



Contribuições das pesquisas agrometeorológicas do IAPAR

Paulo Henrique Caramori^{1(*)}, Heverly Moraes¹, Pablo Ricardo Nitsche¹, Dalziza de Oliveira¹, Wilian da Silva Ricce², Daniel Soares Alves¹, Angela Beatriz Ferreira da Costa³, Edmirson Borrozzino¹, Nathan Felipe da Silva Caldana⁴ e George Mitsuo Yada Junior⁵

¹Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR Paraná. Rod. Celso Garcia Cid, 375 - Conj. Ernani Moura Lima II, CEP 86047-902 Londrina, PR. Emails: pcaramori@gmail.com, heverly@iapar.br, pablo@iapar.br, dalzizadeoliveira@gmail.com, danielsoares@iapar.br e edmirson.b@sercomtel.com.br

²Epagri. Florianópolis, SC. Email: wilianricce@epagri.sc.gov.br

³Bolsista da Embrapa Café, alocada no IDR Paraná. Londrina, PR. Email: angelabcosta@gmail.com

⁴Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR. Email: nathancaldana@gmail.com

⁵Bolsista da Fapeagro, alocado no IDR Paraná. Londrina, PR. Email: geoyada@gmail.com

(*)Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 22 de maio de 2021

Aceito em 27 de junho de 2021

Termos para indexação:

zoneamento agroclimático

mudanças climáticas

monitoramento climático

sistemas de alerta

climatologia agrícola

RESUMO

O Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) foi fundado em 1972 com a missão de gerar pesquisas e tecnologias para a agropecuária paranaense. Após a geada devastadora de julho de 1975, o Governo do Paraná incentivou uma série de políticas de diversificação de áreas de cultivo de café. No entanto, a expansão de culturas anuais por todo o Estado resultou no aumento dos níveis de erosão e degradação dos solos. Desde o início das atividades do IAPAR, a equipe de agrometeorologia desenvolveu e adaptou uma série de tecnologias para apoiar o desenvolvimento da agricultura paranaense. As pesquisas focaram em estudos para minimizar danos de geadas, análises da climatologia do Estado, técnicas de manejo em sistemas de produção sustentáveis, zoneamento agrícola, mudanças climáticas e sistemas de monitoramento e alerta. Este trabalho faz uma síntese das principais contribuições dos estudos agrometeorológicos realizados.

© 2021 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

O Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, atualmente parte do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR Paraná, iniciou suas atividades em 1972, com a missão de desenvolver pesquisas e gerar tecnologias para a agricultura paranaense. Após a geada devastadora ocorrida em 1975, a busca pela diversificação agrícola exigiu a expansão das pesquisas além da cultura do café, que ainda era muito importante. A diversificação com culturas anuais e os impactos severos sobre os solos exigiram esforços de pesquisas voltados ao controle da erosão e manejo sustentável das

bacias hidrográficas. Nesse contexto, o conhecimento dos regimes de chuvas (volume, duração e intensidade) e seus impactos foi fundamental para estabelecer um programa de agricultura conservacionista.

Um dos suportes para a realização de trabalhos voltados a uma agricultura sustentável foi a estruturação da rede meteorológica de superfície do IAPAR com instrumentos de alta qualidade e dados confiáveis. Essa rede se consolidou a partir de 1976, vindo a se expandir até um total de 33 estações distribuídas no Estado, atualmente automatizadas (Figura 1).

Ao mesmo tempo, era necessário montar uma equipe

qualificada para desenvolver projetos de pesquisa para solucionar os problemas mais prementes relacionados à agrometeorologia. O IAPAR sempre trabalhou no sistema matricial de pesquisa, em que os especialistas eram alocados em áreas de conhecimento e os projetos eram desenvolvidos em programas de pesquisas de forma multidisciplinar. Nesse modelo, os especialistas eram convidados pelos programas a compor suas equipes de acordo com a natureza do problema e sua necessidade de conhecimentos específicos. Dessa forma, a Área de Agrometeorologia se envolveu em vários programas de pesquisa, de acordo com a relevância dos problemas detectados e as necessidades de pesquisa. A seguir serão apresentados os principais resultados e contribuições da agrometeorologia do IAPAR para a agricultura paranaense e brasileira.

