa cadeia produtiva, o IAC tem buscado

entender as suas demandas e gargalos, para trazer novas tecnologias e novas opções para o mercado para, inclusive, aprimorar seus pacotes tecnológicos, fomentando a adoção de tecnologias junto ao setor e, agregando, de forma contínua e positiva, crescentes impactos socioeconômicos e ambientais para a cadeia como um todo.

Seleção e sistema de produção de plantas aromáticas, condimentares e medicinais

As plantas aromáticas, condimentares e medicinais, são estudadas desde a década de 1932 no Instituto Agrônomo. Dentre as espécies estudadas ao longo dessas décadas podemos destacar o fumo, urucum, camomila, mentas, *pfaffia*, alecrim, manjerição, gerânio, lavanda, melaleuca, palmarosa, babosa, etc. Seleção de genótipos superiores, melhoramento vegetal de algumas dessas espécies e estudos de adaptabilidade em diferentes condições edafoclimáticas, foram e são realizados, assim como, sistemas de produção para essas espécies.

Há que se destacar o trabalho de seleção de genótipos de urucum, para obtenção de corante natural, geranilgeraniol e tocotrienol, substâncias fitoterápicas de grande importância para uso medicinal. O urucum (*Bixa orellana* L.) é originário do Bioma Amazônia e tem se adaptado muito bem ao cultivo em outros biomas como, por exemplo, o Bioma Mata Atlântica predominante no estado de São Paulo. O Brasil é o principal produtor mundial de urucum

com 12.252 toneladas, sendo o estado de São Paulo o principal produtor nacional. (IBGE, 2021).

No estado de São Paulo estão localizadas as principais empresas extratoras do corante natural. Esse produto tem como base um carotenoide chamado bixina que se encontra localizado no arilo da semente. A produção do urucum é realizada, principalmente, por pequenos agricultores. No estado de São Paulo, a principal região produtora é a Nova Alta Paulista, com destaque para os municípios de Monte Castelo, São João do Pau D'Alho, Tupi Paulista, Santa Mercedes e Junqueirópolis.

As mudanças climáticas poderão causar um deslocamento da cultura

para regiões onde atualmente não é cultivado o urucum. Com exigências climáticas, o cultivo de urucum apresenta maior produtividade em ambientes com temperaturas variando de 16 a 28 °C e necessita, em média, de 1.280 mm por ano de água bem distribuídos. Temperaturas abaixo ou acima das referenciadas são prejudiciais ao desenvolvimento da planta, bem como da produção de frutos e formação das sementes (Figura 3). Além dos aspectos fitossanitários, poderá haver alterações e/ou agravamento de pragas e doenças já existentes, assim como, o surgimento de novos patógenos, interferindo diretamente na adaptação e produtividade desse cultivo nas suas regiões produtoras.



Figura 3. Plantação de urucum: detalhes dos frutos e sementes após a colheita e beneficiamento.

Programa de melhoramento genético de flores e plantas ornamentais

O IAC é uma das mais importantes instituições de pesquisa agrícola no Brasil, com um longo histórico de trabalho em diversas áreas, incluindo a floricultura e plantas ornamentais.

Desde a sua fundação, em 1887, o IAC vem se dedicando ao desenvolvimento de tecnologias e conhecimentos para a produção de plantas ornamentais de alta qualidade e adaptadas às condições climáticas e de solo do país, sendo uma das Instituições pioneiras em pesquisa com inúmeras variedades e espécies

de flores e plantas ornamentais. Essas culturas agrícolas são importantes para o bem-estar das pessoas, pois conferem beleza e leveza aos ambientes, auxiliando em um estilo de vida mais saudável e sustentável.

As áreas de pesquisas mais importantes do IAC em floricultura e plantas ornamentais são: melhoramento genético e seleção de variedades superiores, estudos fitotécnicos de desenvolvimento e propagação de plantas e estudos pós-colheita para manutenção e prolongamento da qualidade das plantas. A pesquisa realizada em floricultura e plantas ornamentais pelo Centro de P&D de Horticultura é de fundamental importância para um mercado nacional em franco desenvolvimento e que exige plantas com altos padrões de qualidade e características uniformes.

As pesquisas desenvolvidas pelo IAC ultrapassam as fronteiras paulistas, sendo realizados estudos em diferentes regiões do país, levando em conta as características climáticas e de

solo de cada região. A Instituição tem desenvolvido tecnologias e práticas de cultivo que permitem o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção.

Dentre as espécies já pesquisadas, pode-se destacar: margaridas, rosas, crisântemos, alstroemérias, amarílis, antúrios, gladiolos, hemerocales, helicônias, costus, bastão-do-imperador, gengibre ornamental, entre outras. Ao longo dos anos foram realizadas inúmeras pesquisas para atender as demandas do setor produtivo e foram desenvolvidas 48 cultivares de flores e plantas ornamentais, entregues ao setor produtivo, além de inúmeras publicações técnico-científicas de grande relevância. Na figura 4 pode-se observar algumas dessas cultivares desenvolvidas pelo IAC. Assim, como as demais espécies hortícolas, as plantas ornamentais sofreram, também, com as alterações climáticas, necessitando de estudos e adaptações para viabilizar os sistemas produtivos em diferentes regiões.



Figura 4. Cultivares de plantas ornamentais desenvolvidas pelo IAC.

Sistemas de produção: conservação do solo e da água na produção de hortaliças

Os sistemas de produção de hortaliças têm sido realizados de forma intensiva, ocupando áreas menores em relação às grandes culturas como, por exemplo, as dos cereais. Por outro lado, é de extrema relevância a adoção de métodos de cultivos para conservação do solo, com a incorporação de tecnologias de ponta e técnicas adequadas de manejo do solo.

A partir do processo erosivo do solo, pode ocorrer, conjuntamente, o assoreamento, processo de carreamento do solo erodido em direção às fontes de recursos hídricos. Como consequência, pode haver a eliminação das nascentes de água, pode comprometer o fluxo natural da água dos rios e o serviço ecossistêmico de lagos e represas e, também, a eutrofização. Esse fenômeno ocasiona aumento na concentração de nutrientes na água, provenientes da fertilização dos cultivos e que foram carregados pela enxurrada das chuvas até as fontes hídricas, reduzindo a qualidade e a atividade biológica dos recursos hídricos.

As áreas de plantio de hortaliças, em geral, estão situadas próximas a fontes de recursos hídricos, para garantir a irrigação dos cultivos que são altamente exigentes em água e para que o processo produtivo tenha elevada produtividade e qualidade necessárias para prover atividade mais sustentável ao produtor de hortaliças e para atender à demanda do mercado consumidor. Por isso, é imprescindível

a adoção dos princípios da agricultura conservacionista, de forma conjunta e sistemática pelos produtores de cada região, como técnicas conservacionistas do solo, terraceamento da área, plantio em nível, direcionamento adequado da água pluvial e proteção dos carreadores com bacias de contenção e proteção vegetativa. A partir desses preceitos, em consonância com o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas às mudanças climáticas, pode-se promover as condições necessárias para o desenvolvimento sustentável da produção hortícola.

Os conceitos da agricultura conservacionista são orientados por três fundamentos agronômicos: preparo mínimo ou plantio direto para estabelecimento dos cultivos, manutenção permanente de resíduos vegetais na superfície do solo e rotação de culturas. A partir de sua adoção é possível se obter elevados índices de redução de erosão do solo, em torno de 95% ou mais de eficiência conservacionista.

Dessa forma, o cultivo de hortaliças em método conservacionista tem sido cada vez mais adotado por produtores que buscam, além de reduzir o processo erosivo, melhorar as condições de fertilidade química, física e biológica do solo. Dessa maneira, o produtor aumenta a complexidade do sistema produtivo por adotar novas tecnologias que envolvem maquinários adequados ao plantio direto e/ou cultivo mínimo do solo, diversificar sua habilidade no cultivo de outras espécies como cereais e plantas de cobertura que entram no processo de rotação de culturas.

Outra recomendação técnica aliada ao método conservacionista é a possibilidade de manter permanentemente resíduos vegetais na superfície do solo e a presença de raízes ativas no solo. Isso faz com que a capacidade biológica do solo seja potencializada, devido à atividade simbiótica de microrganismos com a exsudação radicular.

Além da redução do processo erosivo, proteção dos recursos hídricos e melhoria da qualidade da água, diversos benefícios agroecológicos são alcançados com adoção dos conceitos conservacionistas, tais como reciclagem de nutrientes, aumento na matéria orgânica do solo e da atividade biológica, supressão de plantas daninhas e a melhoria no armazenamento e infiltração de água do solo.

Dessa forma, os benefícios agroecológicos poderão se tornar cada vez mais evidentes, possibilitando aumentar a resiliência dos cultivos às incertezas climáticas e, também, à conversão da utilização de defensivos químicos para biológicos, de fertilizantes químicos para orgânicos. A transição completa para agricultura agroecológica poderá proteger, de forma mais efetiva, a biodiversidade do planeta e melhorar a qualidade de vida dos produtores rurais e dos alimentos para a sociedade.

Trabalhos de pesquisas científicas e tecnológicas realizadas pelo Instituto Agrônomo e pelos demais Institutos da APTA têm gerado tecnologias com o intuito de subsidiar a adoção da agricultura conservacionista

pelos olericultores do estado de São Paulo. Assim, plantios como os do tomate, alface, berinjela, pimentão e cebola podem ser cultivados com grande possibilidade de êxito, com produtividade adequada, redução da emissão de gases de efeito estufa e dos custos de produção e benefícios ecossistêmicos. A partir da incorporação desses métodos, novas oportunidades poderão estar mais acessíveis aos produtores, passíveis de certificações como, Global Good Agricultural Practices (Global G.A.P.) e Regenerative Organic Certified™ (ROC) e, também, com acesso a créditos adicionais, como do programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) do Governo Federal e recursos financeiros, como Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

Cultivo protegido, *indoor* e aeroponia para espécies hortícolas

No contexto de mudanças climáticas e de seus efeitos, novas tecnologias para os sistemas de produção protegidos (estufas agrícolas e casas de vegetação) ou *indoor* são estratégicas para prover material de propagação de alta sanidade e a sustentabilidade, com incremento efetivo na produção de alimentos, com eficiência no uso de recursos naturais, para melhor atender às demandas do mercado (Purquerio *et al.*, 2016; Purquerio *et al.*, 2018; Martin; Molin, 2019).

O cultivo protegido, em estufas agrícolas ou casas de vegetação, se caracteriza pela construção de uma estrutura, para a proteção das plantas contra os agentes meteorológicos, que permite a passagem da luz, já que esta

é essencial à realização da fotossíntese. Esse é um sistema de produção agrícola especializado, que possibilita certo controle das condições edafoclimáticas como: temperatura, umidade do ar, radiação, solo, vento e composição atmosférica. A partir do controle parcial das condições edafoclimáticas é possível a realização de cultivos em épocas que normalmente não seriam escolhidas para a produção ao ar livre. Como fatores adicionais, relativos ao uso desse sistema, podem ser relacionados: redução na utilização de água, a partir de uso mais eficiente de sistemas de irrigação poupadores, com gotejamento, microaspersão, hidroponia e, até mesmo, aeroponia; melhor aproveitamento dos recursos de produção (nutrientes, luz solar e CO₂), resultando em precocidade de produção, com redução do ciclo da cultura; diminuição no uso de insumos, como fertilizantes (fertirrigação) e defensivos (Purquerio *et al.*, 2014).

Segundo dados do Comitê Brasileiro de Desenvolvimento e Aplicação de Plásticos na Agricultura (COBAPLA), estima-se que a produção em ambiente protegido no Brasil ocupa cerca de 30 mil hectares. De acordo com dados do Levantamento Censitário LUPA, o estado de São Paulo detém 50% da área nacional de cultivo em ambiente protegido. Atualmente, as principais cadeias produtivas que utilizam o cultivo protegido são: floricultura (20%), fruticultura (20%) e olericultura (60%) (Bliska, 2018).

O cultivo *indoor* tem se difundido nos últimos anos, por conta do seu potencial produtivo e uso eficiente dos

recursos naturais. Trata-se do cultivo de plantas em um ambiente fechado, com luz artificial (total ou complementar), temperatura e fornecimento de água controlados, não estando sujeito a adversidades climáticas. O cultivo *indoor* em maior escala, nas chamadas *plant factories*, possui vantagens sobre o sistema convencional de produção, a saber: maior produtividade, redução do ciclo de cultivo, redução do uso de recursos naturais, como a água.

Por ser muito recente, a configuração e a otimização de protocolos específicos para o cultivo *indoor* são etapas importantes para melhorar a sustentabilidade desses sistemas, que dependem do uso eficiente de energia, água e fertilizantes (Loconsole *et al.*, 2019). Dentro desses protocolos, o fornecimento adequado de luz é um fator-chave para garantir maior produtividade e qualidade nutricional dos vegetais (Bian *et al.*, 2018).

Os diodos emissores de luz (LEDs) são utilizados para essa finalidade, como fonte complementar ou única de iluminação no cultivo de plantas em ambiente fechado. Com a rápida redução nos preços, verificada nos últimos anos, os LEDs tornaram-se uma opção de iluminação artificial competitiva (Massa *et al.*, 2008). Patisson *et al.* (2018) estudaram a viabilidade econômica do cultivo *indoor* em função do fluxo de fótons por massa seca produzida e concluíram que hortaliças de ciclo rápido, principalmente as folhosas, são muito favoráveis à produção nesse sistema de cultivo. Os LEDs oferecem diversas vantagens sobre a iluminação artificial

convencional (lâmpadas de sódio e lâmpadas fluorescentes), incluindo o consumo mínimo de eletricidade, baixa geração de calor e tamanho pequeno, possibilitando sua aplicação nos sistemas de cultivo *indoor* (Bourget, 2008; Massa *et al.*, 2008). Além dessas lâmpadas emitirem baixo calor radiante, seu baixo consumo elétrico, também, é importante em termos ambientais, com redução de até 80% no consumo de energia elétrica. Mesmo depois de 50.000 horas, a lâmpada LED ainda mantém 70% da sua iluminação original (Morrow, 2008).

Os LEDs também permitem selecionar e combinar diferentes comprimentos de ondas de acordo com a cultura de interesse (Massa *et al.*, 2008; Morrow, 2008). É provável que no futuro os sistemas de iluminação possam reduzir o ataque de insetos, doenças ou patógenos, bem como gerar produtos mais ricos em vitaminas e minerais (Massa *et al.*, 2008).

Atualmente, o IAC é uma liderança nesse segmento de pesquisa, para produção de microverdes e *baby leaf* com iluminação artificial de LED, além de outras plantas de alto valor agregado como as mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Paralelamente, a partir do início da instalação do Laboratório *Indoor* no IAC, em 2021, estão sendo desenvolvidos protótipos de estantes, de caixas aeropônicas, entre outras estruturas/equipamentos, necessárias para a produção *indoor*. Além disso, foi criado pelo IAC o fórum oficial de discussão do tema - Workshop Urban Farming (WUF), com a participação efetiva do setor

produtivo, especialmente de empresas e organizações interessadas nessa vertente tecnológica. Em 2023 foi realizada a terceira edição desse relevante evento internacional.

Como desdobramento da utilização de iluminação artificial em ambiente protegido, há que se mencionar os benefícios do cultivo aeropônico, cujo desenvolvimento tecnológico, também, tem participação efetiva do IAC. Sua característica principal é a de fornecer solução nutritiva às raízes das plantas, por nebulização de pequenas gotículas (5 a 100 μm). Na aeroponia não há o uso de solo, sendo que as plantas ficam suspensas no ar, em um ambiente escuro. Nesse sistema não há nenhum tipo de impedimento físico para o crescimento do sistema radicular. As raízes recebem 100% do oxigênio disponível, o que favorece o seu desenvolvimento e a produtividade das culturas (Prastowo *et al.* 2007; Buckseth *et al.*, 2016), com economia de água ou solução nutritiva, que pode chegar a 95% do verificado no sistema convencional. Para a cultura da batata, visando a produção de miniturbérculos semente, o IAC foi pioneiro e a primeira unidade em tamanho comercial no Brasil foi desenvolvida por seus pesquisadores, com financiamento da FAPESP (12/50786-8) (Buckseth *et al.*, 2016; Calori *et al.*, 2017; Calori *et al.*, 2018; Calori *et al.*, 2021). Para outras culturas hortícolas, também, têm sido obtidos bons resultados quanto à produtividade, como por exemplo, para tomate (Komosa *et al.*, 2014), alface, pepino, morango (Massantini, 1977; Giacomelli, 1989; Repetto *et al.*, 1994), couve-chinesa (Prastowo *et al.*,

2007), plantas aromáticas e medicinais (Christie; Nichols, 2004; Hayden, 2006).

Dessa forma, para suplantar os desafios atuais e futuros, enfrentados pela agricultura brasileira, deverá haver intensificação na atuação de equipes multidisciplinares de pesquisa, para que possam ser aprimorados os sistemas produtivos, com foco cada vez maior na ampliação de sistemas de cultivo com alta produtividade e para produção de alimentos com excelente qualidade, visando o fortalecimento da nutrição humana, em um cenário de população crescente e mudanças climáticas.

Referências

ABBA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. 2006. Disponível em <https://www.abbabatatabrasileira.com.br>.

ALVES, A. A. C. Physiological and developmental changes in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under water deficit. 1998. 160 p. Thesis (PHD) - Cornell University, Ithaca, 1998.

ANEFALOS, L. C.; MODOLO, V. A.; TUCCI, M. L. S. Expansion of peach palm cultivation in the Ribeira Valley, São Paulo State, 2002-2006. **Informações Econômicas**, v. 37, p. 37-43, 2007.

ANEFALOS, L. C.; MODOLO, V. A.; TUCCI, M. L. S. Social and Environmental Indicators of the Peach Palm (*Bactris gasipaes* Kunth) Research in São Paulo State, Brazil. **Revista do Instituto Florestal**, v. 24, p. 7-19, 2012.

ANEFALOS, L. C.; MODOLO, V. A.; TUCCI, M. L. S.; OLIVEIRA, A. F. de; SPIERING, S. H. Análise dos impactos econômicos dos investimentos nas pesquisas tecnológicas relativas ao cultivo da pupunheira para palmito no Estado de São Paulo, 1995 a 2012. **Informações Econômicas**, v. 47, n. 4, p. 19-30, 2017.

BANCO DE ALIMENTOS. **Você conhece o conceito de Insegurança Alimentar?** 13 abr. 2023. Disponível em: <https://bancodealimentos.org.br/voce-conhece-o-conceito-de-inseguranca-alimentar/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

BIAN, Z.; CHENG, R.; WANG, Y.; YANG, Q.; LU, C. Effect of green light on nitrate reduction and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) under short-term continuous light from red and blue light-emitting diodes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 153, n. 1, p. 63-71, 2018.

BLISKA, A. **Past, present and future of agricultural plastic in Brazil**. In: CONGRESSO DO COMITÊ INTERNACIONAL DE PLÁSTICOS NA AGRICULTURA, 29, 2018, Bordeaux, França.

BOURGET, C. M. An Introduction to Light-emitting Diodes. **American Society for Horticultural Science**, v. 43, p. 1944-1946, 2008.

BOVI, M. L. A.; CARDOSO, M. Germinação de Sementes de Palmito (*Euterpe edulis* Mart.). **Bragantia**, v. 34, p. 24-34, 1975.

BOVI, M. L. A.; CARDOSO, M. Germinação de Sementes de Açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). **Bragantia**, v. 35, p. 91-97, 1976.

BOVI, M. L. A.; SÁES, L. A.; CARDOSO, M.; CIONE, J. Densidade de plantio de palmito (*Euterpe edulis* Mart.) em regime de sombreamento definitivo. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 2, p. 329-341, 1987a.

BOVI, M. L. A.; GODOY JÚNIOR, G.; SAES, L. A. Híbridos interespecíficos de palmito (*Euterpe oleracea* x *Euterpe edulis*). **Bragantia**, v. 46, n. 2, p. 343-363, 1987b.

BOVI, M. L. A.; GODOY JÚNIOR, G.; NAGAI, V.; CARDOSO, M. Densidade de plantio de palmito em consórcio com seringueiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 7, p. 1023-1029, 1990.

BOVI, M. L. A.; GODOY JÚNIOR, G.; SPIERING, S. H.; CAMARGO, S. B. Correlações fenotípicas entre caracteres avaliados nos estádios juvenil e adulto de açaizeiros. **Bragantia**, v. 50, n. 1, p. 321-334, 1991.