Principais contribuições

Pesquisas e estudos com a cultura do café

O Norte do Estado do Paraná foi colonizado com o cultivo do café, a partir da década de 1930 (Priori et al., 2012). As terras foram comercializadas por uma empresa colonizadora, que teve como estratégia dividir as propriedades em lotes, em faixas desde o fundo do vale, com acesso aos mananciais hídricos, até as partes mais altas, próprias para o plantio (Figura 2). As cidades foram planejadas a cada 20

a 30 km de distância, para servir como pontos de apoio e abastecimento das fazendas de café. Nas décadas seguintes o Paraná se tornou o maior produtor brasileiro de café, com 21,3 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado produzidos em 1,6 milhão de ha na safra 1961/1962, correspondendo a 28% da produção mundial.

Com a expansão acelerada vieram também os problemas com as geadas. O plantio sem observar as condições topoclimáticas expunha a danos frequentes as lavouras situadas em fundos de vale e nas faces sul e sudoeste. Os primeiros estudos relativos a esse fenômeno foram realizados por Ângelo Paes de Camargo e equipe do Instituto Agrônomo de Campinas a partir da década de 1950, destacando-se o uso da nebulização no combate às geadas durante a noite de ocorrência (Camargo, 1958), e o zoneamento de aptidão climática (Camargo, 1974). Posteriormente, A. P. Camargo liderou também os primeiros estudos de arborização da cafeicultura. Com foco em sombreamento moderado e quebra ventos, seu trabalho mostrou resultados benéficos, contrapondo os estudos pioneiros da década de 1950 que concluíram pela inviabilidade desta técnica com base em sombreamentos densos, que causaram competição extrema com os cafeeiros.

Após a geada de 1975, a mais severa já registrada nas regiões cafeeiras, as lavouras de idades avançadas passaram por erradicação e renovação, com muita migração

Figura 1. Estações convencionais e automáticas do IDR-Paraná e Simepar, destacando o relevo paranaense.

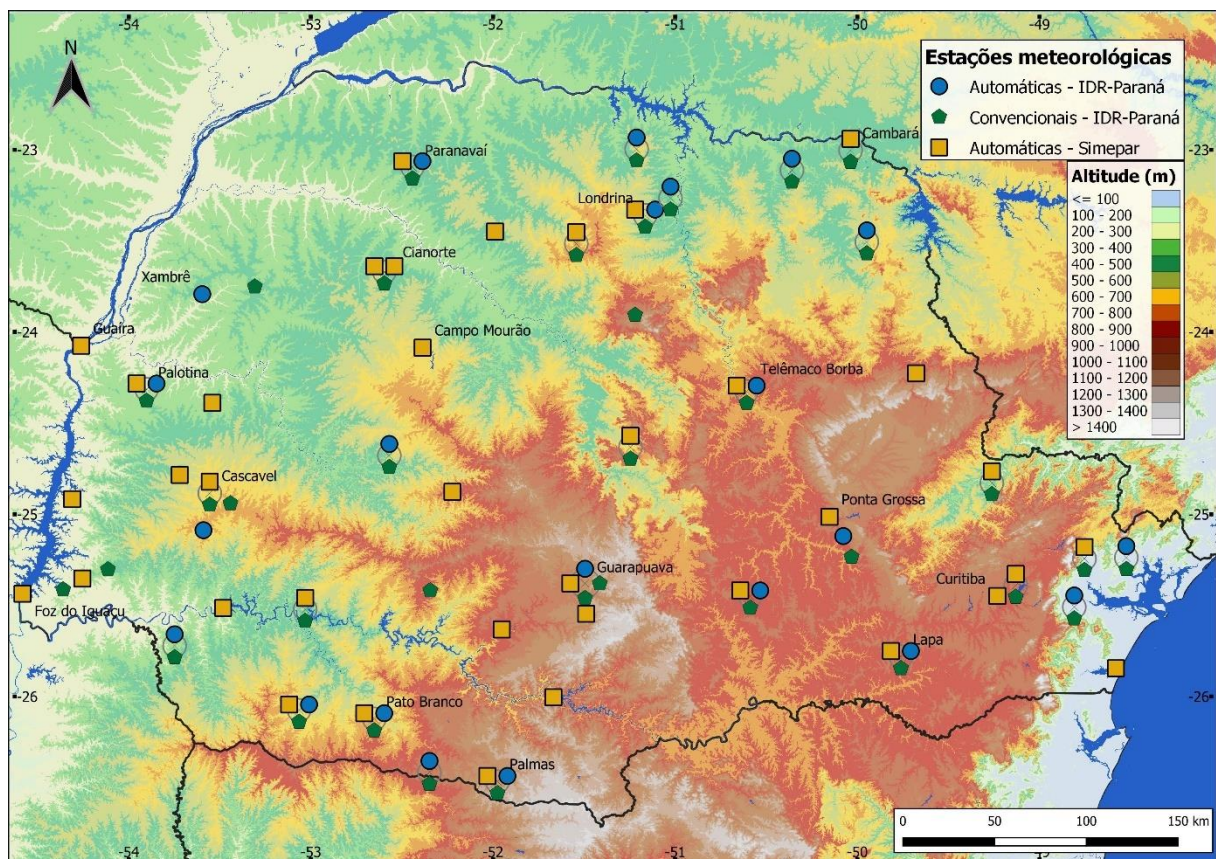


Figura 2. Representação da repartição das propriedades agrícolas no Norte do Paraná. Fonte: Gomes (2015).



para culturas anuais como algodão, soja, trigo e milho. Por três décadas o café ainda se destacou como uma das culturas mais importantes do Estado. Na década de 1970 o IAPAR iniciou suas atividades, com um efetivo programa de pesquisas para reduzir os danos das geadas no Paraná. Diversas pesquisas que geraram importantes tecnologias para conviver com as geadas na cafeicultura foram desenvolvidas a partir dessa época. As principais são destacadas a seguir.

“Chegamento” de terra junto aos troncos de cafeeiros jovens.

Uma das primeiras técnicas adaptadas foi a amontoa de terra junto aos troncos dos cafeeiros recepados ou com mais de seis meses após o plantio, até a altura do primeiro par de ramos plagiotrópicos (Caramori e Chaves, 1984). Havia dúvidas se os cafeeiros poderiam permanecer por períodos longos durante o inverno com o tronco coberto, tendo em vista que essa região da planta é muito sensível a altas temperaturas. Durante as épocas mais quentes do ano, as altas temperaturas, em contato com os troncos, provocam um dano chamado “afogamento do colo” (Mesquita et al., 2016), que pode levar as plantas à morte. Entretanto, demonstrou-se que durante o período de inverno, as temperaturas mais amenas não danificam os troncos dos cafeeiros. Assim, a operação de “chegamento de terra” junto aos troncos (Figura 3 A e B) pode ser realizada no início de maio e as plantas podem permanecer cobertas até o final de agosto. Com essa prática evita-se o dano denominado “canela de geada” (Figura 3 C), provocado pela inversão térmica noturna. Em noites com grande estabilidade atmosférica, o resfriamento a partir da superfície provoca gradientes de temperatura, de tal maneira que junto aos troncos as temperaturas podem atingir valores negativos e nas copas permanecerem bem mais elevadas (Vieira Junior et al., 2018). Quando as temperaturas junto ao tronco atingem valores abaixo de -2°C ocorre a morte dos tecidos

e há necessidade de replantio. Esse tipo de dano é muito frequente, pois ocorre mesmo durante geadas fracas que não causam danos à parte aérea. O retorno econômico dessa técnica é enorme, pois a morte da planta após 1 a 2 anos de plantio implica em recomeçar todo o processo de renovação da lavoura, com perdas econômicas significativas.