BOVI, M. L. A.; GODOY JÚNIOR, G.; VAL, M. R.; MIYAO, L.; CAMARGO, S. B.; VICENTE, E. N.; DIAS, G. S. Eficiência de métodos de semeadura de palmito: efeitos na emergência, sobrevivência e vigor das plantas. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 573-582, 1992.

BOVI, M. L. A. Resultados de pesquisa referentes à exploração, manejo e cultivo do açaizeiro. In: MOURÃO, L.; JARDIM, M. A. G.; GROSSMANN, M. (eds.). **Açaí: possibilidades e limites em processos de desenvolvimento sustentável no estuário amazônico**. Belém: Editora CEJUP, 1999. p. 63-92.

BOVI, M. L. A.; RESENDE, M. D. V.; SPIERING, S. H. Genetic parameters estimation in King palm through a mixed mating system model. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 93-98, 2003.

BUCKSETH, T.; SHARMAN, A. K.; PANDEY, K. K.; SINGH, B. P.; MUTHURAJ, R. Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics - A review. **Scientia Horticulturae**, v. 204, p. 79-87, 2016.

BURTON, W. G. Challenges for stress physiology in potato. **American Potato Journal**, v. 58, p. 3-14, 1981.

CALORI, A. H.; FACTOR, T. L.; FELTRAN, J. C.; WATANABE, E. Y.; MORAES, C. C.; PURQUERIO, L. F. V. Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring). **Bragantia**, v. 76, p. 23-32, 2017.

CALORI, A. H.; FACTOR, T. L.; FELTRAN, J. C.; WATANABE, E. Y.; MORAES, C. C. de; PURQUERIO, L. F. V. Seed potato minituber production in an aeroponic system under tropical conditions: electrical conductivity and plant density. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, p. 2200-2209, 2018.

CALORI, A. H.; FACTOR, T. L.; FELTRAN, J. C.; ARAUJO, H. S.; PURQUERIO, L. F. V. Can nitrogen reduction be used to increase seed potato minituber production in an aeroponic system? **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, p. 1-10, 2021.

CASTRO, L. A. S.; EMYGDIO, B. M.; ABRANTES, V. L.; ROCHA, N. E. M. **Acessos de batata-doce do banco ativo de germoplasma da EMBRAPA Clima Temperado, com potencial de produção de biocombustível**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2008. 26 p. (Documentos 258)

CHRISTIE, C. B.; NICHOLS, M. A. Aeroponics - a production system and research tool. South Pacific Soilless Culture Conference. **Acta Hort.**, v. 648, p. 185-190, 2004.

CLEMENT, C. R.; BOVI, M. L. A. Padronização de medidas de crescimento e produção em experimentos com pupunheira para palmito. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 3, p. 349-362, 2000.

DENYER, K; HYLTON, C. M.; SMITH, A. M. The effect of high temperature on starch synthesis and the activity of starch synthase. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 21. p. 783-789, 1994.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO statistical data base**. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 4 abr. 2023.

FERNANDES, A. *et. al.* **Sistema de Produção de Batata**. EMBRAPA Hortaliças. Sistemas de Produção, 8. Versão Eletrônica. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortaliças/batata/clima>. Acesso em: 1 maio 2023.

FERREIRA, V. L. P.; GRANER, M.; BOVI, M. L. A.; DRAETTA, I. S.; PASCHOALINO, J. E.; SHIROSE, I. I. Comparação entre os

palmitos de *Guilielma gasipaes* Bailey (pupunha) e *Eutepedulis* Mart. (juçara). I. Avaliações físicas, organolépticas e bioquímicas. **Coletânea do ITAL**, v. 12, p. 255-272. 1982.

FONTES, P. C. R.; FINGER, F. L. Dormência dos tubérculos, crescimento da parte aérea e tuberização da batateira. **Informe Agropecuário**, v. 20, p. 24-29, 1999.

GARG, M.; SHARMA, N.; SHARMA, S.; KAPOOR, P.; KUMAR, A.; CHUNDURI, V.; ARORA, P. Biofortified crops generated by breeding, agronomy, and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world. **Frontiers in Nutrition**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012>. Acesso em: 20 jan. 2022.

GERMEK, E. B.; ARRUDA, H. V.; SANTOS, R. R.; CIONE, J.; SCARANARI, H. J.; MARTINS, F. P. Comportamento da palmeira pupunha (*Guilielma gasipaes* L. H. Bailey) em três localidades do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 6., 1981, Recife. **Anais** [...]. Recife: SBF, 1981. p. 1119-1206.

GIACOMELLI, G. A. Fog for aeroponic plant production. **Soil. Cult.**, v. 1, p. 13-22, 1989.

HAVERKORT, A. J.; VERHAGEN, A. Climate change and its repercussions for the potato supply chain. **Potato Research**, v. 51, p. 223-237. Disponível em: <https://bancodealimentos.org.br/voce-conhece-o-conceito-de-inseguranca-alimentar/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

HAYDEN, A. L. Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome and root crops. **HortScience**, v. 41, p. 536-538, 2006.

HOOKER, J. F. (ed.). **Compendium of potato diseases**. 4. ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 1990. 125 p.

HUGHES, J. C. Factors influencing the quality of ware potatoes. 2. Environmental factors. **Potato Research**, v. 17, p. 512-547, 1974.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: abr. 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agropecuária**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2020**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>. Acesso em: 22 ago. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agropecuária**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producaoagropecuaria/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

IDIS - INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DO INVESTIMENTO SOCIAL. **O que são ODS e o que eles têm a ver com impacto social**. Disponível em: <https://www.idis.org.br/o-que-sao-ods-e-o-que-eles-tem-a-ver-com-impacto-social/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

KHEDHER, M. B.; EWING, E. E. Growth analysis of eleven potato cultivars grown in the greenhouse under long photoperiods with and without heat stress. **American Potato Journal**, v. 62, p. 537-554, 1985.

KOMOSA, A.; KLEIBER, T.; MARKIEWICZ, B. The effect of nutrient solutions on yield and macronutrient status of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in aeroponic and rock wool culture with or without recirculation of nutrient solution. **Acta Scientiarum Polonorum**, v. 13, p. 163-177, 2014.

LIMA, R.; FERREIRA, H. S.; CAVALCANTE, A. L.; SANTOS, L. G. M.; VIEIRA, R. C. S.; ASSUNÇÃO, M. L. Coverage and educational actions related to the national vitamin A supplementation program: a study in children from the state of Alagoas. **Jornal de Pediatria**, v. 96, p. 184-192, 2020.

LOCONSOLE, D.; COCETTA, G.; SANTORO, P.; FERRANTE, A. Optimization of led lighting and quality evaluation of romaine lettuce grown in an innovative indoor cultivation system. **Sustainability**, v. 11, n. 3, p. 841, 2019.

LOPES, C. A.; SILVA, G. O.; CRUZ, E. M.; ASSAD, E.; PEREIRA, A. S. Uma análise do efeito do aquecimento global na produção de batata no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 7-15, 2011.

MARINUS, J.; BODLAENDER, K. B. A. Response of some potato varieties to temperature. **Potato Research**, v. 18, p. 189-201, 1975.

MARTIN, M.; MOLIN, E. Environmental Assessment of an Urban Vertical Hydroponic Farming System in Sweden. **Sustainability**, v. 11, n. 15, 4124, 2019.

MASSA, G. D.; KIM, H. H.; WHEELER, R. M.; MITCHELL C. A. Plant productivity in response to LED lighting. **HortScience**, v. 43, p. 1951-1956, 2008.

MASSANTINI, F. The light and dark sides of aeroponics. **Soil. Cult.**, v. 1, p. 85-96, 1985.

MENEZES, C. B.; PINTO, C. A. B. P.; NURMBERG, P. L.; LAMBERT, E. S. Avaliação de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) nas safras "das águas" e de inverno no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, p. 776-783. 1999.

MODOLO, V. A.; TUCCI, M. L. S.; ANEFALOS, L. C. Commercial growing of peach palms for heart-of-palm production. **Acta Horticulturae**, p. 73-80, 2013.

MODOLO, V. A.; FERREIRA, L. N.; SPIERING, S. H.; ERISMANN, N. M. Spear leaf in determining the harvest timing of peach palm heart. **Horticultura Brasileira**, v. 38, p. 356-362, 2020.

MODOLO, V. A.; MARTINS, A. L. M.; PANTANO, A. P.; ERISMANN, N. M.; PIRAMO, I. F.; SOUZA, J. B. L.; SILVERIO, C. M. Reproductive phenology of peach palms (*Bactris gasipaes* KUNTH, ARECACEAE) growing in São Paulo State. **Revista do Instituto Florestal**, v. 33, p. 89-103, 2021.

MORROW, R. C. LED lighting in horticulture. **HortScience**, v. 43, p. 1947-1950, 2008.

NEW-AGRICULTURIST. **Climate change**: can potato stand the heat? 2008. Disponível em: www.new-ag.info/08/05/focuson/focuson2.php.

PATTISON, P. M. *et al.* LEDs for photons, physiology and food. **Nature**. v. 563, p. 493-500, 2018.

PERESSIN, V. A.; FELTRAN, J. C. Batata-doce: *Ipomoea batatas* (L.) Lam. In: AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S. (eds.). **Boletim 200**: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 7. ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. p. 59-61.

PERESSIN, V. A.; FELTRAN, J. C.; RÓS, A. B.; FERNANDES, A. M. (eds.). **A cultura da batata-doce**. Campinas: Instituto Agronômico, 2022. 127 p.

PORTER, J. R.; XIE, L.; CHALLINOR, A. J.; COCHRANE, K.; HOWDEN, S. M.; IQBAL, M. M.; LOBELL, D. B.; TRAVASSO, M. I. Food security and food production systems. In IPCC. **Climate Change 2014**: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK and New York, USA, Cambridge University Press, 2014. p. 485-533.

PRANGE, R. K.; MCRAE, K. B.; MIDMORE, E. D. J.; DENG, R. Reduction in potato growth at high temperature: role of photosynthesis and dark respiration. **American Potato Journal**, v. 67, p. 357-369, 1990.

PRASTOWO, P.; HARDJOAMIDJOJO, S.; LAELASARI, N. Irrigation efficiency and uniformity of aeroponics system a case study in parung hydroponics farm. **Jurnal Keteknik Pertanian**, v. 21, p. 127-134, 2007.

PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W. Cultivo protegido: porque utilizar, manejo do ambiente e cuidados com a fertilização. In: ZAMBROSI, F. C. B.; FIGUEIREDO, G. B.; PURQUERIO, L. F. V.; BLANCO, M. C. S. G.; SOUZA, M. M. S.; KONRAD, M.; MAIA, N. B.; BOVI, O. A.; TRANI, P. E.; FURLANI, P. R.; TIVELLI, S. W.; FACTOR, T. L.; MODOLO, V. A. (orgs.). **Projeto Hortalimento e o Cultivo em Ambiente Protegido**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. p. 11-31.

PURQUERIO, L. F. V.; CALORI, A. H.; MORAES, L. A. S.; FACTOR, T. L.; TIVELLI, S. W. Produção de baby leaf em bandejas utilizadas para produção de mudas e em hidroponia NFT. In: NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA, R. B. (eds.). **Produção de mudas de hortaliças**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2016. p. 221-253.

PURQUERIO, L. F. V. *et al.* Bioeconomia: Promoção da horticultura urbana do século XXI. **O Agrônomo**, v. 70, p. 6-18, 2018.

REPETTO, O. A.; CADINU, M.; LEONI, S. The effect of plant position on root development and vegetative growth in aeroponic lettuce. **Acta Hort.**, v. 361, p. 603-611, 1994.

ROSSEL, G. **Cultivated sweetpotato germplasm collection**. Disponível em: <https://cipotato.org/genebankcip/process/sweetpotato/sweet-cultivated/>. Acesso em: 9 mar. 2022.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças. 2008.

Versão Eletrônica. Sistemas de Produção 6. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355126/8971369/Sistema+de+Produ%C3%A7%C3%A3o+de+Batata-Doce.pdf/4632fe60-0c35-71af-79cc-7c15a01680c9>. Acesso em: 11 mar. 2022.

STATISTA. **Sweet potato production worldwide from 2010 to 2019**. 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/812343/global-sweet-potato-production>. Acesso em: 26 set. 2021.

TIMLIN, D.; LUTFOR RAHMAN, S. M.; BAKER, J.; REDDY, V. R.; FLEISHER, D.; QUEBEDEAUX, B. Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 1195-1203, 2006.

TUCCI, M. L. S.; MACHADO, E. C.; MODOLO, V. A.; ERISMANN, N. M. Photosynthesis and water relations of peach palms (*Bactris gasipaes* Kunth) under soil water deficit. **Theor. Exp. Plant Physiol.**, v. 30, p. 29-39, 2018.

VENDRAME, L. P. C.; MELO, R. A. C. (eds.). **Como plantar batata-doce**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças. 2021. Versão Eletrônica. Sistemas de Produção 9. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/como-plantar-batata-doce>. Acesso em: 11 mar. 2022.

WREGGE, M. S.; HERTER, F. G.; PEREIRA, A. S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; BRAGA, H. J.; PANDOLFO, C.; MATZENAUER, R.; CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; FERREIRA, J. S. A.; SANS, L. M. A. **Caracterização climática das regiões produtoras de batata no Brasil**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado. 35 p. 2004. (Documentos 133)



RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS

Desafios Tecnológicos da Agricultura
Sustentável para Garantir Segurança
Alimentar e Energética: Visão
Estratégica do Centro de Recursos
Genéticos Vegetais

Daniela de Argollo Marques*, Carlos Augusto
Colombo, Cássia Regina Limonta Carvalho, Jorge
Maurício Costa Mondego, Juliana Rolim Salomé
Teramoto, Luciana Lasry Benchimol, Márcia Ortiz
Marques, Neiva Isabel Pierozzi, Rose Marry Araújo
Gondim Tomaz

*daniela.marques@sp.gov.br

Estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU) apontam que até 2050 seremos mais de 9,7 bilhões de pessoas no mundo. Isso significa um aumento acentuado na demanda por alimentos e energia, o que exigirá um crescimento de cerca de 70% na produção agrícola global. Por outro lado, o mundo se depara com a drástica redução dos recursos naturais e com intensas mudanças climáticas decorrentes do contínuo processo de degradação do meio ambiente, o que vem ameaçando a agricultura mundial. Nesse cenário, a humanidade tem caminhado para a pior crise alimentar e energética de todos os tempos, acentuada, recentemente, pelos impactos da pandemia de COVID e pelos conflitos militares vigentes em países detentores de combustíveis fósseis e fertilizantes.

Atender às necessidades da crescente sociedade moderna garantindo segurança alimentar e energética sempre foi um grande desafio para o mundo e o seu enfrentamento costuma resultar na criação de soluções inéditas. Diferentemente das crises vivenciadas no século passado, cujas soluções tecnológicas basearam-se na Revolução Verde, o desafio do século XXI é ainda maior, uma vez que consiste em aumentar a produção agrícola sem aumentar os impactos negativos ao meio ambiente. Assim, é estratégico investir em pesquisa científica visando o diagnóstico de problemas e proposição de soluções com base em tecnologias agrícolas sustentáveis para a construção de uma agricultura circular, regenerativa e descarbonizada, mais eficiente

ambiental e economicamente. Essa abordagem se baseia na exploração precisa e com mínimo desperdício dos recursos naturais; no uso de fontes renováveis de energia em substituição as não renováveis e na máxima reciclagem de resíduos agrícolas para a geração de subprodutos com valor agregado. Prioriza-se, também, a redução da poluição do ar, da terra e da água com benefícios à saúde humana e ao meio ambiente.

O Brasil destaca-se como grande *player* internacional no fornecimento de alimentos com qualidade e em quantidades suficientes para alimentar grande parte da população mundial de forma sustentável. Isso porque o país conta com a maior biodiversidade do planeta, abundância de recursos naturais, 50% da matriz energética renovável, rígidas leis ambientais, grande capacidade técnica e qualificada pesquisa agrícola. Seus institutos de pesquisa, com destaque ao centenário Instituto Agrônomo (IAC), de Campinas, sempre estiveram na vanguarda do desenvolvimento tecnológico para o setor, antevendo futuras ameaças, planejando e propondo ações estratégicas para mitigar as crises vigentes. O corpo técnico multidisciplinar do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento de Recursos Genéticos Vegetais (CRGV) do IAC vem contribuindo nesse processo por meio do desenvolvimento e aplicação de modernas biotecnologias das áreas de biologia molecular e cultura de tecidos bem como técnicas fitoquímicas e citogenéticas para a geração de novos produtos e subprodutos agrícolas a partir do estabelecimento

e caracterização de bancos de germoplasma para a domesticação e/ou melhoramento genético de espécies de interesse alimentar e/ou com potencial energético, visando aumento de produtividade e/ou qualidade a partir da resiliência às condições meteorológicas extremas vigentes, tais como altas temperaturas, estresse hídrico, mudanças na incidência de pragas e doenças, etc.

Estabelecimento, conservação e caracterização de germoplasma

O Brasil é conhecido como o país da “megabiodiversidade” contando com mais de 20% das espécies de seres vivos existentes em terras e águas do planeta. São mais de 116.000 espécies animais e 46.000 espécies vegetais conhecidas no país, espalhadas pelos seis biomas terrestres e três grandes ecossistemas marinhos. A extensão territorial e diversidade edafoclimática brasileira favoreceu a formação da maior floresta tropical úmida do mundo (Floresta Amazônica) e da maior planície inundada (Pantanal), além das savanas e bosques do Cerrado; das florestas semiáridas da Caatinga e tropicais-pluviais da Mata Atlântica e dos campos dos Pampas. A conservação e o uso sustentável dessa rica biodiversidade representam oportunidades e geram recursos ao país, além de garantirem a segurança alimentar e energética para além das fronteiras brasileiras. No entanto, todo esse patrimônio genético vem sendo ameaçado pelas mudanças climáticas, pelo aumento da população e expansão dos centros urbanos bem

como pelas práticas de manejo não sustentáveis.

O Brasil é o quinto país do mundo em território com vasta superfície de terra contínua apta para agricultura, com oferta abundante de água-doce, energia solar e que possui a maior reserva de biodiversidade do globo. Nossas riquezas naturais ganham maior relevância neste momento em que alterações climáticas e perda de diversidade biológica limitam a resiliência dos ecossistemas e a capacidade humana de responder às ameaças de segurança alimentar provocadas pelas mudanças climáticas. Portanto, a oportunidade que se apresenta é a de buscar o novo, o diferente, a alternativa que possa oferecer as respostas que o mundo de hoje enfrenta, encontrar soluções baseadas na natureza aplicáveis a múltiplas indústrias, pressionadas a incorporar processos limpos, descarbonizados, geradores de emprego, renda e inclusão social. A exploração sustentável da biodiversidade exige, antes de tudo, o seu conhecimento e a sua conservação. Uma ferramenta fundamental utilizada para esse fim é o banco de germoplasma, seja ele *in situ*, *ex situ* ou *in vitro*. No caso das plantas, a manutenção das espécies domesticadas e cultivadas somada ao contínuo estudo para o conhecimento de novas espécies, o desenvolvimento de novas culturas e o melhoramento genético e adaptação das espécies às condições ambientais vigentes serão os desafios a serem vencidos pelas atuais e futuras gerações, a fim de evitar problemas como fome e pobreza no mundo.

Considerando que das 350.000 espécies existentes no mundo apenas 300 são cultivadas e que dessas, apenas 15 respondem por mais de 90% da alimentação global, com somente três delas (milho, trigo e arroz) representando dois terços do total (FAO), fica ainda mais evidente a fragilidade da humanidade sob o presente cenário mundial e a iminente necessidade de diversificação e intensificação da produção de plantas alimentícias e energéticas. O Brasil abriga cerca de três mil espécies alimentícias nativas, nos diferentes biomas entre frutíferas, hortaliças, grãos e espécies produtoras de óleo, nozes, castanhas, polpas, condimentos e medicamentos. O IAC, por meio do seu CRGV, já efetuou mais de 70 mil introduções de material vegetal, nativo ou exótico, desde a década de 1930, sendo mantenedor do germoplasma de inúmeras espécies vegetais. A conservação e o constante enriquecimento, diversificação, caracterização e exploração sustentável, sob bases científicas, desse rico banco de genótipos ou genes destaca o IAC como “berço” do melhoramento genético contemporâneo de plantas no Brasil, já tendo disponibilizado à população mais de 1.100 cultivares (Colombo; Siqueira, 2017). Atualmente temos 656 cultivares registradas no MAPA.

Ciente da importância de conservar os seus recursos genéticos, além dos cuidados com seus bancos ativos de germoplasma, o IAC iniciou, recentemente, a construção de uma câmara fria em um dos prédios do CRGV, no Centro Experimental de Campinas “Fazenda Santa Elisa”, em Campinas (SP) visando a conservação

ad aeternum de sementes ortodoxas a -20 °C de temperatura, com capacidade para armazenar cerca de 60 mil acessos. Ademais, pesquisadores do CRGV também têm caracterizado agromorfológica, química e geneticamente o germoplasma do IAC.

A caracterização agromorfológica realizada no Herbário visa dar sustentação às pesquisas de novas espécies e ou cultivares. Assim, amostras herborizadas de várias plantas alimentícias convencionais (café, milho, arroz, feijão, amendoim) e não convencionais (PANC), bem como espécies nativas, incluindo as parentes silvestres das cultivadas, foram base para a caracterização e registro de cultivares IAC, como é o caso do maracujá de casca amarela e o de casca roxa. Recentemente, a caracterização agromorfológica e química de diferentes acessos de batata-doce em processo de seleção genética no IAC foi fundamental para o lançamento de seis novas cultivares, incluindo um material de polpa alaranjada e outro de polpa roxa (Figura 1A), ambos biofortificados: o primeiro, rico em carotenoides e o segundo em antocianinas. Tais novos produtos agregam valor nutricional aos alimentos contribuindo, nesse sentido, com o fortalecimento da segurança alimentar. Da mesma forma, a caracterização química de soja tem permitido a identificação de linhagens lipoxigenases triplo-nulas, ou seja, sem a isoenzima em genótipos selecionados do IAC, conferindo a esses acessos denominados “Beany flavor” (Figura 1B), um sabor leve e adocicado, ideal para consumo como hortaliças (broto e grão verde).

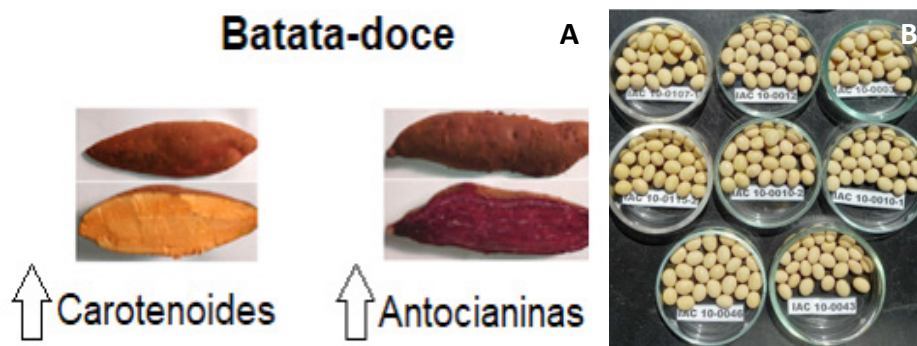


Figura 1. Batatas-doces: IAC 134 AL01 (alaranjada) e IAC Ametista (roxa) (A). Linhagens de soja Beany flavor IAC (B).

Incremento da qualidade nutricional e aproveitamento de subprodutos

Atualmente, o grande desafio da segurança alimentar é o acesso à alimentação saudável e nutricionalmente adequada. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura lidera esforços para a erradicação da fome e combate à pobreza promovendo o desenvolvimento agrícola, reforçando a agricultura e o desenvolvimento sustentável, a melhoria da nutrição e a busca pela segurança alimentar para aumentar a produção e garantir o acesso de alimentos, com preservação dos recursos naturais. O valor estimado do impacto da má nutrição na economia mundial alcança 5% do PIB global, equivalente a 3,5 trilhões de dólares por ano ou U\$ 500/pessoa/ano (FAO, 2013). Com foco na otimização da qualidade alimentar, do uso da terra e da sustentabilidade ambiental e considerando as consequências negativas das mudanças climáticas das últimas décadas, pesquisas voltadas para o desenvolvimento tecnológico de compostos bioativos e na

utilização de resíduos agrícolas vêm se intensificando ultimamente. Conectado a essas demandas conjunturais, o IAC, por meio de seu corpo técnico da área de Fitoquímica do CRGV, vem atuando como proponente e/ou colaborador em projetos que visam otimizar os recursos disponíveis, melhorar a qualidade de vida e agregar valor no campo.

O aproveitamento econômico de resíduos agrícolas ou materiais não convencionais viabiliza o desenvolvimento de novos produtos a partir dos mesmos materiais cultivados utilizando os mesmos processos e/ou tecnologias, com otimização do uso da terra, da água e de insumos e agregação de valor ao que até então não era aproveitado. Folhas de mandioca e de batata-doce após produção dos tubérculos são usadas para a obtenção de farinhas biofortificadas em ferro destinadas à matriz alimentar, agregando valor nutricional às refeições humanas e/ou animais suplementando rações tradicionais. Mesmo com perspectivas de maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como

seca, é bastante promissora a utilização de terras marginais para culturas mais rústicas como mandioca e batata-doce, uma vez que poderiam incrementar a oferta de alimentos em condições adversas (Figura 2).

Por outro lado, mudanças extremas na temperatura e umidade provocam alterações na fisiologia e química das plantas, podendo comprometer sua produção e/ou qualidade como ocorre, por exemplo, no caso dos cafés especiais. O CRGV colabora nas análises químicas dos estudos conduzidos pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Café "Alcides Carvalho" voltados para o desenvolvimento e novos produtos ou cultivares de cafés especiais direcionados para regiões climáticas especiais, considerando que a agregação de valor ao produto poderá

mitigar a perspectiva de redução das áreas de cultivo de café no estado de São Paulo em virtude das mudanças climáticas.

Portanto, o entendimento das consequências das mudanças climáticas na constituição química das plantas com repercussão na redução da sua produção e/ou qualidade do produto agrícola têm sido foco de estudos na unidade de fitoquímica. Busca-se identificar formas de reduzir danos com adaptação das plantas às condições extremas do clima estudando, em especial, o seu comportamento com relação às alterações químicas e, a partir disso, indicar novos sistemas de produção, propor novos processos e/ou novos produtos e auxiliar, assim, na obtenção de cultivares mais adequadas às necessidades nutricionais atuais.

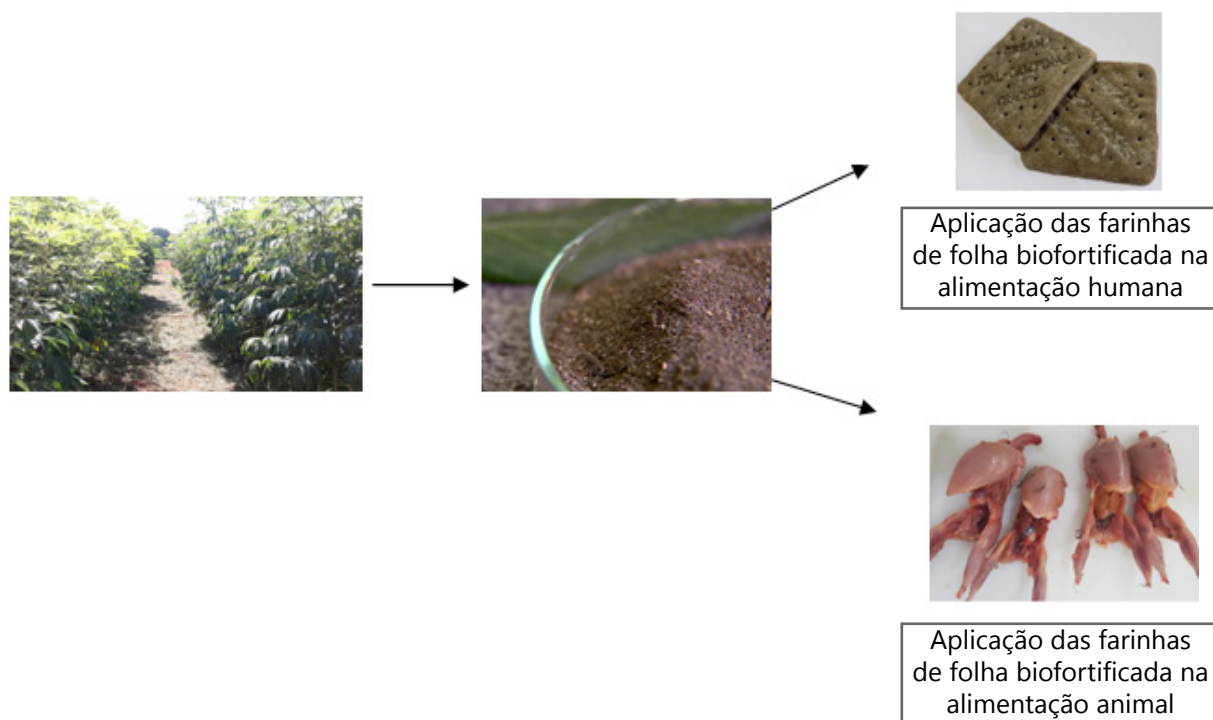


Figura 2. Aproveitamento e valorização de subprodutos: folhas de mandioca e de batata-doce.

A segurança alimentar e a questão energética sempre tiveram papéis fundamentais no desenvolvimento e no crescimento da sociedade moderna de qualquer país. A explosão demográfica mundial, o aumento da urbanização, as mudanças climáticas e os conflitos militares vigentes vêm acentuando o desbalanço entre demanda e suprimento de alimentos e energia e preocupando os governantes de todas as nações, em especial as em desenvolvimento. No Brasil, o governo vem incentivando o uso de novas formas de energia limpas e renováveis além do etanol da cana-de-açúcar, com a introdução do biodiesel à matriz energética do país a partir da implementação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, em 2008. Tal iniciativa desencadeou um crescente aumento na demanda por fontes de matéria-prima para o suprimento das usinas visando a produção de biodiesel, com consequente incremento em pesquisas científicas de espécies oleaginosas com potencial bioenergético. Assim, visando dar suporte aos programas de melhoramento genético de oleaginosas do IAC, o Laboratório de Fitoquímica do CRVG empreendeu esforços na otimização de protocolos para a implantação da técnica de espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) para atender a esses estudos de forma mais rápida e em maior escala, por meio da determinação dos teores de óleo (total), de ácidos graxos, bem como, de compostos do metabolismo secundário, como o forbol, no caso do pinhão-mansou

ou do metabolismo primário, como as proteínas. Associada aos métodos quimiométricos, a técnica tornou-se de uso rotineiro pelo desenvolvimento de modelos multivariados quantitativos (PLS/NIR), o que habilitou o referido laboratório a dar suporte a vários programas de melhoramento genético do IAC, contribuindo, por exemplo, com o processo de domesticação e melhoramento genético de duas oleaginosas, macaúba e pinhão-mansou, em desenvolvimento no CRGV, auxiliando na seleção expedita de genótipos ricos em óleo. Também foram desenvolvidos modelos de predição de óleo para culturas de amendoim, algodão, mamona e soja visando a triagem dos materiais das coleções do IAC e a busca por genótipos superiores. Em grãos de amendoim 'Alto oleico', o método visou o desenvolvimento e aplicação de modelo de classificação para a certificação da pureza genética dos grãos. Em macaúba foi aplicado o modelo de predição para teor de ácido oleico em mesocarpos e em pinhão-mansou para o teor total de óleo visando a seleção de acessos superiores. Em mamona a predição dos ácidos ricinoleico e oleico auxiliou na busca por genótipos com composição desses ácidos favoráveis a redução da viscosidade. Do ponto de vista nutricional, o modelo matemático de predição de proteína bruta foi estabelecido em acessos, linhagens e cultivares de feijoeiro para fins de seleção de material superior e para registro e lançamento de novas cultivares IAC.

Melhoramento genético visando tolerância a estresses abióticos e bióticos

Os efeitos do estresse ambiental sobre o processo da meiose bem como sobre a recombinação genética em plantas são conhecidos há algum tempo a partir de estudos com plantas modelo e cultivadas. Tais efeitos têm recebido maior atenção nas duas últimas décadas devido à crescente ação antropogênica nas mudanças climáticas. Relatos sobre o aumento da temperatura associado ao estresse hídrico têm evidenciado a ocorrência de alterações no processo de meiose com interferência na frequência de recombinação genética, na redistribuição das recombinações ao longo dos cromossomos bivalentes e no aparecimento de univalentes devido à falta de pareamento entre os cromossomos homólogos. Consequência disso é a promoção da esterilidade severa dos grãos de pólen e da diminuição significativa na produção de sementes. Nesse sentido, estudos citogenéticos em plantas cultivadas de interesse agrícola podem auxiliar no monitoramento dos efeitos de temperaturas mais elevadas no comportamento dos cromossomos durante o processo de microsporogênese, bem como na fertilidade dos grãos de pólen em genótipos selecionados para tolerância a altas temperaturas. Além disso, as técnicas citogenéticas são usadas também para monitorar a normalidade desse processo em plantas oriundas de cultura de tecidos, averiguando possível ocorrência de alterações cromossômicas estruturais bem como no seu nível de ploidia.

O estresse hídrico promove drástica redução de rendimento em várias culturas. Estudos recentes realizados pelo CRGV têm permitido um melhor entendimento da herança genética da tolerância à seca no feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) a partir da construção de um mapa genético com marcadores microssatélites e SNPs em progênies do cruzamento entre a cultivar mesoamericana tolerante à seca (SEA 5) e andina (AND 277), susceptível. Loci de caracteres quantitativos (QTLs) foram associados às características relacionadas com a tolerância à seca por meio da fenotipagem em estufas simulando condições de seca vs irrigada. Todos os QTLs detectados em condições de seca apresentaram efeitos positivos do alelo SEA 5 (mesoamericana). Em outro estudo utilizando o mesmo cruzamento, a fenotipagem para seca foi também realizada em estufa, onde as plantas foram cultivadas usando rizotrons para visualização das raízes, em condições de boa irrigação e estresse hídrico. Foram identificados quatro QTLs que estão relacionados à melhora do desempenho sob estresse hídrico, sendo três deles relacionados especificamente às raízes e localizados nos cromossomos Pv1 e Pv6. A característica área superficial da raiz explicou 32,6% da variância fenotípica (Figura 3) podendo contribuir para maior absorção de água e melhor adaptação do feijoeiro em condições de estresse hídrico (Briñez *et al.*, 2020). Ambos os estudos contribuem para o programa de melhoramento genético do feijoeiro no IAC, pois são base para o desenvolvimento de marcadores para seleção assistida de genótipos tolerantes à seca (Briñez *et al.*, 2017).

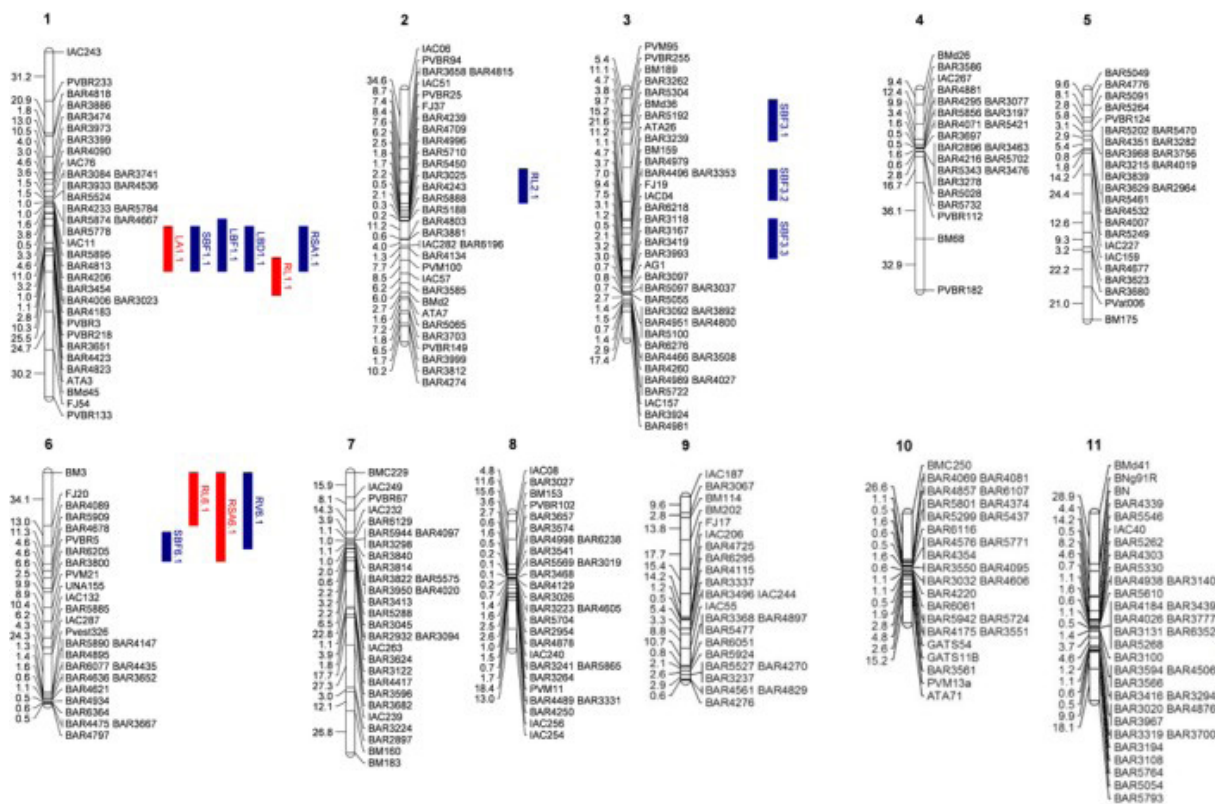


Figura 3. Posições dos QTLs irrigados (azul) e sob estresse hídrico (vermelho). Os cromossomos foram baseados no genoma do feijão (<http://www.phytozome.net/>).

As mudanças climáticas afetam também o comportamento de microrganismos que interagem com os vegetais. Existe uma forte ligação entre o solo, as plantas, seus microrganismos associados e o estresse abiótico. Desse modo, diante da atual instabilidade climática, as associações entre os micróbios e as plantas se tornam cada vez mais dinâmicas e complexas. O CRGV desenvolve pesquisas voltadas para o entendimento dos mecanismos de interação planta-microrganismos e vem obtendo resultados interessantes nessa linha de pesquisa. O Laboratório de Biotecnologia e Interação Planta-Microrganismos tem como objetivo o estudo das interações patogênicas

e benéficas entre vegetais, fungos, bactérias e oomicetos. Dentre os mecanismos de interação estudados está a interação entre plantas de café arábica com bactérias do gênero *Pseudomonas*, notáveis microrganismos que potencializam o crescimento vegetal e que auxiliam as plantas no combate a patógenos. Um dos resultados mais interessantes relacionados às mudanças climáticas foi o que demonstrou que uma bactéria habitante da folha do cafeeiro (MN1F) tem alta resistência ao estresse por seca, sendo um possível facilitador da tolerância a estresses abióticos em vegetais. Curiosamente, essa mesma bactéria se mostrou um

promissor controlador biológico da ferrugem do cafeeiro, o que indica o seu potencial como bioproduto biotecnológico. Outras duas bactérias do gênero *Pseudomonas* (MNR3A e

EMN2) potencializaram o crescimento de hortaliças como o alface, abrindo possibilidade para uso como fertilizantes naturais (Figura 4).

INTERAÇÃO MOLECULAR PLANTA X PATÓGENO

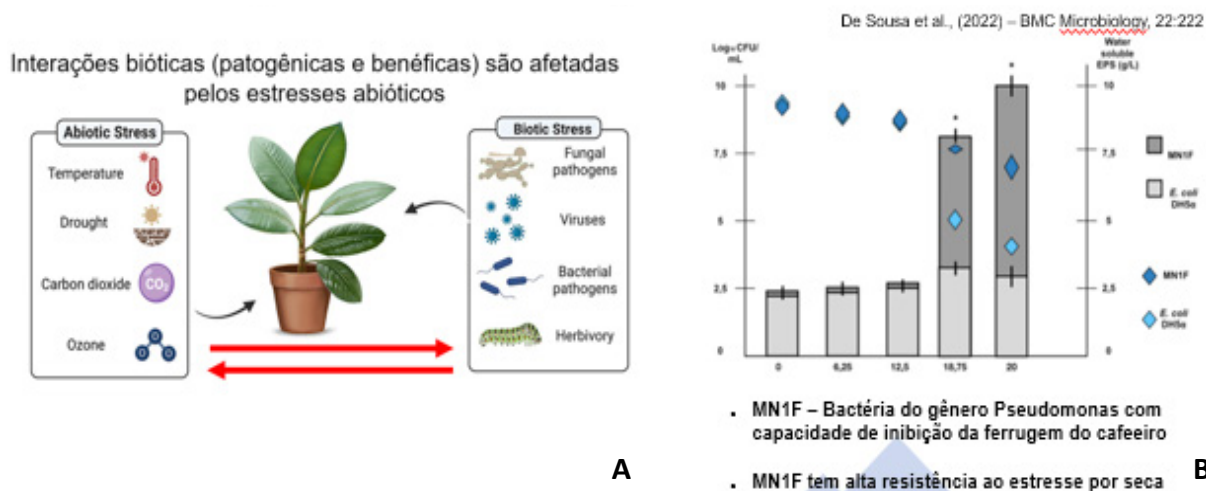


Figura 4. Interação planta x patógeno, adaptado de Leisner *et al.* (2023) (A). Bactéria endógena da folha do cafeeiro (MN1F) com alta resistência ao estresse por seca e controle biológico da ferrugem do café, adaptado de Sousa *et al.* (2022) (B).