Cobertura total de mudas recém-plantadas

Outra técnica estudada foi a proteção de lavouras de café recém-plantadas, por meio de coberturas efetuadas na véspera da ocorrência das geadas. Diversos materiais foram avaliados, destacando-se a cobertura com uma camada espessa de resíduos vegetais e a dobra das mudas e cobertura com terra, uma vez que na fase jovem estas são flexíveis (Morais et al., 2002; Prela et al., 2005). Embora diversos materiais tenham sido eficientes, a prática que se mostrou mais viável foi a cobertura com terra (Figura 4). A retirada da cobertura deve ser feita manualmente, para evitar ferimentos aos troncos (Figura 5). A principal dúvida era quanto ao período que as mudas poderiam permanecer cobertas, sem que houvesse danos irreversíveis e morte. Os estudos realizados mostraram que plantas vigorosas e bem estabelecidas permaneceram por duas semanas cobertas sem danos que levassem as plantas à morte. A cobertura foi totalmente eficaz, mesmo contra as geadas severas ocorridas em 1994 e 2000, que causaram danos extensos à cafeicultura.

Consórcio com guandu (*Cajanus cajan*) para proteção contra geadas

A utilização do guandu para proteção de cafeeiros jovens foi objeto de vários estudos pela equipe do IAPAR, com comprovação do efeito positivo de proteção contra geada (Caramori et al., 2004; Morais et al., 2006; Morais et al., 2008a; Morais et al., 2007; Morais et al., 2003a; Cruz et al., 2002; Morais et al., 2009a).

Uma alternativa importante adaptada para implanta-

Figura 3. A: Chegamento de terra junto aos troncos antes da geada. B: Parte do tronco coberta com terra permaneceu verde após geada e irá brotar. C: Planta com geada de canela devido à exposição do tronco a temperatura baixa.

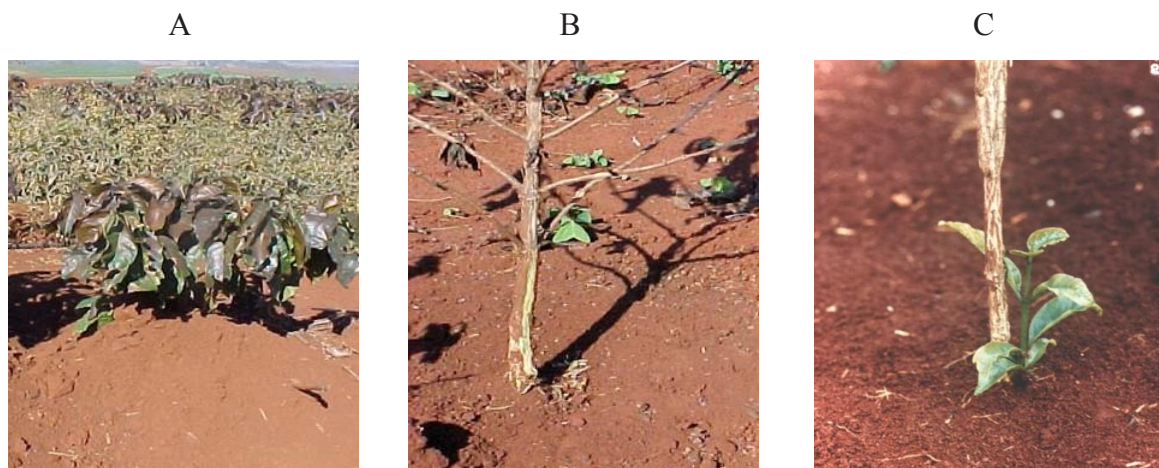


Figura 4. Enterrio das plantas na véspera da geada. A: Plantas flexíveis são dobradas. B: Plantas cobertas com uma camada espessa de terra. C: Plantas permanecem cobertas até passar o risco de geadas.

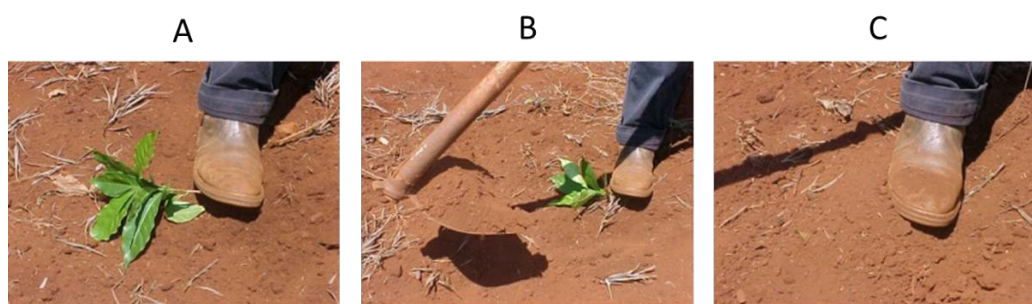
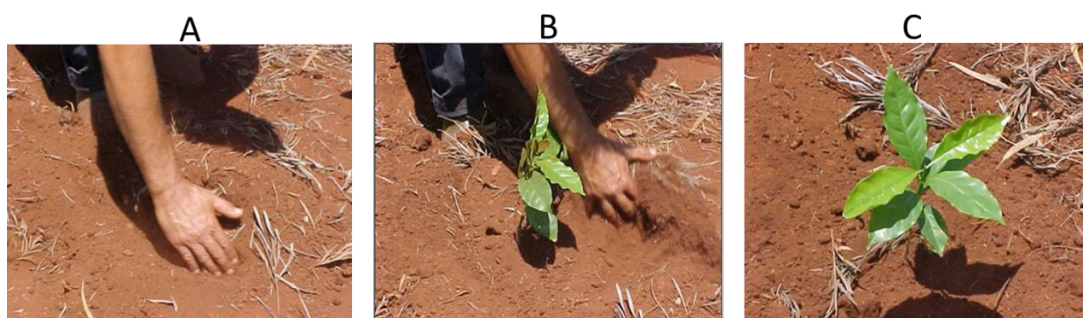


Figura 5. Desenterrio das plantas após passar o risco de geada. A e B: Desenterrio manual das plantas. C: Planta sem danos após geada.



ção de lavouras de café é o “túnel de guandu” (Figura 6) (Gorreta Hugo e Caramori, 2004). Os sulcos de plantio de café são preparados em setembro/outubro e o guandu gigante é semeado em covas no centro das entrelinhas. Os ramos inferiores do guandu são podados e as copas são conduzidas para se cruzar e formar um túnel, sob o qual são plantados os cafeeiros em janeiro/fevereiro. Os cafeeiros permanecem sob os túneis até passar o inverno, evitando o excesso de insolação na fase de implantação, o que garante o pegamento das mudas e reduz o replantio e protege contra geadas no inverno. Passado o período de risco de geadas, os guandus são podados, os resíduos são distribuídos nas entrelinhas e os cafeeiros são conduzidos normalmen-

te. Caramori et al. (1999), em estudos de proteção contra geadas em lavoura cafeeira recém-plantada, encontraram temperaturas noturnas de folhas de cafeeiros sob túnel de guandu 5,5°C mais elevadas, indicando essa espécie como grande potencial para minimizar os impactos de geadas severas em cafeeiros. Plantios sob o túnel de guandu no ano 2000 foram totalmente protegidos das geadas severas.