Bioenergia: Novas alternativas para a produção sustentável de energia

Seguindo as premissas mundiais de sustentabilidade das cadeias produtivas, pesquisadores do CRGV vêm direcionando esforços na busca por fontes alternativas de biocombustíveis viáveis e capazes de suprir parte da crescente demanda energética humana, sem comprometer a segurança alimentar e ambiental e com redução das pegadas de carbono e hídrica na matriz energética nacional. O IAC já desempenha um papel protagonista fundamental

nesse processo com o bem-sucedido “Programa Cana”, colaborando para o total domínio tecnológico do Brasil na produção, distribuição e utilização de bioetanol a partir da cana-de-açúcar. Espécies oleaginosas com potencial para produção de biodiesel e bioquerosene de aviação, tais como a macaúba (*Acrocomia aculeata*) e o pinhão-manso (*Jatropha curcas*) poderão unir esforços com a cana, neste sentido, se estudadas, domesticadas e melhoradas para produção de óleo de qualidade, em quantidade e frequência necessárias.

Atualmente, a soja responde por mais de 70% do biodiesel nacional (ANP, 2022). Apesar de ter escala e pacote tecnológico definido, essa oleaginosa é componente proteico fundamental das rações animais e seu óleo é muito consumido na alimentação humana. Desviar parte de sua baixa produção (400 kg ha^{-1}) para produção de biodiesel pode representar risco de desabastecimento de proteína animal e óleo para consumo humano. Por outro lado, o aumento da quantidade total de grãos produzidos demanda o consumo de mais terras agricultáveis. Assim, apesar da soja ocupar a segunda posição mundial em termos de volume de óleo produzido ficando apenas atrás do dendê ou palma de óleo, ambas as culturas exigem e competem com as alimentares por recursos naturais. Portanto, assim como a palma que vem sofrendo restrições comerciais em virtude do desmatamento que provoca nos seus principais produtores (Indonésia e Malásia), a soja está nesse mesmo caminho, com previsão de ser substituída por culturas mais sustentáveis em futuro próximo. A diversificação da matriz bioenergética com novas fontes de matéria-prima incorporando oleaginosas mais produtivas, sustentáveis e não concorrentes por cadeia alimentar, terras e recursos hídricos tem sido considerada uma visão estratégica mundial. O Brasil que dispõe de rica diversidade biológica, de solos e clima poderá, mais uma vez, liderar esse processo. Salienta-se que tal iniciativa promoverá, paralelamente, a diversificação de coprodutos das cadeias produtivas e o seu aproveitamento econômico em

biorrefinarias, o que poderá auxiliar na redução de custos e no suprimento da demanda por biodiesel no país.

Sob essa ótica, *J. curcas* é uma espécie perene pantropical considerada promissora em função do elevado conteúdo de óleo não comestível em suas sementes (30%-50%) produzindo, em média, 1.590 kg ha^{-1} (Riayatsyah *et al.*, 2022), com potencial de aumento com adequados tratamentos culturais e melhoramento genético. O seu óleo contém mais de 80% de ácidos graxos insaturados, em especial o oleico (44,5%) e o linoleico (35,4%), composição que lhe confere excelentes características físico-químicas, as quais possibilitam eficiente conversão em biodiesel e/ou bioquerosene de aviação (Alherbawi *et al.*, 2021), após transesterificação e/ou hidrodessoxigenação ou mesmo sem processamento algum, com qualidades equiparáveis aos exigidos pelas normas europeias e norte-americanas. Destaca-se, ainda, pela sua extraordinária tolerância aos estresses ambientais, suportando altas temperaturas, seca e infertilidade ou acidez do solo, além de prevenir a erosão devido às suas abundantes e profundas raízes. Além das raízes, *J. curcas* tem muitas outras características para lidar com o estresse hídrico como, por exemplo, a mudança de suas folhas do metabolismo C3 para CAM, combinando ambos os tipos de fotossíntese e aumentando, assim, sua eficiência no uso da água (Jongschaap *et al.*, 2009). Se combinarmos o alto rendimento energético com a alta eficiência do uso de água teremos, ainda, mais uma vantagem dessa cultura energética: a reduzida pegada hídrica.

Na África do Sul, por exemplo, *J. curcas* não irrigada e não fertilizada produz, em média, 1.286 kg ha⁻¹ de sementes com apenas 652 mm de chuva. Com 35% de óleo nas sementes, isso representa 450 kg ha⁻¹ de óleo mais 836 kg ha⁻¹ de torta prensada, entregando ao todo 31,6 GJ de energia por hectare. Aplicando-se o modelo de balanço hídrico com simulação da transpiração total e a evaporação do solo (4.052 m³ ha⁻¹), a pegada hídrica é de 8.281 L água/L óleo e 128 m³ água/GJ; valor comparável ao da mandioca e que não representa nem mesmo 1/3 da pegada da soja, além de ser apenas 1/5 da própria *J. curcas* quando se usa os requisitos potenciais de água da cultura (Gerbens-Leenes *et al.*, 2009).

Ressalta-se ainda o potencial de aproveitamento dos resíduos da extração do óleo (torta) e outros subprodutos, corroborando com o atual conceito de biorrefinarias. O óleo e a torta do pinhão manso não são comestíveis devido à presença de compostos tóxicos, especialmente os ésteres de forbol. A despeito disso, a torta, que representa cerca de 70% da massa total dos grãos prensados, é bastante rica em proteínas (63%) em comparação com a soja (45%), podendo ser usada como ração animal após desintoxicação ou quando obtida a partir de cultivares livres de forbol. Tais cultivares atóxicas têm sido desenvolvidas pela nossa equipe do CRGV visando agregar valor à essa cultura energética. Ademais, a torta também contém altas concentrações de NPK, podendo ser usada como fertilizante na recuperação de solos degradados ou, alternativamente,

ser digerida juntamente com outros resíduos (cascas) para a produção de biogás (Siddiki *et al.*, 2021), uma vez que estes coprodutos apresentam alto poder calorífico, comparáveis ao da madeira de eucalipto e ao do bagaço de cana. Se considerarmos que as sementes de *J. curcas* fornecem, em média, 1/3 de óleo e 2/3 de torta prensada, ambas as frações produzem quantidades similares de energia e, em conjunto, quase que dobram o rendimento energético, reduzindo, conseqüentemente, pela metade a pegada hídrica dessa cultura energética (Jongschaap *et al.*, 2009). Um outro promissor destino da torta de pinhão-manso que tem sido ressaltado ultimamente é a sua bioconversão em BioH₂ (Bio-hidrogênio combustível) por meio da fermentação de bactérias específicas (Lopes *et al.*, 2015). Por outro lado, a grande quantidade de glicerina residual do processo de transesterificação do óleo, pode, também, ser reutilizada de forma eficaz na produção de BioH₂ (Schwengber *et al.*, 2016).

Contudo, apesar de todo esse potencial acima mencionado, ainda não há cultivares melhorados e estáveis de *J. curcas* que viabilizem o seu cultivo em larga escala. Diante desse desafio, pesquisadores do CRGV do IAC iniciaram, em 2007, um programa de melhoramento genético (PMG) convencional e biotecnológico para a espécie, após credenciamento junto à Agência Nacional de Petróleo (ANP) e estabelecimento de parceria com a Petrobrás. Graças a essa iniciativa, hoje temos disponível no IAC amplo e diversificado banco, com

germoplasma nacional e internacional; gerações avançadas de híbridos intra e interespecíficos inéditos a nível mundial (Figura 5), além de genótipos superiores selecionados para produtividade, uniformidade de produção, porte reduzido, alta tolerância à seca, resistência a doenças e pragas, alto teor (49%-52%) e qualidade do óleo (alto oleico: 50%, linoleico: 30%), atoxicidade (zero forbol). Outra característica relevante encontrada dentre os genótipos selecionados pela equipe IAC foi o alto poder calorífico do óleo, com destaque para

o genótipo IAC L10P41, que atingiu $8.545 \text{ kcal kg}^{-1}$ de óleo, valor muito superior ao álcool da cana-de-açúcar ($5.380 \text{ kcal L}^{-1}$), equivalente à gasolina ($8.325 \text{ kcal L}^{-1}$) e um pouco inferior ao diesel mineral ($9.160 \text{ kcal L}^{-1}$), segundo dados da Petrobrás (www.investidorpetrobras.com.br). A torta resultante da extração do óleo desse genótipo, por sua vez, obteve poder calorífico igual a $4.180 \text{ kcal kg}^{-1}$. Somando-se a contribuição energética de ambas as frações, o genótipo em questão resultou em um rendimento energético de $16.905 \text{ kcal kg}^{-1}$.

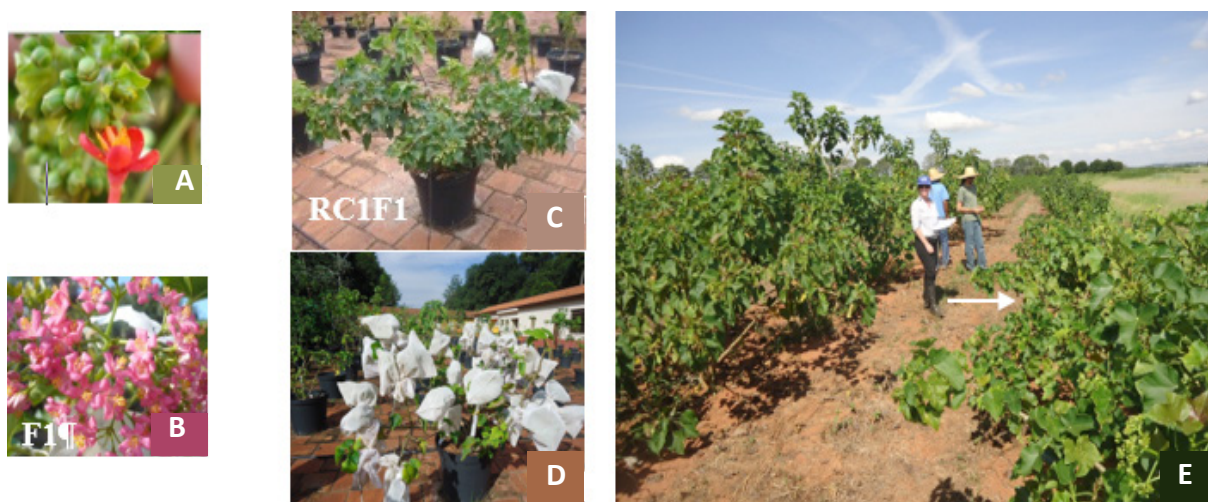


Figura 5. Programa de melhoramento genético do pinhão-mansão do IAC. Cruzamento interespecífico: *J. curcas* x *J. integerrima* (A); geração F1 interespecífica com segregação na coloração das flores (B); geração retrocruzamento: RC1F1: L8V4 (C); autofecundações (S1) e retrocruzamentos (RC2) de L8V4 (D) e progenies dos híbridos obtidos em campo, Mococa (SP) (E). Em evidência a progênie de S1da L8V4: geração S1RC1F1: progênie produtiva, uniforme, plantas com baixo porte, 32% de óleo, 40% oleico.

Uma oleaginosa que vem se destacando pela sua extraordinária produtividade de óleo, em sintonia com as demandas pela sustentabilidade ambiental, é a macaúba, uma palmeira nativa da América Tropical e amplamente distribuída em toda América Central e

do Sul, desde o México a Mato Grosso do Sul e noroeste do Paraná. No Brasil, ocorre em quase todo território com exceção da região Sul do país. É mais abundante nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e São Paulo, mas também com registros de ocorrência

de maciços nos estados do Amazonas, Tocantins, Maranhão, Pará, Piauí, Bahia e Mato Grosso do Sul, estando presente nos biomas Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga e, sobretudo, Cerrado. Palmeira com estipe solitário cilíndrico e altura variando de 7 a 18 m, anelado pelas cicatrizes da bainha foliar e presença de espinhos na separação dos internódios. Espécie monoica e protogínica, a inflorescência é uma espata tomentoso-vilosa marrom-avermelhada com centenas de ráquilas e o fruto é do tipo drupa

globosa, elipsoide a ovoide, de 2 a 7 cm de diâmetro e coloração variada. Produz em média 4 cachos por ano, com peso variando de 5 a 50 kg (Figura 6). Espécie pioneira e abundante em ambientes perturbados e antropizados, a macaúba é perenifolia, heliófita, ocorrendo em maiores densidades em áreas abertas, formações secundárias e capoeiras, locais com afloramentos rochosos e comumente associadas a áreas de pastagem (Lorenzi, 2010; Scariot *et al.*, 1991).



Figura 6. Palmeira de macaúba com produção de cachos de frutos (A); frutos do tipo drupa e corte transversal com detalhe das suas partes internas (casca, polpa, endocarpo e amêndoa) (B).

Os principais produtos da macaúba são os óleos extraídos da polpa e da amêndoa do fruto. A polpa abriga até 75% do teor total de lipídeos e a amêndoa pode conter até 65%,

ambos em base seca. Entre os ácidos graxos mais importantes do óleo da polpa estão o ácido oleico, seguido do ácido palmítico e linoleico. O óleo do mesocarpo chega a ter 80% em

ácido oleico, sendo muito procurado pela indústria alimentícia devido a sua maior estabilidade oxidativa e operabilidade em baixas temperaturas, além ser excelente matéria-prima para biocombustíveis (Berton, 2013). De cada quilo de fruto submetido à extração de óleo a frio (hidráulica) são gerados 500g de biomassa residual que inclui fibras, lipídios e proteínas que podem ser utilizados para alimentação alternativa humana e para ração animal de alta palatabilidade e qualidade nutricional, haja vista não ter sido detectado qualquer fator antinutricional nas diferentes frações do fruto. Além disso, o carbono do endocarpo tem densidade e poder calorífico de qualidade superior ao do carvão vegetal de eucalipto, podendo ser utilizado na siderurgia, metalurgia ou produção de carvão vegetal com baixo teor de cinzas, sem enxofre e de alta densidade, ou carvão ativado. Considerando-se as proporções médias das frações do fruto da macaúba (22,6% casca; 42,6% polpa; 28,4% endocarpo e 6,4% amêndoa), a estimativa da produtividade no Brasil sob um cenário conservador e uma densidade de 400 árvores por ha/ano seria de 2,5 toneladas óleo/ha. Portanto, em virtude do alto potencial produtivo, da diversidade de produtos oferecidos, sejam alimentícios ou energéticos e da ampla ocorrência natural da espécie em áreas de cerrado com 3 a 6 meses do ano com déficit hídrico, a macaúba representa importante alternativa para produção concomitante de alimentos e energia (Colombo *et al.*, 2018).

As pesquisas sobre domesticação dessa palmeira tiveram início em 2007

no CRGV e, atualmente, em virtude do interesse crescente pela espécie, as áreas de atuação encontram-se bastante diversificadas. Com apoio financeiro de agências públicas de fomento e de parcerias com o setor privado, as pesquisas realizadas com a palmeira macaúba no CRGV abrangem estudos de diversidade e melhoramento genético, taxonomia, transcriptoma, genômica populacional, seleção genômica ampla, clonagem in vivo e in vitro, quebra de dormência e germinação de sementes, cultivo integrado, fertilidade, biologia da reprodução e aplicação tecnológica dos seus coprodutos. Tais estudos vêm sendo conduzidos também em parceria com instituições brasileiras (UNICAMP, UFV, EMBRAPA), bem como com instituições de pesquisa do México, Costa Rica, Colômbia, Paraguai, Argentina e Alemanha.

Considerando-se que a agricultura do futuro deverá ter menor dependência por defensivos, insumos e água, fazer menor uso de máquinas e contribuir para a mitigação de gases de efeito estufa, a adoção de espécies de ciclo mais longo, capazes de produzir de forma competitiva em ambientes com limitações de água deve ser sempre priorizada. Além disso, considerando-se a enorme extensão da área agricultável com pastagem no Brasil e a importância socioeconômica da agropecuária no país, a adoção de sistemas integrados de produção que possam combinar pastagem com espécies perenes é muito bem-vinda também. Diante desses cenários, podemos deduzir que a macaúba apresenta valor bioeconômico capaz

de contribuir para uma agricultura de futuro, conciliando inovação e sustentabilidade ambiental para enfrentamento dos desafios que as

mudanças climáticas nos apresentam, podendo representar importante política pública regional (Figura 7).



Figura 7. Elevada produção de óleo e alimentos da macaúba quando comparada a outras oleaginosas e possibilidade de ser cultivada integrada com outras culturas, com destaque para a recuperação de áreas degradadas com pastagens, que representam aproximados 50 milhões de hectares.

A biotecnologia como ferramenta primordial para a construção da “agricultura do futuro”

Diferente da expansão horizontal da agricultura até meados dos anos 1970, na qual o aumento da produção se dava com a incorporação de novas áreas, a agricultura atual vem crescendo de forma vertical, ou seja, intensificando a produtividade das terras aptas ao cultivo de forma sustentável a partir do incremento tecnológico. Com o aumento dessa tendência, a agricultura do futuro deverá ser capaz de conciliar inovação tecnológica com

sustentabilidade ambiental. Nesse cenário, a biotecnologia vegetal deverá desempenhar um papel fundamental na proposição de soluções inovadoras para maximizar a produtividade e qualidade nutricional dos alimentos em cada pedaço de terra disponível no planeta, com mínimo desmatamento e poluição e máxima economia de água, agroquímicos e insumos.

A biotecnologia já vem revolucionando a agricultura há algum tempo, desde a descrição da estrutura do DNA por Watson e Crick em 1953, com suas modernas

tecnologias capazes de acelerar e tornar mais precisa a condução de programas de melhoramento genético de plantas. As recentes "ômicas" (genômicas, transcriptômica, proteômica, metabolômica) aliadas às técnicas de cultura de tecidos vegetais e engenharia genética têm tornado factível a identificação, seleção e sequenciamento de genes de interesse; a análise da expressão e função gênica e sua correlação com a produção de proteínas e metabólitos específicos; a clonagem de genes que codificam características de interesse para serem usados como marcadores moleculares nos processos de seleção assistida ou então transferidos para o genoma de outros organismos (via transformação genética direta ou indireta) e/ou editados por meio de técnicas como o CRISPR-Cas9. A partir da inserção e modificação ou silenciamento desse(s) gene(s) de interesse no genoma celular só é possível regenerar essa célula por meio de técnicas de cultura de tecidos e a obtenção de plantas com novas características agronômicas e nutricionais desejáveis nos respectivos cultivos.

Nesse sentido, o CRGV vem investindo no desenvolvimento e aplicação de biotecnologias propulsoras para o aumento da produtividade e qualidade do óleo de duas promissoras oleaginosas, pinhão-mansão e macaúba, bem como no aumento de qualidade de seus coprodutos. Assim, o PMG do pinhão-mansão empenhou esforços em estudos visando à análise da função dos genes envolvidos na biossíntese de ácidos graxos e do diterpeno tóxico forbol e de suas redes regulatórias.

Também investiu no desenvolvimento de protocolos de clonagem *in vitro* (Franco *et al.*, 2014) e transformação genética (Franco *et al.*, 2016), os quais poderão ser adaptados para a aplicação futura da edição destes mesmos genes ou outros candidatos visando a obtenção, em curto-médio prazos, de cultivares com produção eficiente de energia renovável. Com objetivos similares, o PMG de macaúba também tem desenvolvido protocolo de embriogênese somática de genótipos pré-selecionados pelo elevado teor de óleo e alta produtividade de frutos (dados ainda não publicados). Além dos objetivos específicos de ambos os PMG e respectivas culturas, o desenvolvimento destas biotecnologias poderá servir de base para a aplicação dos métodos de transformação genética e CRISPR-Cas9 em outras espécies e para outras finalidades, tais como, por exemplo, a indução de tolerância a condições adversas como seca em cultivares de feijão comum ou a doenças como a ferrugem de café, editando/transformando genes candidatos em estudo pelos pesquisadores do CRGV. Ressalta-se que a aplicação dessas estratégias será capaz de reduzir a necessidade de água, fertilizantes e agroquímicos das culturas impactando, tanto na eficiência e sustentabilidade quanto no custo da produção. Também será possível o emprego dessas biotecnologias para que os cultivos passem a absorver mais CO₂ e aumentar a fotossíntese, tenham sua durabilidade em prateleira aumentada, incremento da quantidade e variedade de nutrientes ou supressão de compostos

antinutricionais (como o forbol do pinhão-mansão) ou alergênicos, dentre outras possibilidades impactantes na disponibilização de alimentos em quantidade e qualidade para garantir segurança alimentar.

Conclusão

O Centro de P&D de Recursos Genéticos Vegetais, que conta com equipe qualificada nas áreas de química, fitotecnia, genética e biotecnologia, tem apresentado respostas aos desafios atuais pelos quais passa a agricultura, considerando a necessidade de garantir alimento em condições climáticas cada vez mais adversas e com sustentabilidade. A busca por bioprodutos e novos produtos alimentícios a partir da utilização de resíduos, a detecção e caracterização de genes e bactérias associados à tolerância a déficits hídricos e o melhor aproveitamento dos nossos recursos genéticos pela domesticação de espécies de plantas que possam ser cultivadas em ambientes mais áridos, em associação com outras culturas, podendo fornecer energia e alimento, são exemplos contundentes da importante contribuição que o CRGV proporciona para um futuro melhor do planeta.

Referências

ALHERBAWI, M.; MCKAY, G.; MACKAY, H. R.; AL-ANSARI, T. *Jatropha curcas* for jet biofuel production: Current status and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 135, 110396, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110396>.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br>.

BERTON, L. H. C. **Avaliação de populações naturais, estimativas de parâmetros genéticos e seleção de genótipos elite de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2013. 154 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2013.

BRIÑEZ, B.; PERSEGUINI, J. M. K. C.; ROSA, J. S.; BASSI, D.; GONÇALVES, J. G. R. G.; ALMEIDA, C.; PAULINO, J. F. C.; BLAIR, M. W.; CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M.; VALDISSER, P. A. M. R.; VIANELLO, R. P.; BENCHIMOL REIS, L. L. Mapping QTLs for drought tolerance in a SEA 5 x AND 277 common bean cross with SSRs and SNP markers. **Genetics and Molecular Biology**, v. 40, n. 4, p. 813-823, 2017.

BRIÑEZ, B.; SANTOS, I. L.; DE ALMEIDA, C. P.; GONÇALVES, J. G. R.; ESTEVES, J. A. F.; CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M.; RAO, I. M.; BENCHIMOL-REIS, L. L. Quantitative trait loci identified for root traits associated with drought resistance in common bean. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 2, n. 1, 11 p., 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.35418/2526-4117/v2n1a1>.

COLOMBO, C. A.; SIQUEIRA, W. J. IAC, Berço do Melhoramento Genético Contemporâneo no Brasil. **O Agrônomo**, Campinas, v. 69, p. 71-77, 2017.

COLOMBO, C. A.; BERTON, L. H. C.; DIAZ, B. G.; FERRARI, R. A. Macaúba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **OCL**, v. 25, n. 1, 9 p., 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2017038>.

DE SOUSA, L. P.; CIPRIANO, M. A. P.; DA SILVA, M. J.; PATRÍCIO, F. R. A.; FREITAS, S. D. S.; CARAZZOLLE, M. F.; MONDEGO,

J. M. C. Functional genomics analysis of a phyllospheric *Pseudomonas spp* with potential for biological control against coffee rust. **BMC Microbiology**, v. 22, 222, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02637-4>.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food Statistical Yearbook 2013**: World food and agriculture. 2013. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i3107e/i3107e00.htm>.

FRANCO, M. C.; MARQUES, D. D. A.; SIQUEIRA, W. J.; LATADO, R. R. Micropropagation of *Jatropha curcas* superior genotypes and evaluation of clonal fidelity by target region amplification polymorphism (TRAP) molecular marker and flow cytometry. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, n. 38, p. 3872-3880, 2014.

FRANCO, M. C.; GOMES, K. A.; FILHO, M. M. C.; HARAKAVA, R.; CARELS, N.; SIQUEIRA, W.; LATADO, R. R.; MARQUES, D. A. *Agrobacterium*-mediated transformation of *Jatropha curcas* leaf explants with a fungal chitinase gene. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 37, p. 2006-2016, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15458>.

GERBENS-LEENES, W.; HOEKSTRA, A. Y.; THEO, H.; VAN DER MEER, T. H. The water footprint of bioenergy. **PNAS**, v. 106, n. 25, p. 10219-10223, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0812619106>.

JONGSCHAAP, R. E. E.; BLESGRAAF, R. A. R.; BOGAARD, T. A.; SAVENIJE, H. H. G. The water footprint of bioenergy from *Jatropha curcas* L. **PNAS**, v. 106, n. 35, E92, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0907272106>.

LEISNER, C. P.; POTNIS, N.; SANZ-SAEZ, A. Crosstalk and trade-offs: Plant responses to climate change-associated

abiotic and biotic stress. Invited Review. **Plant Cell & Environment**, p. 1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.14532>.

LOPES, S. L.; FRAGOSO, R.; DUARTE, E.; MARQUES, P. A. S. S. Bioconversion of *Jatropha curcas* seed cake to hydrogen by a strain of *Enterobacter aerogenes*. **Fuel**, v. 139, p. 715-719, 2015.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora Brasileira**: Arecaceae (Palmeiras). Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010. 368 p.

RIAYATSYAH, T. M. I.; SEBAYANG, A. H.; SILITONGA, A. S.; PADLI, Y.; FATTAH, I. M. R.; KUSUMO, F.; ONG, H. C.; MAHLIA, T. M. I. Review: Current Progress of *Jatropha curcas* Commoditization as Biodiesel Feedstock: A Comprehensive Review. **Front. Energy Research**, Sec. Bioenergy and Biofuels, v. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.815416>.

SCARIOT, A. O.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Reproductive Biology of the Palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**, v. 23, n. 1, p. 12-22, 1991. DOI: <https://doi.org/10.2307/2388683>.

SCHWENGBER C. A.; HELTON, J. A.; SCHAFFNER, R. A.; SILVA, F. A. da; SEQUINEL, R.; BACH, V. R.; FERRACIN, R. J. Overview of glycerol reforming for hydrogen production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 259-266, 2016.

SIDDIKI, S. Y. A.; UDDIN, M. N.; MOFIJUR, M.; FATTAH, I. M. R.; ONG, H. C.; LAM, S. S.; KUMAR, P. S.; AHMED, S. F. Theoretical Calculation of Biogas Production and Greenhouse Gas Emission Reduction Potential of Livestock, Poultry and Slaughterhouse Waste in Bangladesh. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 3, 105204, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105204>.



SERINGUEIRA E SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Sistemas Sustentáveis de Produção
Agropecuária e as Mudanças
Climáticas

Wander Luis Barbosa Borges, Rogério Soares
de Freitas, Erivaldo José Scaloppi Junior*, Giane
Serafim da Silva

[*erivaldo.junior@sp.gov.br](mailto:erivaldo.junior@sp.gov.br)

Sistemas integrados de produção agropecuária são os pilares para a produção de alimentos e o enfrentamento das mudanças climáticas globais

As atividades humanas têm aumentado a concentração de gases de efeito estufa da atmosfera terrestre, cujo maior crescimento das emissões absolutas tem sido atribuído ao CO₂, especialmente pela utilização de combustíveis fósseis. Consequentemente, a temperatura média do ar da Terra também poderá aumentar de acordo com os cenários de previsão, em virtude do efeito desses gases (IPCC, 1995, 2022; Streck; Alberto, 2006).

O aumento da concentração de CO₂ atmosférico promove o aumento da taxa de crescimento das plantas, pois o CO₂ é o substrato primário para fotossíntese (Taiz; Zeiger, 1991). No entanto, se o aumento da concentração de CO₂ for acompanhado de aumento da temperatura do ar, poderá não haver aumento no crescimento e na produtividade das culturas, principalmente em razão do encurtamento do seu ciclo de desenvolvimento (Butterfield; Morison, 1992) e aumento da respiração (fotorrespiração e fase escura da respiração) do tecido vegetal (Streck, 2005).

Em cenários de mudanças climáticas projetadas por simulação, dobrando-se a quantidade de CO₂, com diferentes aumentos de temperatura do ar e com e sem aumento de precipitação pluvial, Streck e Alberto (2006) constataram que a esse fenômeno influenciará a

produtividade de grãos de trigo, soja e milho, em Santa Maria (RS), porém o aumento de 2, 3 e 6 °C na temperatura do ar poderá anular esses efeitos benéficos do aumento de CO₂ na produtividade dessas culturas.

Para mitigar os efeitos das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento e produtividade das culturas, têm-se utilizado sistemas de produção agropecuária mais sustentáveis, dentre eles os sistemas de semeadura direta, no qual seus efeitos na redução da emissão de CO₂ são amplamente conhecidos (Piva *et al.*, 2012), e os sistemas agrossilvipastoris, nos quais as árvores têm potencial para sequestrar mais de 14 toneladas de carbono/ha aos 10 anos de idade (Müller *et al.*, 2009). Nos textos abaixo são apresentados promissores resultados de pesquisas realizadas pela equipe de pesquisadores do Instituto Agronômico (IAC), da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), no noroeste do estado de São Paulo.

Sistema de semeadura direta

O sistema de semeadura direta pode gerar grandes benefícios ao meio ambiente, sendo considerado o manejo mais sustentável e eficaz na conservação do solo e da água. Na safra 2017/18, a área cultivada com esse sistema no Brasil foi de mais de 33 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2023). Essa conservação do solo e da água se deve à cobertura permanente do solo, ou seja, a manutenção do solo coberto durante todo o ano por uma camada de palha (palhada), e complementada pelo não revolvimento do solo e rotação

de culturas, os quais proporcionam a formação e manutenção de bioporos no solo.

A cobertura permanente, o não revolvimento e a rotação de culturas são os três pilares necessários para se ter um eficiente sistema de semeadura direta. Com isso, se tem uma redução do impacto direto da gota da chuva e da velocidade de escoamento superficial da água, melhorando sua infiltração no solo e evitando perdas de solo por erosão. Também há uma diminuição da amplitude térmica do solo, o que proporciona redução da evapotranspiração e manutenção da umidade do solo. Além disso, no sistema de semeadura direta ocorre ciclagem de nutrientes, aumento do teor de matéria orgânica, redução na infestação de plantas daninhas, redução no consumo de combustível e expansão da “janela de semeadura”.

No entanto, a utilização da palhada originada pelos resíduos vegetais de culturas anteriores e de plantas daninhas geralmente é insuficiente para a plena cobertura do solo, devido às altas temperaturas e umidade nos trópicos que promovem sua rápida decomposição (Stone *et al.*, 2006). Por essa razão, para se manter o solo coberto durante todo o ano, na maioria das vezes, é necessário a utilização de culturas com o objetivo principal de formação de palhada para o sistema de semeadura direta, as chamadas plantas de cobertura.

À medida que o sistema de semeadura direta foi substituindo o sistema de preparo convencional do solo, o interesse pelas plantas de

cobertura aumentou, uma vez que, associadas aos preparos conservacionistas, tais plantas favorecem o controle da erosão e, ao mesmo tempo, podem resultar na melhoria dos atributos físicos e químicos do solo, o que reflete em aumento da produtividade das culturas (Trabuço, 2008).

Na escolha das plantas de cobertura é fato decisivo conhecer sua adaptação à região onde será cultivada e sua habilidade em crescer em um ambiente menos favorável, uma vez que as culturas comerciais são estabelecidas nas épocas mais propícias. Além disso, deve-se levar em consideração a produtividade de fitomassa, disponibilidade de sementes, as condições do solo, rusticidade quanto à tolerância do déficit hídrico, a possibilidade de utilização comercial e o potencial dessas plantas serem hospedeiras de pragas e doenças (Alvarenga *et al.*, 2001).

Para auxiliar os produtores, principalmente da região noroeste do estado de São Paulo, na escolha de plantas de cobertura a serem utilizadas em rotação com soja e milho, foi desenvolvido o projeto de pesquisa “Plantas de cobertura em rotação com soja e milho” de 2008 a 2010, em parceria entre o Centro Avançado de Pesquisa e Desenvolvimento de Seringueira e Sistemas Agroflorestais/IAC, em Votuporanga (SP), a APTA Regional de Andradina, ambos da APTA, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA), a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), da Universidade

Estadual Paulista (UNESP), financiado pela Fundação Agrisus - Agricultura Sustentável.

Foram utilizadas cinco plantas de cobertura: sorgo granífero (*Sorghum bicolor*), milheto (*Pennisetum americanum*), capim-sudão (*Sorghum sudanense*), híbrido de sorgo com capim-sudão e capim-ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*-Syn. *Brachiaria ruziziensis*). Nessa pesquisa foi verificado o acúmulo médio de nutrientes pelas plantas de cobertura de 366, 92 e 344 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente (Borges *et al.*, 2014a), a redução da infestação de plantas daninhas em mais de 90% e a cobertura do solo superior a 80% até o florescimento da cultura da soja

pelo capim-ruziziensis e capim-sudão (Borges *et al.*, 2014b).

Considerando-se que as emissões de NO e N₂O em solos agrícolas estão fortemente associadas à fertilização nitrogenada (Carvalho *et al.*, 2006), verifica-se, pelos resultados obtidos nesse estudo, que a utilização de plantas de coberturas se mostra como importante ferramenta no manejo da adubação das culturas, podendo-se reduzir a adubação química e, conseqüentemente, reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, as plantas de cobertura mostraram-se também como importante ferramenta no manejo das plantas daninhas, podendo-se reduzir o uso de herbicidas.



Figura 1. Capim-sudão, Votuporanga (SP). Foto: Borges, W. L. B. (2008).



Figura 2. Capim-ruziziensis, Votuporanga (SP). Foto: Borges, W. L. B. (2008).



Figura 3. Sistema de semeadura direta de soja sobre as plantas de cobertura, Ilha Solteira (SP). Foto: Borges, W. L. B. (2009).



Figura 4. Sistema de semeadura direta de milho sobre as plantas de cobertura, Ilha Solteira (SP). Foto: Borges, W. L. B. (2010).

Sistemas agrossilvipastoris

De acordo com a Organização das Nações Unidas (2023), a população mundial deverá chegar aos 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e exceder os 10 bilhões em 2080, e segundo a FAO (2015, 2016), a rápida expansão populacional, a mudança climática e a degradação dos recursos hídricos e fundiários devem tornar o mundo mais vulnerável à insegurança alimentar. No atual ritmo de consumo, em 2050, o mundo precisará de 60% mais alimentos e 40% mais água. Para que a fome e a insegurança alimentar recuem, a produção de alimentos precisaria crescer em um nível superior ao da população, e isso teria de ocorrer principalmente nas áreas já utilizadas para a agricultura, com o uso mais intensivo e sustentável da terra e da água.

Uma alternativa para reverter esse cenário seria a adoção de sistemas integrados de produção agropecuária, reconhecidos como alternativas fundamentais para sustentabilidade dos sistemas de produção (FAO, 2010). Esses sistemas proporcionam avanços agrônômicos, por meio da recuperação e manutenção das características produtivas do solo; econômicos, por meio da diversificação de oferta e obtenção de maiores rendimentos a menor custo e com qualidade superior; ecológicos, por meio da redução da erosão e da biota nociva às espécies cultivadas, com a consequente redução da necessidade de defensivos agrícolas e sociais, por meio da diluição da renda, já que as atividades pecuárias e agrícolas concentram e distribuem renda, respectivamente.

Os sistemas integrados de produção agropecuária podem ser classificados em quatro modalidades distintas: a) integração lavoura-pecuária ou agropastoril, sistema de produção que integra os componentes agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos; b) integração pecuária-floresta ou silvipastoril, sistema de produção que integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio; c) integração lavoura-floresta ou silviagrícola, sistema de produção que integra os componentes florestal e agrícola pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes); d) integração lavoura-pecuária-floresta ou agrossilvipastoril, sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área (Balbino *et al.*, 2011).

A escolha das espécies a compor o sistema tem relação direta com a viabilidade da atividade. As espécies arbóreas devem ter rápido estabelecimento e copa pouco adensada, e as espécies agrícolas e forrageiras devem apresentar tolerância às condições do cultivo, pois a concorrência por luminosidade, água e nutrientes pode afetar o componente agrícola e resultar em perdas de produtividade (Vieira; Schumacher, 2011; Vilela *et al.*, 2011).

Para que os sistemas de produção agropecuária sejam viáveis, devem ser identificados regionalmente sistemas de média e longa duração que integrem a produção de grãos com a

de pastagens perenes que predominam localmente (Santos *et al.*, 2011).

Com o objetivo de auxiliar os produtores, principalmente da região noroeste do estado de São Paulo, diversas pesquisas com sistemas integrados de produção vêm sendo desenvolvidos no Centro Avançado de Pesquisa e Desenvolvimento de Seringueira e Sistemas Agroflorestais/IAC, desde 2009. Nessas pesquisas têm-se verificado o efeito desses sistemas sobre as características fitotécnicas das culturas, sobre o solo e sobre o ambiente.

Em uma área com pastagem degradada de aproximadamente de 10 hectares foi instalada uma área experimental para pesquisas científicas e para ser utilizada como vitrine tecnológica com sistema agrossilvipastoril (silviagrícola na fase inicial e silvipastoril após dois anos). Durante as safras 2009/10 e 2010/11, foi cultivado soja (Figura 5), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e milho + capim-marandu (*U. brizantha* syn. *B. brizantha*) cultivar Marandu (Figura 6) nas entrelinhas de dois híbridos de eucalipto: Urograndis H-13 (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) e Grancam 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*). Após a colheita do milho, realizada em abril de 2011, a área continuou com o consórcio entre os híbridos de eucalipto e capim-marandu (Figura 7). A partir de setembro de 2011, bovinos de corte recém-desmamados foram introduzidos na área. O sistema de pastejo é o contínuo e a taxa de lotação varia conforme a oferta de forragem. Os animais permanecem na área até o momento do abate e então são substituídos por novos animais mestiços recém-desmamados.



Figura 5. Eucalipto e soja em sistema silviagrícola, Votuporanga (SP). Foto: Borges, W. L. B. (2010).



Figura 6. Eucalipto e milho em sistema silviagrícola, Votuporanga (SP). Foto: Borges, W. L. B. (2011).



Figura 7. Eucalipto e capim-marandu em sistema silvipastoril, Votuporanga (SP). Foto: Borges, W. L. B. (2014).

Nessa área experimental foi desenvolvido o projeto de pesquisa “Balanço de carbono e qualidade da matéria orgânica em sistemas de integração agricultura-pecuária”, em parceria com a Faculdade de Ciências Agrárias - FCA/UNESP e financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Após seis anos de instalação, constatou-se que o sistema agrossilvipastoril proporcionou um sequestro total de carbono com o eucalipto, o capim-marandu, o solo e as raízes do eucalipto e do capim-marandu de 102,5 toneladas por hectare enquanto um sistema com pastagem convencional, também com capim-marandu e anexa à área experimental, propiciou um sequestro total de carbono com capim-marandu, o solo e as raízes do capim-marandu de 74,9 toneladas por hectare (Sarto *et al.*, 2020).

Em uma área experimental com sistema agropastoril, implantado na safra 2011/12, foi desenvolvido o projeto de pesquisa “Milho e sorgo forrageiro em sistemas de integração lavoura-pecuária com quatro forrageiras”, durante as safras 2014/15 a 2016/17 em parceria com o Centro de Ciências Agrárias - CCA, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e a FCA/UNESP e financiado pela Fundação Agrisus - Agricultura Sustentável. Nesse sistema, bovinos de corte recém-desmamados foram introduzidos sessenta dias após a colheita do milho e retirados trinta dias antes da semeadura da soja. O sistema de pastejo utilizado é o contínuo e a taxa de lotação depende da oferta de forragem. As culturas utilizadas no sistema, no período de setembro de 2011 a agosto de 2014, estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Culturas utilizadas no período de setembro de 2011 a agosto de 2014

2011/12		2012/13		2013/14	
set/mar	abr/ago	set/mar	abr/ago	set/mar	abr/ago
milho + capim- -marandu	———— capim-marandu ————			soja	crotalária juncea

A partir da safra 2014/15 foram testadas quatro forrageiras: capim-marandu, capim-ruziziensis, *Urochloa* híbrida e capim-aruaa (*Megathyrsus maximum* cv. Aruana). Nessa pesquisa, quando se consorciou as forrageiras

com milho e com sorgo forrageiro, houve um aumento na produtividade de biomassa das culturas de 30% e 50%, respectivamente (Sarto *et al.*, 2021), mostrando a importância da utilização de sistemas integrados de produção.



Figura 8. Milho e capim-marandu em sistema agropastoril, Votuporanga (SP). Foto: Borges, W. L. B. (2015).

Em outra área experimental com sistema agropastoril, implantada na safra 2015/16 com o cultivo de milho na primeira safra e crotalária juncea na segunda safra e utilizando na safra seguinte (2016/17) milho em consórcio com capim-ruziziensis, foi desenvolvido o projeto de pesquisa "Aplicação de calcário, gesso e cal hidratada em sistema agropastoril", em parceria com a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) e as empresas Votorantim Cimentos - Viter Agro e Agronelli Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários Ltda., durante as safras 2017/18 a 2019/20. Na safra 2017/18 foi cultivada soja na primeira safra e crotalária juncea na segunda safra. Na safra 2018/19 foi cultivado milho em consórcio com capim-marandu na primeira safra. Nesse sistema, os animais, bovinos de corte recém-desmamados, foram

introduzidos setenta e um dias após a colheita do milho e permaneceram em sistema de pastejo contínuo até o momento do abate, sendo que a taxa de lotação dependeu da oferta de forragem.

Nessa pesquisa foram testadas diferentes metodologias de aplicação de calcário, gesso e cal hidratada: aplicação de calcário e gesso em superfície no 1º ano e calcário em superfície no 2º e 3º ano; aplicação de calcário e gesso incorporados no 1º ano e ambos em superfície no 2º e 3º ano; aplicação de calcário incorporado no 1º ano e em superfície no 2º e 3º ano; aplicação de cal hidratada e gesso em superfície; aplicação de cal hidratada em subsuperfície e gesso em superfície no 1º ano e cal hidratada em superfície no 2º e 3º ano. Essas metodologias foram comparadas a um sistema sem o uso de calcário, gesso e cal hidratada e sem revolvimento do solo.



Figura 9. Soja aos 67 dias após a semeadura. Foto: Borges, W. L. B. (2018).

Em relação à produtividade das culturas, verificou-se que a incorporação do calcário não é uma alternativa viável à aplicação de calcário em superfície, pois não refletiu em aumento de produtividade das culturas da soja, milho e capim-marandu (Borges *et al.*, 2022a), além de apresentar todas as desvantagens do preparo convencional do solo em relação ao sistema de semeadura direta, como maior consumo de combustível e emissão de CO₂.

Considerando-se que as mudanças climáticas estão proporcionando maior ocorrência de veranicos durante o ciclo das culturas é necessário buscar tecnologias que proporcionem maior desenvolvimento do sistema radicular para que se tenha maior estabilidade da produtividade das culturas. Nesse estudo, constatou-se que todas as metodologias utilizadas corrigiram a acidez superficial (camada de 0 a 20 cm), aumentando o pH e a saturação por bases e reduzindo a acidez total, mas apenas a aplicação de cal hidratada em subsuperfície e gesso em superfície no 1º ano e cal hidratada em superfície no 2º e 3º ano aumentou o pH e a saturação por bases na camada de 40 a 80 cm (Borges *et al.*, 2022b), sendo essa uma tecnologia que pode mitigar os efeitos das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento e produtividade das culturas.

Referências

- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (eds.). **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília: EMBRAPA, 2011. 130 p.
- BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Absorção de nutrientes e alterações químicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 252-261, 2014a.
- BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 755-763, 2014b.
- BORGES, W. L. B.; HIPOLITO, J. L.; SOUZA, I. M. D.; JULIANO, P. H. G.; RODRIGUES, L. N. F.; ANDREOTTI, M. Methodologies for applying calcium compounds in agropastoral systems: Changes in soil chemical attributes. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 1, p. 771-783, 2022a.
- BORGES, W. L. B.; HIPOLITO, J. L.; TOKUDA, F. S.; GASPARINO, A. C.; FREITAS, R. S.; ANDREOTTI, M. Methodologies for the application of calcium compounds in agropastoral systems: Effects on crop yields. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 6, p. 5527-5540, 2022b.
- BUTTERFIELD, R. E.; MORISON, J. I. L. Modeling the impact of climatic warming on winter cereal development. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 62, p. 241-261, 1992.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R.; MIRANDA, L. N.; VIVALDI, L. J.; SOUSA, D. M. Emissão de óxidos de nitrogênio associada à aplicação de ureia sob plantio convencional e direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000400020>.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA - An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. **Integrated Crop Management**, v. 13, 64 p., 2010.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA - **Se o atual ritmo de consumo continuar, em 2050 mundo precisará de 60% mais alimentos e 40% mais água**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/68525-fao-se-o-atual-ritmo-de-consumo-continuar-em-2050-mundo-precisar%C3%A1-de-60-mais-alimentos-e-40>. Acesso em: maio 2023.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **"Pode faltar alimento para abastecer população mundial até 2050, diz ONU"**. 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2011/11/pode-faltar-alimento-para-abastecer-populacao-mundial-ate-2050-diz-onu.html>. Acesso em: jan. 2016.

FEBRAPDP - FEDERAÇÃO BRASILEIRA DO SISTEMA PLANTIO DIRETO. **Evolução da área sob Plantio Direto no Brasil - 1972 a 2018**.

Foz do Iguaçu: FEBRAPDP, 2023. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/14588evolucao-pd-no-bbasil-2021-jpg.jpg>. Acesso em: maio 2023.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change**: the IPCC scientific assessment. Cambridge: University Press, 1995. 288 p.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2022**: Mitigation of climate change. 2022. 52 p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf. Acesso em: maio 2023.

MÜLLER, M. D.; FERNANDES, N. F.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. Estimativa de Acúmulo de Biomassa e Carbono em Sistema Agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 11-17, 2009. Edição Especial.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Global Issues. Population**: Our growing population. 2023. Disponível em: <https://www.un.org/en/global-issues/population#:~:te3.xt=Our%20growing%20population&text=The%20world's%20population%20is%20expected,billion%20in%20the%20mid%2D2080s>. Acesso em: maio 2023.

PIVA, J. T.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MORAES, A.; PAULETTI, V.; TOMAZI, M.; PERGHER, M. No-till reduces global warming potential in a subtropical Ferralsol. **Plant and Soil**, v. 361, p. 359-373, 2012.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; DREON, G. Fertilidade e teor de matéria orgânica do solo em sistemas

de produção com integração lavoura e pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 3, p. 474-82, 2011.

SARTO, M. V. M.; BORGES, W. L. B.; SARTO, J. R. W.; RICE, C. W.; ROSOLEM, C. A. Deep soil carbon stock, origin, and root interaction in a tropical integrated crop-livestock system. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 5, p. 1865-1877, 2020.

SARTO, M. V. M.; BORGES, W. L. B.; BASSEGIO, D.; RICE, C. W.; ROSOLEM, C. A. Maize and sorghum root growth and yield when intercropped with forage grasses. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 6, p. 4900-4915, 2021.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.; BRAZ, A. J. B. P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 577-582, 2006.

STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, v. 35, p. 734-744, 2005.

STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1351-1359, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood City: Benjamin/Cummings Pub. Co., 1991. 559 p.

TRABUCO, M. **Produção de milho em plantio direto após plantas de cobertura**. 2008. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V. Biomassa em povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra e do milho em sistema agrosilvicultural. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 259-265, 2011.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.



SOLOS E RECURSOS AMBIENTAIS

As pesquisas do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais para a Segurança Alimentar, Sustentabilidade e Impacto das Mudanças Climáticas

Heitor Cantarella*, Adriana Parada Dias Silveira, Aline Renée Coscione, Êstevão Vicari Mellis, Fernando César Bachiega Zambrosi, Isabela Clerici De Maria, Jener Fernando Leite de Moraes, Luiz Antonio Junqueira Teixeira, Márcio Koiti Chiba, Matheus Aparecido Pereira Cipriano, Mônica Ferreira Abreu, Ricardo Marques Coelho, Ronaldo Severiano Berton

*heitor.cantarella@sp.gov.br

Introdução

As ações do Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais (CSRA) são transversais às dos centros de cultura, oferecendo subsídios para os programas de melhoramento de plantas e manejo agrícola. Além disso, o CSRA tem várias linhas de pesquisa e atividades diretamente relacionadas à sustentabilidade ambiental e segurança alimentar, além de avaliar os impactos de práticas agrícolas e suas relações com as mudanças climáticas. Esse é, por exemplo, o caso das pesquisas em manejo nutricional de culturas. Avanços sobre o uso de gesso e calcário permitem recomendações de manejo aos agricultores, que estimulem o aprofundamento do sistema radicular, vital para aumentar a eficiência de uso de fertilizantes e para melhorar a absorção de água do solo. Este último aspecto é importante para reduzir o impacto de secas, que se tornam mais frequentes com as mudanças climáticas.

Aumentar a produtividade e, assim, diminuir a necessidade da expansão de áreas agrícolas para atender à demanda por alimentos e energia, é um dos grandes desafios para os agricultores brasileiros, frente aos impactos causados pelas mudanças climáticas. As pesquisas realizadas pelo CSRA têm gerado novas recomendações de adubação, capazes de proporcionar ganhos de produtividade e qualidade dos produtos. Dentre essas, as

novas recomendações de manejo de micronutrientes em cana-de-açúcar têm se destacado. A adubação adequada com esses nutrientes, especialmente zinco e molibdênio, tem proporcionado ganhos de produtividade de até 16%. Além do efeito direto na produtividade da biomassa, pesquisas recentes indicam que a aplicação de Zn, Mn e Mo podem aumentar a eficiência da calagem e de assimilação de nitrogênio pela cultura, além de aumentar a resistência a doenças, tornando a energia proveniente da cana-de-açúcar mais limpa e sustentável (Mellis *et al.*, 2022; Mesquita *et al.*, 2019; Mellis *et al.*, 2016).

A organização de dados de pesquisa de dezenas de trabalhos, com as mais variadas culturas para o preparo de recomendações técnicas, é uma maneira efetiva de transferir tecnologia e informações para o setor produtivo. Um exemplo é o Boletim 100: Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo (B-100) (Figura 1), lançado em 2022 (Cantarella *et al.*, 2022). A publicação, que contou com a participação de 127 autores, tem recomendações para mais de uma centena de espécies de interesse agrícola. As instruções veiculadas no B-100 visam o uso, com embasamento científico, de insumos importantes para otimizar a produção, compatibilizando retorno econômico e ambiental. É ferramenta importante para a segurança alimentar.



Figura 1. Boletim 100. Recomendações técnicas para manejo nutricional de mais de 100 espécies de interesse agrícola e Ensaio de Proficiência para laboratórios de análise de solo: duas ações com impacto direto para a segurança alimentar.

O CSRA coordena, desde 1984, o Ensaio de Proficiência para laboratórios de análise de solo, que visa auxiliar laboratórios públicos e privados a ajustar procedimentos de análise de solo, com base em métodos analíticos especialmente desenvolvidos para os solos tropicais e oferecer serviços de qualidade aos agricultores. A análise de solo é a ferramenta de diagnóstico mais importante utilizada na agricultura, em nível mundial. Ela é fundamental para orientar as modernas práticas de manejo da fertilidade do solo, com implicações diretas tanto para a sustentabilidade da agricultura quanto

para a segurança alimentar. O Ensaio de Proficiência do IAC conta atualmente com 171 laboratórios, de vários países.

O solo é o grande reservatório de carbono do planeta. Há mais carbono no solo do que na atmosfera. As pesquisas sobre manejo do solo estão intimamente ligadas a questões ambientais.

Alterações em manejo do solo que induzam à mineralização da matéria orgânica (e consequente emissão de CO₂ para a atmosfera) ou aumento do teor de matéria orgânica no solo (práticas conservacionistas, uso de adubos orgânicos, plantio direto,

integração lavoura-pecuária-floresta) podem implicar em aumento ou mitigação de gases de efeito estufa. Desse modo, as pesquisas sobre manejo do solo estão intimamente ligadas a questões ambientais importantes. Os fertilizantes, especialmente os nitrogenados, são responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE). Estima-se que, para cada quilograma de nitrogênio utilizado na agricultura, cerca de 10 kg de CO_{2e} sejam emitidos para a atmosfera. As pesquisas realizadas no CSRA associando o uso de fertilizantes, minerais e orgânicos, às emissões de GEE, são importantes para a obtenção de inventário apropriado das emissões e também para a busca de medidas mitigadoras (Carvalho *et al.*, 2021).

Nutrição de plantas e estresses ambientais

Práticas de manejo que mitiguem os efeitos dos estresses ambientais, como seca e calor, sobre a produtividade das plantas alimentícias e qualidade do produto colhido, são fundamentais para a segurança alimentar. Nesse contexto, estudos voltados ao uso de nutrientes como indutores da tolerância aos estresses abióticos são importantes para melhorar a estabilidade produtiva, sobretudo em um cenário de mudanças climáticas e crescente escassez de recursos naturais (Kumari *et al.*, 2022; Swain *et al.*, 2023).

Em consonância com os avanços nesta área, as pesquisas do CSRA têm focado no refinamento do manejo nutricional como estratégia para mitigação dos estresses abióticos. Por

exemplo, trabalho recente mostrou que a manutenção de adequada disponibilidade de fósforo (P) durante o período reprodutivo é essencial para a tolerância da soja ao estresse térmico na fase de enchimento de grãos (Laira, 2021; Figura 2). Pesquisas complementares estão sendo realizadas para oferecer alternativas de fornecimento de P às plantas sob ondas de calor, para a qual a adubação foliar tem sido apontada como estratégia promissora. Estudos preliminares revelaram efeito positivo da pulverização com P na redução do abortamento de vagens e grãos em plantas sob estresse térmico. Além disso, resultados recentes mostraram ganhos de produtividade e absorção de P em resposta à tal prática, especialmente para plantas submetidas à deficiência do nutriente (Duarte *et al.*, 2022). Em função da escassez de P em solos intemperizados e do impacto positivo do P na tolerância aos estresses ambientais, o contínuo ajuste da adubação fosfatada é fator-chave para produção de alimentos na região tropical.

O refinamento do manejo nutricional é um caminho para a estabilidade produtiva sob condições adversas. Plantas adequadamente nutridas têm maior resiliência às mudanças climáticas. Alterações no programa de adubação são acessíveis aos agricultores e de implementação relativamente fácil em condições de campo, sem necessidade de altos investimentos para as necessárias adaptações. A agricultura familiar deve ser o principal alvo de difusão desses conhecimentos.

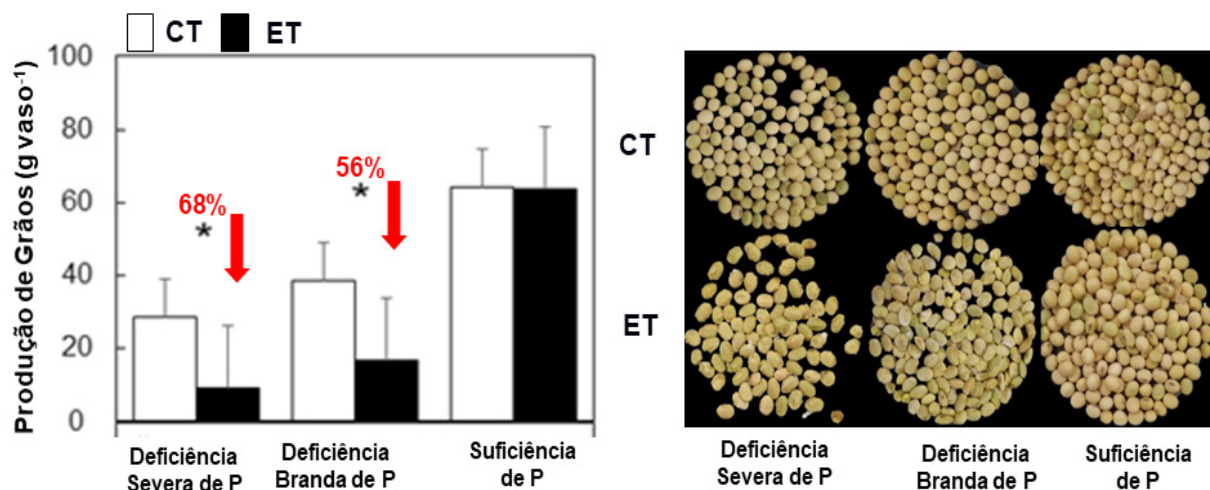


Figura 2. Efeito da disponibilidade de fósforo (P) após o florescimento sobre a tolerância da soja ao estresse térmico, durante a fase de enchimento de grãos. Observa-se que plantas deficientes em P apresentaram menor produção de grãos sob estresse térmico (ET, 42/28,5 °C) do que no controle (CT, 28/18 °C). Além disso, os grãos produzidos nas plantas cultivadas sob restrições de P e ET foram malformados e com menor peso específico do que aqueles das plantas do tratamento CT. As barras verticais indicam o erro-padrão da média (n=3). Fonte: Laira, M. D. (2021).

Controle da qualidade do composto gerado a partir de poda de árvores e de lodo de esgoto

A compostagem é uma técnica milenar que transforma a matéria orgânica dos restos vegetais e de outros materiais orgânicos em adubo orgânico, com diversas vantagens para o meio ambiente, como a retenção do carbono no solo e a reciclagem de nutrientes essenciais ao crescimento das plantas. O carbono orgânico melhora a fertilidade do solo e a adição de nutrientes diminui ou mesmo elimina os gastos com adubos químicos e corretivos do solo.

O Laboratório de Análises de Fertilizantes e Resíduos, do CSRA realiza o controle de qualidade do

composto gerado pela Usina Verde de Compostagem de Campinas, com produção de 100 toneladas diárias que já está sendo expandida para 220 toneladas/dia (Figura 3). O composto é uma mistura de 2/3 de restos de poda de árvore picada com 1/3 de lodo de esgoto (LE) produzido nas Estações de Tratamento de Esgoto do município de Campinas. A mistura passa por processo de compostagem, atingindo temperaturas acima de 60 °C, que reduzem drasticamente os possíveis patógenos presentes no lodo. Entretanto, o LE também pode sofrer a contaminação por metais pesados, como o chumbo e o níquel, os quais inviabilizam o seu destino agrícola, caso estejam em concentrações elevadas no lodo.



Figura 3. Máquina revolvendo uma pilha sendo compostada na Usina Verde de Compostagem de Campinas. Foto: Berton, R. S.

Dessa forma, faz-se necessário um controle de qualidade do composto para esses contaminantes, de forma a assegurar a aplicação segura desse material na lavoura. Desde a inauguração da Usina Verde de Compostagem, o IAC vem analisando o composto para a presença de patógenos e de metais pesados, e os resultados encontrados até o momento estão abaixo dos limites estabelecidos pela legislação federal.

Além disso, o Laboratório de Análises de Fertilizantes e Resíduos também analisa os teores de macro e de micronutrientes presentes no composto para ajudar o agricultor a calcular as quantidades de nutrientes aplicadas em sua propriedade. Recentemente, os pesquisadores do CSRA publicaram o livro "Compostagem para fins agrícolas" (Figura 4), versando sobre os fatores que influenciam a produção do composto, as legislações pertinentes e as quantidades a serem aplicadas em diversas culturas.



Figura 4. Livro sobre Compostagem para fins agrícolas.

Mudanças climáticas e modelagem hidrológica nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá

As alterações no uso e ocupação do solo influenciam diretamente o ciclo hidrológico pois tem impactos diretos nas temperaturas máximas e mínimas do ar, na evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial da água. As mudanças climáticas têm impacto direto nos recursos hídricos, afetando a disponibilidade de água doce, a intensidade das chuvas e a qualidade da água. Nesse contexto, questiona-se:

Qual o efeito das mudanças climáticas e das mudanças no uso e ocupação das terras agrícolas, ao longo dos anos, na disponibilidade hídrica de uma região?

A modelagem hidrológica na agricultura, compreende conceitos

matemáticos e físicos, utilizados para representar o ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica. É uma ferramenta de grande potencial para a compreensão e simulação de cenários de mudanças climáticas e do uso das terras, visando principalmente avaliar os impactos dessas mudanças na disponibilidade hídrica para as culturas. Para esses estudos, a integração de modelos hidrológicos com as geotecnologias, como os Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto, possibilitam não só a simulação de cenários climáticos e de uso e ocupação das terras, mas também a espacialização dos resultados, de acordo com as características edafoclimáticas de uma região. Para esses estudos são necessários dados primários, como mapas pedológicos, séries históricas de dados climáticos, informações sobre

relevo e mapas de uso e ocupação das terras, que irão ser integrados em um modelo de simulação hidrológica em

um Sistema de Informação Geográfica (SIG), conforme ilustrado na figura 5.

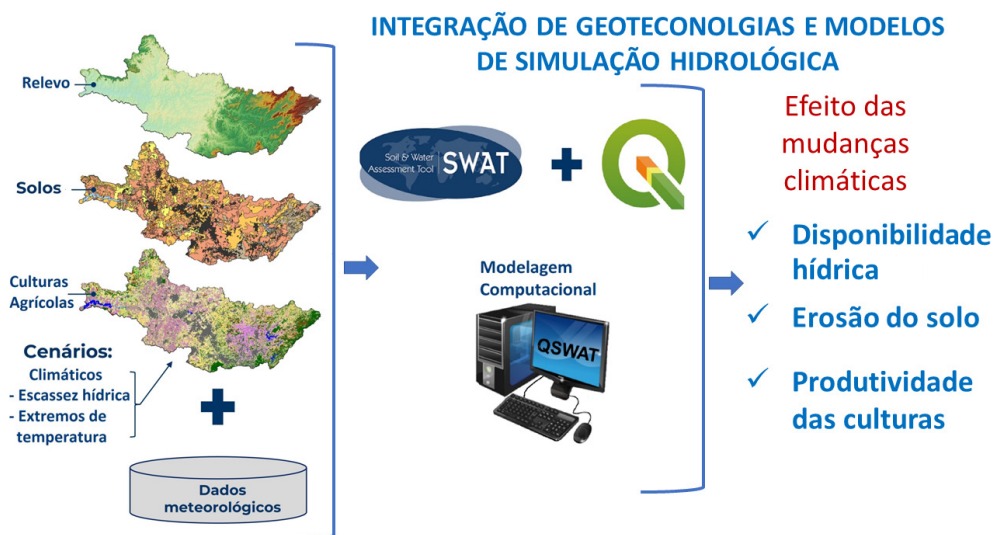


Figura 5. Integração de geotecnologias com o modelo de simulação hidrológica (SWAT-Soil and Water Assessment Tools). Fonte: Martins, W. A. (2020).

O IAC, em seu programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, vem desenvolvendo projetos de pesquisa que englobam as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí - PCJ, focando no impacto na vazão e recarga de aquíferos e no impacto das mudanças climáticas e do uso das terras na disponibilidade hídrica nas bacias daqueles rios. Os objetivos principais são dimensionar as mudanças no uso e ocupação das terras entre 1962 e 2021, bem como fazer projeções do efeito das mudanças climáticas globais na produção de água nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Ponto fundamental para a disponibilidade hídrica para as culturas é a manutenção

do chamado escoamento de base, constituído basicamente pela água que infiltra no solo e posteriormente escorre lateralmente em profundidade, essencial para a alimentação dos cursos d'água e reservatórios. Esses estudos permitiram a confecção de mapa pedológico para toda a bacia de drenagem do PCJ (Figura 6).

Um dos grandes benefícios da integração dos modelos hidrológicos com os Sistemas de Informação Geográfica é a possibilidade de simulação de cenários, tanto climáticos, como eventos extremos de seca, ou de temperaturas, como também alterações significativas no uso e ocupação das terras. Isso permite, por exemplo, avaliar o impacto dessas

alterações, no escoamento superficial da água das chuvas (Figura 7) e na produção de sedimentos gerados por processos erosivos (Figura 8). Práticas de manejo e conservação do solo também podem ser implementadas na modelagem, gerando resultados mais

precisos e coerentes com a realidade além de avaliar os benefícios de diferentes sistemas de manejo do solo, como o plantio direto, por exemplo, na redução do escoamento superficial e consequentemente dos processos erosivos.

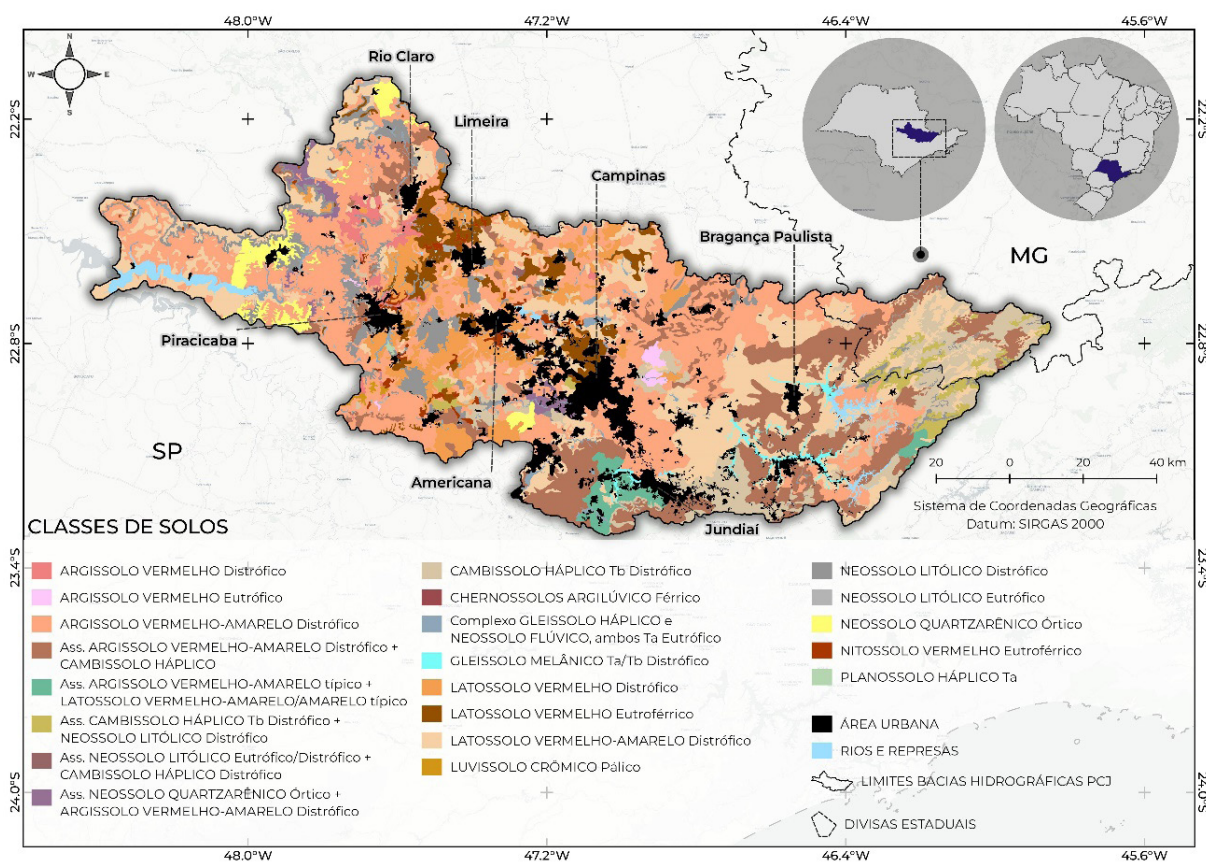


Figura 6. Mapa pedológico das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Atualizado a partir de Rossi (2017).

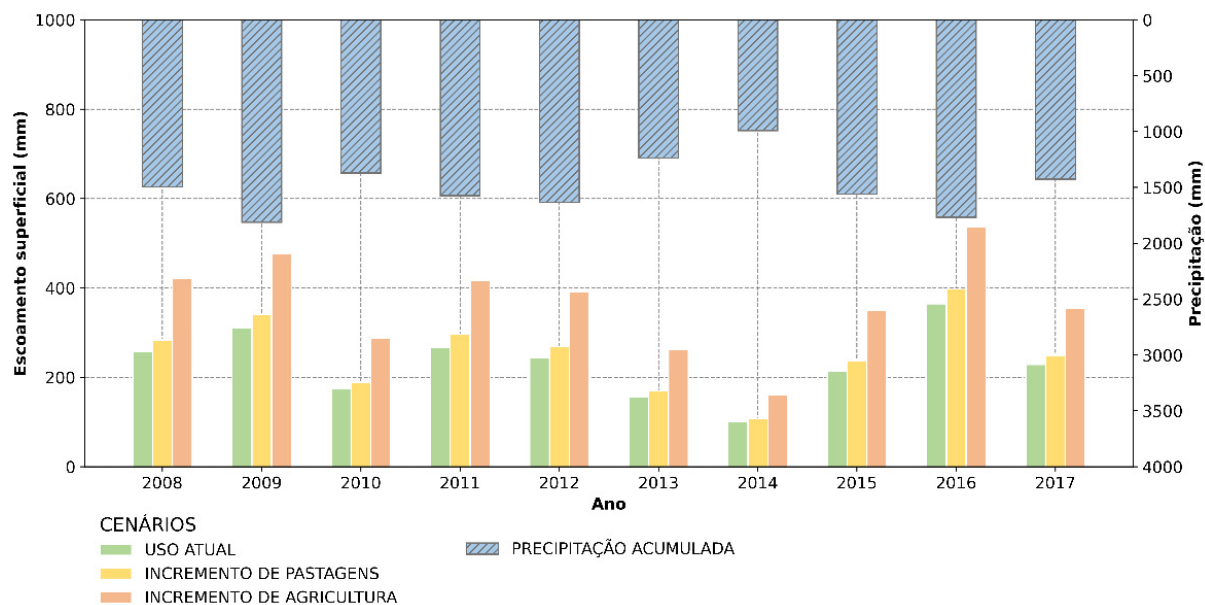


Figura 7. Escoamento superficial em função de cenários de uso e ocupação agrícola. Fonte: Martins, W. A. (2020).

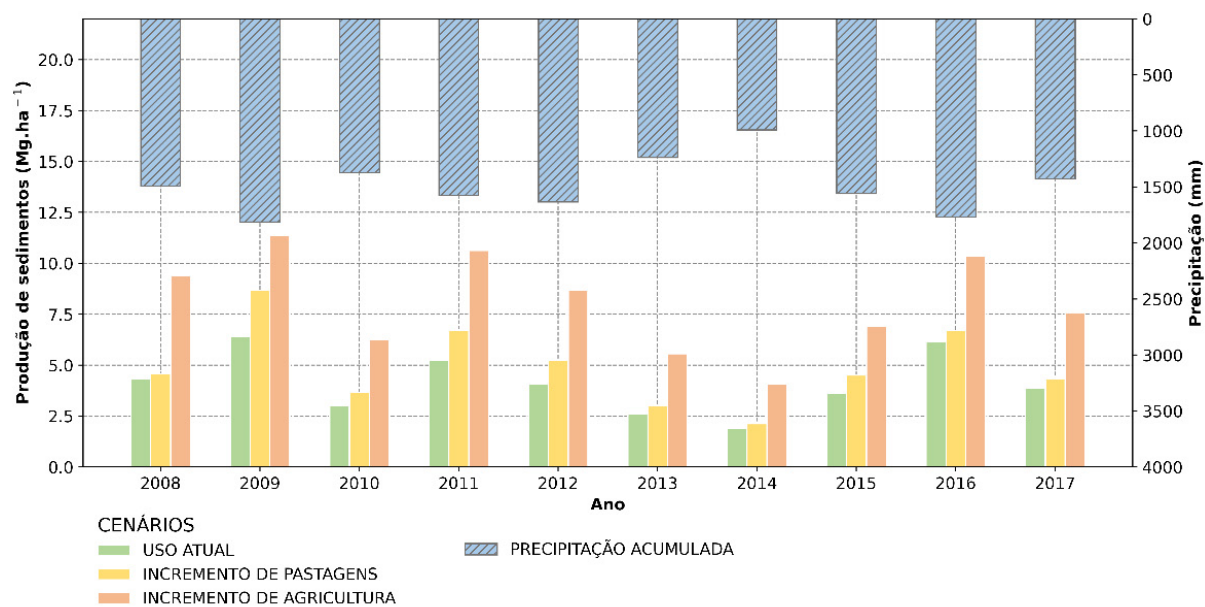


Figura 8. Produção de sedimentos pela erosão do solo em função de cenários de uso e ocupação agrícola. Fonte: Martins, W. A. (2020).

Microbiota do solo como mitigador dos efeitos das mudanças climáticas e garantia de sustentabilidade agrícola

Os serviços ecossistêmicos, oriundos da atividade microbiana do solo e da utilização de microrganismos benéficos a plantas, tornam-se a cada dia mais evidentes, na moderna agricultura com foco na sustentabilidade. Os microrganismos benéficos são representados por bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) - rizosféricas e endofíticas, e por fungos saprofíticos e micorrízicos (Cipriano *et al.*, 2021). Sua utilização na agricultura, como bioinoculantes, também chamados bioinsumos vem tendo crescimento exponencial (MAPA, 2022). Os bioinsumos podem substituir, mesmo que parcialmente, os insumos químicos, atendendo à demanda crescente por uma agricultura sustentável.

Resultados promissores têm sido obtidos com BPCPs, com o significativo incremento de biomassa das culturas mais diversas, tais como alface, cana-de-açúcar, café, entre outras. Os microrganismos utilizados fazem parte da coleção de Microrganismos

Benéficos da área de Microbiologia do Solo/IAC ou da empresa parceira, a startup BioStimulus. Bactérias com multifunções - fixação biológica de nitrogênio, produção de sideróforos e fitormônios, capacidade de solubilização de fosfatos, produção de exopolissacarídeos e de substâncias antagônicas, entre outras, são capazes de exercer diferentes ações que estimulam o crescimento da planta e controlam agentes patogênicos. Ganhos de 15% na produção de mudas de alface (Figura 9) além de maior precocidade na obtenção da muda, resultam em maior número de ciclos de produção e melhor eficiência no uso da estrutura de viveiros. Essas mesmas bactérias inoculadas na fase de campo causam um incremento de 24% na biomassa da alface (Figura 10), resultando em produto de melhor qualidade para comercialização. Os BPCPs multifuncionais também beneficiam a cana-de-açúcar em função de diferentes mecanismos, como o incremento de raízes de mudas pré-brotadas (MPB) (Figura 11) (Rossetto *et al.*, 2021), que favorecem a planta após transplante no campo, garantindo maior pegamento e adaptação.



Figura 9. Mudas de alface produzidas sem (controle) e com inoculação de isolado bacteriano IAC.



Figura 10. Produção de alface no campo, sem (A) e com inoculação de bactéria-IAC (B).

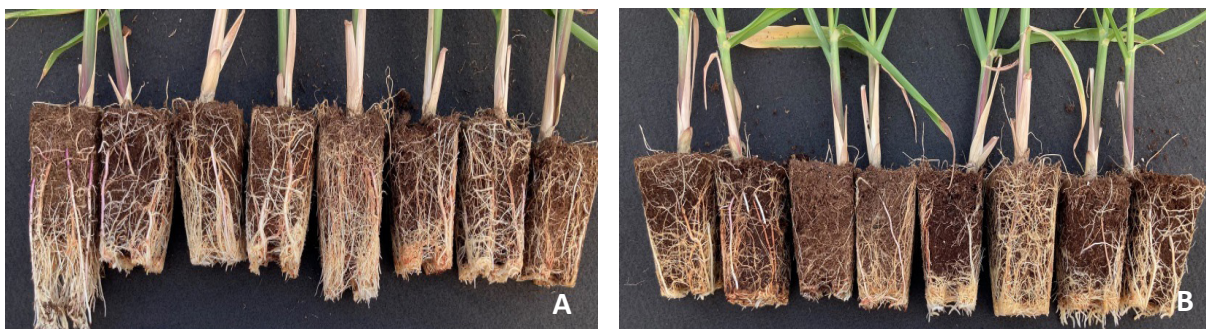


Figura 11. Enraizamento de MPB de cana-de-açúcar produzidas sem (A) e com BPCPs-IAC (B).

Fatores bióticos (patógenos e pragas) e abióticos (déficit hídrico, estresse térmico, desequilíbrio nutricional, excesso de metais pesados potencialmente tóxicos e outros), que interferem na interação planta-microrganismos benéficos, podem ser controlados ou mitigados. Em um cenário de mudanças climáticas, com eventos extremos mais frequentes, a contribuição desses microrganismos torna-se mais relevante, como constatado na mitigação de estresse hídrico em cana-de-açúcar (Figura 12). Mudanças de café também são beneficiadas quando produzidas com BPCPs, pois, além da promoção de crescimento da planta e controle de patógenos, a recuperação das mudas após a infecção pelo fitopatógeno (no exemplo *Phoma tarda* (Figura 13a) é mais eficiente,

mostrando efeito típico e desejado de bactérias multifuncionais. Doenças do cafeeiro, como a ferrugem (Figura 13b) e cercosporiose também têm sido controladas por meio de mudas previamente tratadas com BPCPs. O uso desses microrganismos torna o Brasil referência mundial na utilização de bio defensivos agrícolas no campo (MAPA, 2022). As possibilidades de atuação desses microrganismos são enormes e o avanço nos estudos tem permitido ampliar a prospecção de novos isolados, em diferentes culturas, sob diferentes condições de estresse. Além disso, a possibilidade de uso desses microrganismos com resíduos orgânicos contribui para aumentar a sustentabilidade da cadeia produtiva agrícola, visando segurança alimentar e mitigação dos efeitos negativos das mudanças climáticas.

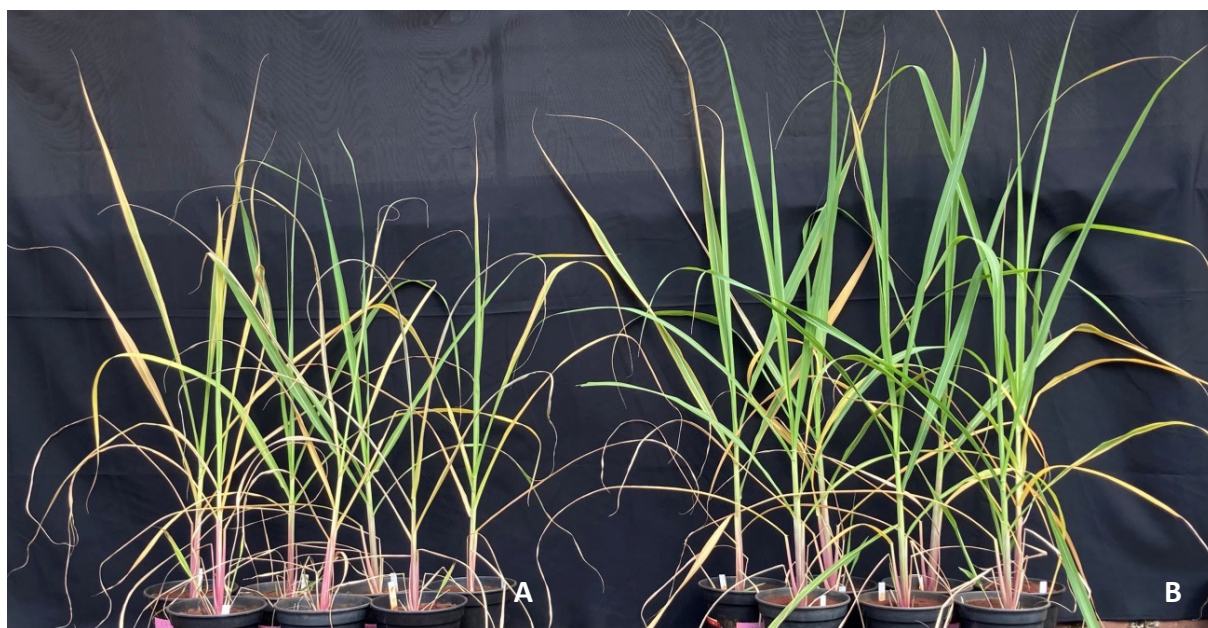


Figura 12. Desenvolvimento inicial de plantas de cana-de-açúcar sem (A) e com (B) inoculação de bactéria-IAC, sob condições de estresse hídrico.



Figura 13. Mudas de café produzidas sem (A) e com (B) tratamento com BPCP e sob influência do fitopatógeno *Phoma tarda* e folhas de café sem (C) e com (D) tratamento com BPCP e o efeito do fitopatógeno *Hemileia vastatrix*, responsável pela ferrugem do cafeeiro.

Mitigação dos efeitos negativos de mudanças climáticas envolve o constante monitoramento da saúde do solo, como forma de garantir a sustentabilidade econômica, social e ambiental da produção agrícola. Indicadores microbianos do solo (respiração basal, biomassa microbiana, atividade de enzimas, glomalina, diversidade genética e funcional da microbiota do solo entre outros), associados aos químicos e físicos, revelam o equilíbrio que o sistema agrícola deve alcançar, garantindo alto nível de qualidade do solo. O uso de indicadores sensíveis às mudanças da microbiota do solo, decorrentes de efeitos do clima, do manejo do solo e da cultura, é recomendado para monitoramento e tomada de decisão pelos agricultores.

A área de Microbiologia do Solo está comprometida com a bioprospecção de microrganismos benéficos em parcerias com outros centros de pesquisa do IAC e instituições de pesquisa como o Instituto Biológico, além de startups como a BioStimulus, produtores agrícolas e empresas do ramo de bioinsumos, a fim de aliar o conhecimento básico às novas tecnologias que possam suprir a demanda do mercado por produtos mais eficientes e sustentáveis.

Considerações finais

Os resultados das pesquisas apresentadas refletem ações dos pesquisadores do Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais na aprovação de projetos financiados

pelas principais agências de fomento do Brasil, além de parcerias com instituições de pesquisas de outros países, com empresas privadas e prefeituras municipais. Assim, o Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico desempenha papel importante na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias agrícolas sustentáveis, contribuindo para o avanço da agricultura, para a segurança alimentar, para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e preservação do ambiente.

Referências

- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van. (eds.) **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico, 2022. 489 p.
- CARVALHO, J. L. N.; OLIVEIRA, B. G.; CANTARELLA, H.; CHAGAS, M. F.; GONZAGA, L. C.; LOURENÇO, K. S.; BORDONAL, R. O.; BONOMI, A. Implications of regional N₂O-N emission factors on sugarcane ethanol emissions and granted decarbonization certificates. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, 111423, 2021.
- CIPRIANO M. A. P.; FREITAS-IÓRIO, R. P.; DIMITROV, M. R.; ANDRADE, S. A. L.; KURAMAE, E. E.; SILVEIRA, A. P. D. Plant-growth endophytic bacteria improve nutrient use efficiency and modulate foliar N-metabolites in sugarcane seedling. **Microorganisms**, v. 9, 479, 19 p., 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030479>.
- DUARTE, F. C.; CIPRIANO, M. A.; ANDRADE, S. A.; ZAMBROSI, F. C. B. Foliar application of phosphite reduces grain weight of soybean facing postflowering phosphorus deficiency. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 186, p. 30-37, 2022.
- KUMARI, V. V.; BANERJEE, P.; VERMA, V. C.; SUKUMARAN, S.; CHANDRAN, M. A. S.; GOPINATH, K. A.; VENKATESH, G.; YADAV, S. K.; SINGH, V. K.; AWASTHI, N. K. Plant nutrition: An effective way to alleviate abiotic stress in agricultural crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, 8519, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23158519>.
- LAIRA, M. D. **Tolerância da soja ao estresse por alta temperatura durante o enchimento de grãos depende da disponibilidade de fósforo no pós-florescimento**. 2021. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2021.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Mapa registra 46 defensivos agrícolas incluindo sete produtos biológicos**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias-2022/mapa-registra-46-defensivos-agricolas-incluindo-sete-produtos-biologicos>. Acesso em: 9 maio 2023.
- MARTINS, W. A. **Simulação hidrossedimentológica em bacia hidrográfica e avaliação da produção de sedimentos em função da recuperação progressiva da vegetação em áreas de preservação permanente**. 2020. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e

Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2020.

MELLIS, E. V.; QUAGGIO J. A.; BECARI, G. R. G.; TEIXEIRA, L. A. J.; CANTARELLA, H.; DIAS, F. L. F. Effect of micronutrients soil supplementation on sugarcane in different production environments: Cane plant cycle. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 5, p. 2060-2070, 2016.

MELLIS, E. V.; KÖLLN, O. T.; MOREIRA, L. A.; OTTO, R.; FERRAZ-ALMEIDA, R.; RAMOS, L. F.; ANDRADE, R. P.; JUNQUEIRA FRANCO, H. C. Molybdenum increases nitrogen use efficiency of sugarcane under limited N supply. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n. 9, p. 1360-1369. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2020834>.

MESQUITA, G. L.; TANAKA, F. A. O.; ZAMBROSI, F. C. B.; CHAPOLA, R.; CURSI, D.; HARBERMANN, G.; MASSOLA, N. S.; FERREIRA, V. P;

GAZIOLA, S. A.; AZEVEDO, R. A. Foliar application of manganese increases sugarcane resistance to orange rust. **Plant Pathology**, v. 68, p. 1, 2019.

ROSSETTO, L.; PIERANGELI, G. M. F.; KURAMAE, E. E.; XAVIER, M. A.; CIPRIANO, M. A. P.; SILVEIRA, A. P. D. Sugarcane pre-sprouted seedlings produced with beneficial bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. **Bragantia**, v. 80, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200276>.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118 p.

SWAIN, R.; SAHOO, S.; BEHERA, M.; ROUT, G. R. Instigating prevalent abiotic stress resilience in crop by exogenous application of phytohormones and nutrient. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1104874>.



CENTRO DE PROGRAMAÇÃO DE PESQUISA

Visão Estratégica do Centro de
Programação de Pesquisa (CPP) do
Instituto Agrônomo para Garantia
da Produção de Alimentos Frente aos
Desafios das Mudanças Climáticas e
da Produção Agrícola Sustentável
Riscos e Oportunidades

O Brasil tem conquistado reconhecimento internacional por sua notável eficiência na produção agrícola, consolidando-se como um dos grandes produtores de alimentos, bioenergia e fibras do mundo. A excelência demonstrada pelo agronegócio brasileiro não só impulsiona nossa economia, contribuindo com cerca de um quarto do Produto Interno Bruto (PIB) do país, mas também desempenha papel fundamental na construção de superávits comerciais, no desenvolvimento social, sustentável e econômico das regiões onde é implementado. Esses resultados transcendem as fronteiras econômicas, impactando diretamente a melhoria

da qualidade de vida e a geração de empregos para a sociedade, além de contribuir significativamente para a segurança alimentar mundial e produção de energia renovável. No epicentro desse sucesso, destaca-se o estado de São Paulo, que desempenha importante papel na manutenção do equilíbrio positivo na balança comercial.

Com cerca de 20% do PIB nacional proveniente do agronegócio, São Paulo é amplamente reconhecido por sua eficiência na produção agrícola, caracterizada pelo aumento da produtividade. A capacidade do agronegócio paulista de otimizar recursos, desenvolver e empregar tecnologias, não apenas garante posição de destaque no cenário agrícola mundial, mas aumenta a responsabilidade da sustentabilidade da produtividade apesar dos desafios das mudanças climáticas e da necessidade de produção de alimentos frente ao crescimento populacional global.

Dentre as transformações que fizeram São Paulo ser destaque na agricultura nacional, pode-se ressaltar a visão estratégica de D. Pedro II na criação do Instituto Agrônomo (IAC) em 1887. Tal iniciativa fez com que São Paulo fosse o primeiro estado a investir em Ciência e Tecnologia para impulsionar o agronegócio brasileiro e paulista, momento este que a cafeicultura estava desbravando o interior paulista e enfrentando problemas de ordem biológica, como os nematoides. Curiosamente, no ano de 1889, enquanto o Brasil estava proclamando a república, os pesquisadores do IAC estavam

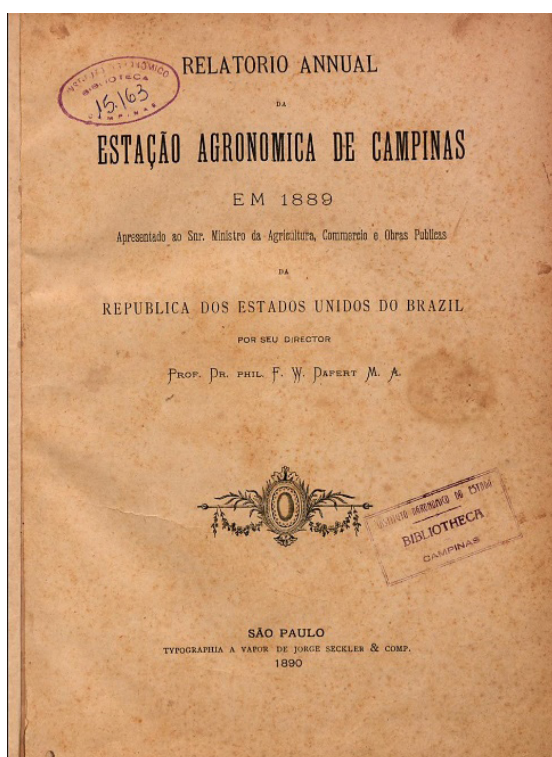


Figura 1. Relatório anual de pesquisa elaborado pelos pesquisadores do IAC em 1889 e publicado em 1890, na época “Estação Agrônômica de Campinas”.

publicando o primeiro relatório de pesquisa do Instituto, relatório este que pode ser acessado no acervo da Biblioteca do Instituto (Figura 1).

Ao longo dos anos, o que se viu foi o comprometimento do setor público em investir em pesquisa, contratando pesquisadores e criando universidades e centros de pesquisa estrategicamente posicionados nas principais regiões agrícolas do estado. Esse esforço resultou na concepção de programas de melhoramento genético vegetal e pacotes tecnológicos para a agricultura, que não apenas serviram como referência, mas também influenciaram positivamente universidades e na criação de outros

institutos de pesquisa em todo o país. Hoje, essas iniciativas se traduzem na excelência dos resultados obtidos na agricultura, tanto em São Paulo quanto em todo o território brasileiro.

Importante destacar que os resultados da pesquisa científica são conquistas que se desdobram ao longo do tempo, tornando evidente que as realizações e os ganhos atuais do agronegócio brasileiro são reflexos dos esforços e investimentos realizados há anos. Isso sublinha a importância do compromisso contínuo do setor público em fomentar e impulsionar a pesquisa científica, garantindo, desse modo, a sustentabilidade econômica do setor e a produção de alimentos e bioenergia para as próximas décadas.

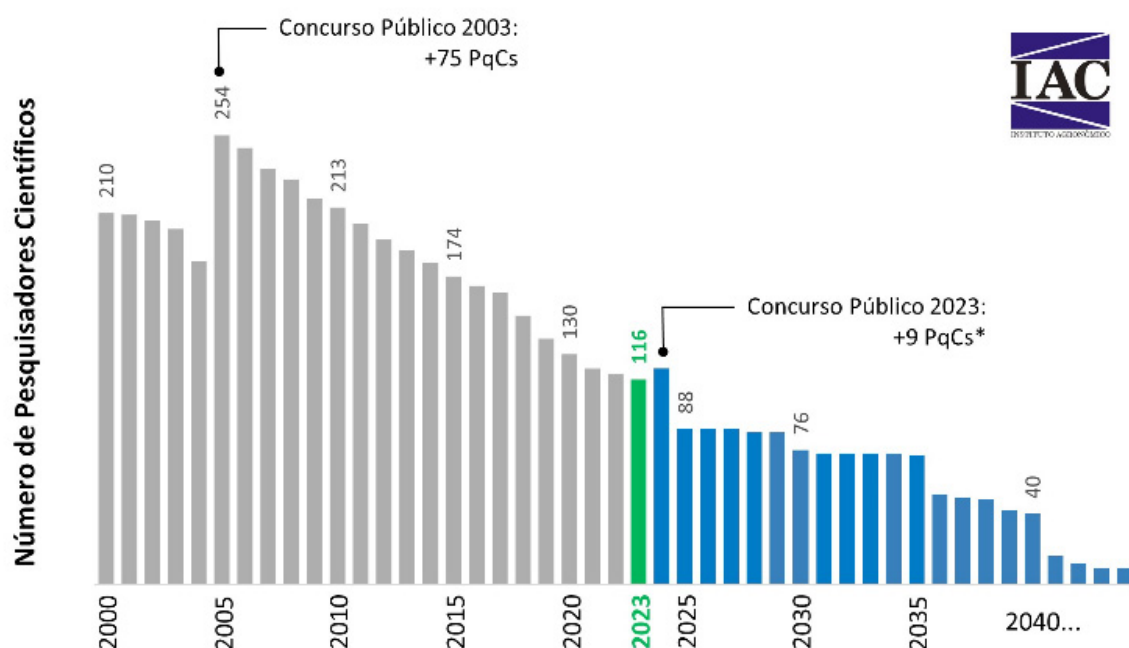


Figura 2. Declínio do número de pesquisadores científicos do IAC ao longo dos anos e projeção para as próximas décadas.

Como resultado da pesquisa, cultivares adaptadas para diferentes condições edafoclimáticas foram e são desenvolvidas pelo IAC. No total já foram mais de 1.150 cultivares de 104 diferentes espécies vegetais liberadas para a agricultura nacional e internacional. Notavelmente, algumas culturas que merecem destaque incluem cana-de-açúcar, laranja e café, nas quais o Brasil mantém sua liderança global na produção e exportação de açúcar, suco de laranja e café. O IAC desempenha papel relevante nesse sucesso, pois suas cultivares e tecnologias de produção são amplamente utilizadas em campo para essas culturas. Além destas, destaca-se o programa de melhoramento de porta-enxertos de videira, que contribuem para a produção de uvas no Vale do São Francisco, além de uva de mesa e vinho para o agro paulista. O

Instituto tem programas dedicados ao desenvolvimento de feijão, amendoim, seringueira, frutas e hortaliças, raízes e tubérculos, plantas ornamentais, aromáticas e medicinais, bem como a implementação de tecnologias sustentáveis, a eficiência na aplicação de defensivos, fertilidade e biologia do solo, nutrição de plantas, sustentabilidade com práticas de conservação do solo e da água e eficiência do uso da água na agricultura irrigada, monitoramento e estudo do clima e adaptação às diferentes culturas, boas práticas e técnicas relacionadas a pós-colheita e redução das emissões de gases de efeito estufa no sistema produtivo. Ou seja, as pesquisas desenvolvidas no IAC têm como foco tanto as culturas categorizadas como “commodities agrícolas” como de menor escala, sendo a base da agricultura familiar.



Figura 3. Objetivos de desenvolvimento sustentável da agenda 2030 abordados pela ONU (<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>). No centro o tema da Programação de Pesquisa do IAC.

No entanto, a eficiência da produção agrícola, impulsionada pelos avanços tecnológicos do IAC, encontra-se ameaçada devido à significativa redução no número de pesquisadores ao longo dos anos (Figura 2) e a demanda de tecnologias para áreas inovadoras na agricultura, sendo urgente o envolvimento de ações de políticas públicas para garantir a continuidade das pesquisas para o bem comum.

Esse cenário é ainda mais urgente, considerando a necessidade de pesquisas para assegurar a produção agrícola diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda global por alimentos sustentáveis. A segurança alimentar atrelada à produção agrícola sustentável faz parte dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS da Organização das Nações Unidas

(Figura 3), conforme estabelecido na Agenda 2030. Assim, visando contribuir para a geração de soluções tecnológicas que garantam a produção de alimentos em quantidade e qualidade, minimizando o uso de água e contribuindo com a redução das emissões de gases de efeito estufa nas próximas décadas, e em consonância com as ODS, o Instituto Agrônômico reorganizou a programação de pesquisa em temática transversal "Bioenergia e Segurança Alimentar: Desafios da Produção Agrícola Sustentável e Mudanças Climáticas". A programação integra diferentes competências para construir uma rede de pesquisa e desenvolvimento, orientada para a geração de conhecimento e desenvolvimento de tecnologias visando contribuir com a produção agrícola frente à crescente população mundial em condições de mudanças climáticas.

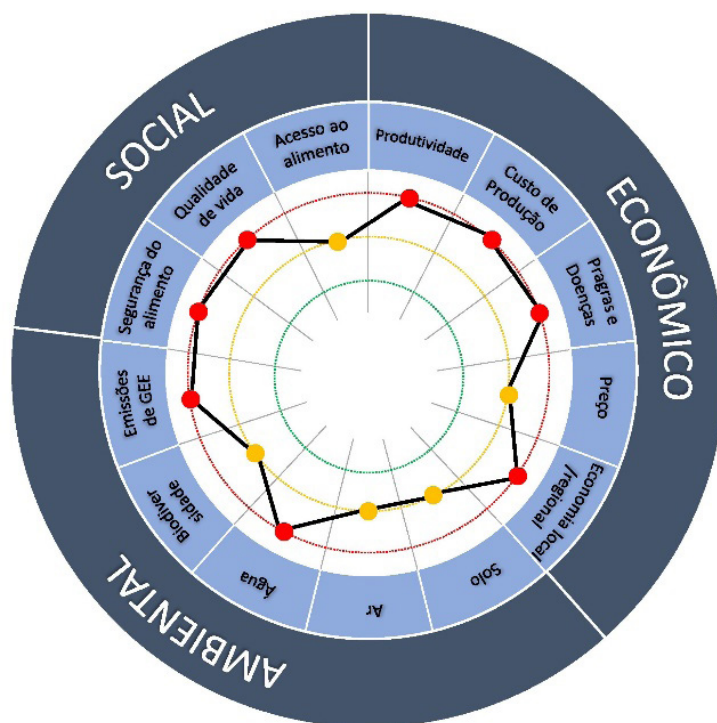


Figura 4. Esquema geral das análises de risco da sustentabilidade ambiental, econômica e social devido ao impacto das mudanças climáticas na produção de alimentos para as próximas décadas.

A reestruturação da programação de pesquisa foi um esforço conjunto de todos os pesquisadores do IAC, a qual foi construída em Workshop Institucional, ocorrido em 22 de março de 2023. No workshop foram discutidos e apresentados os riscos associados aos pilares sociais, econômicos e ambientais de todas as culturas agrícolas em que o IAC tem atuado, sob a óptica de 13 pontos críticos. Para cada ponto crítico os pesquisadores apontaram o nível de risco associado - alto (vermelho), médio (laranja), baixo (verde) e irrelevante (preto) - e sinalizaram se os efeitos das mudanças climáticas potencializavam o risco. Os apontamentos foram realizados em dois momentos distintos. Preliminarmente, os pesquisadores especialistas na área temática/cultura identificaram os riscos, o quais foram apresentados no workshop. Durante cada apresentação, os participantes expressaram as suas opiniões de forma síncrona por meio de aplicativo. Ao término, as informações foram consolidadas e o resultado é apresentado na figura 4. De modo geral, foi identificado que os efeitos das mudanças climáticas já afetam a produção agrícola, assim como deverão potencializar os riscos nas próximas décadas. No cenário ambiental, foi consenso que a escassez de água e a irregularidade na disponibilidade, já observada em muitas regiões, deverá ser fator de alto risco para todas as culturas, fato esse que poderá impactar, significativamente, todos os pontos críticos associados aos pilares

econômicos e sociais. Similarmente, a manutenção dos níveis de emissões de GEE, ou ainda, o seu aumento, ampliará os efeitos danosos do clima sobre as culturas agrícolas, impondo barreiras ainda maiores para a produção sustentável. Nesse sentido, pesquisas com foco no melhoramento genético para a obtenção de cultivares mais tolerantes ao estresse abiótico - em especial ao déficit hídrico e às altas temperaturas - e no desenvolvimento de tecnologias e soluções que minimizem a demanda por água ou otimizem o seu uso, garantindo a alta produtividade, formarão umas das áreas estratégicas da programação da pesquisa do IAC. No pilar econômico, ficou evidente que o aumento da temperatura global deverá causar um alto impacto na produção agrícola, seja influenciando a incidência de pragas e doenças seja alterando a produtividade e aumentando os custos de produção devido a necessidade de adequação das práticas agrícolas. Tal aspecto se mostra preocupante, uma vez que pode elevar os preços dos alimentos assim como inviabilizar a produção sustentável no campo, de forma mais expressiva em algumas culturas. Dessa forma, pesquisas com foco no melhoramento genético para a obtenção de cultivares mais tolerantes ao estresse biótico - em especial às pragas e doenças - e no desenvolvimento de tecnologias e técnicas mais sustentáveis de produção, formarão outras áreas estratégicas da programação da pesquisa do IAC. Por fim, e diretamente impactado pelos

aspectos econômicos e ambientais, o pilar social demonstrou que a produção agrícola, em quantidade e qualidade, nas próximas décadas será um grande desafio, principalmente em vista do crescimento da população mundial. Com isso, tanto o acesso ao alimento quanto a qualidade de vida das pessoas poderão ser impactadas.

Diante desse novo cenário e visando ampliar as contribuições do IAC para o crescimento e o desenvolvimento

da agricultura nacional e global, com foco na sustentabilidade ambiental, econômica e social, e buscando antecipar as soluções para os efeitos negativos das mudanças climáticas no campo, a programação de pesquisa está reorganizada. Com este novo olhar, esta edição da revista “O Agrônomo” apresentou, a relevância, os desafios e as soluções desenvolvidas pelas equipes de pesquisadores do IAC, para culturas em que o Instituto atua.