Sistemas Agroflorestais de Cafeeiros

Os estudos com Sistemas Agroflorestais (SAFs) iniciaram-se no IAPAR na década de 1980, quando esses já eram vislumbrados como grande potencial para a cafeicultura paranaense e brasileira. Nos estudos iniciais o foco prin-

Figura 6. A: Plantio dos cafeeiros sob o túnel de guandu. B: Túnel de guandu após geada severa, destacando danos ao guandu e cafeeiros protegidos dentro do túnel.



principal era a proteção contra geadas, uma vez que as copas das árvores retêm parte das radiações de onda longa emitidas pelas superfícies, proporcionando um ambiente mais aquecido aos cafeeiros em noites de geadas (Caramori et al., 1987).

Várias espécies arbóreas foram pesquisadas pela equipe de agrometeorologia do IAPAR visando à proteção de cafeeiros contra geadas. Caramori et al. (1987) observaram temperaturas mínimas do ar, sob áreas arborizadas com *Leucena leucocephala*, cerca de 2°C mais elevadas durante noites típicas de ocorrência de geadas de radiação. Em estudos com bracatinga (*Mimosa scabrella*) durante noites de geadas, Caramori et al. (1996) registraram temperaturas mínimas de folha entre 2°C e 4°C mais elevadas do que em cafeeiros a céu aberto. Em estudos realizados no norte do Paraná em cafezal sombreado com *Grevillea robusta* em diferentes densidades, Baggio et al. (1997) observaram após uma geada severa ocorrida em 1994, que proteção efetiva dos cafeeiros contra geada ocorreram com populações a partir de 70 grevíveis ha⁻¹. Leal (2004) observou em SAFs de bracatinga e cafeeiro, temperaturas mais elevadas em folhas de cafeeiros sombreados, comparativamente ao cultivo a pleno sol. Perini e Morais (2016) analisaram a temperatura do solo em cafeeiros consorciados com seringueiras e observaram que, durante noites frias, os solos dos cafeeiros sob SAFs apresentaram temperaturas mais elevadas que no ambiente a pleno sol. Morais et al. (2019) constataram que o sombreado de cafeeiros com seringueira reduziu a queda noturna da temperatura da folha e solo durante as noites de ocorrência de geadas.

Além da proteção contra geadas, as pesquisas com SAFs da equipe de agrometeorologia do IAPAR permearam outros aspectos da cafeicultura, como estudos relacionados a pragas (Androcioli et al., 2018), doenças (Androcioli et al.,

2015), fisiologia (Morais et al., 2008b; Morais et al., 2003b), fenologia e produção (Morais et al., 2009b) e anatomia foliar (Morais et al., 2004).

Sistema de Alerta para Geadas do IAPAR

Até a década de 1990 não havia um serviço de previsão de geadas que possibilitasse a emissão de alertas com confiabilidade e antecedência adequada para orientar os agricultores a proteger suas lavouras. Com a implantação do Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), a partir de 1995 houve um grande avanço na previsão do tempo no Paraná e teve início o “Alerta Geada”, com acompanhamento diário de maio a início de setembro (Caramori et al., 2007). O sistema é baseado em quatro pontos: 1. Definição de técnicas de proteção eficientes e de fácil implementação para lavouras com até 2 anos de plantio; 2. Previsões meteorológicas com alta confiabilidade realizadas pelo Simepar, com emissão de alertas a partir de uma semana até a véspera de ocorrência das geadas; 3. Treinamento dos agricultores para receberem os alertas e adotarem as medidas de proteção; 4. Elaboração de uma rede de contatos para rápida difusão dos alertas na véspera da ocorrência das geadas. Todo esse trabalho contou com a cooperação do Simepar, Emater e cooperativas agrícolas.

Nos primeiros anos do Alerta Geada a difusão era feita utilizando e-mails cadastrados, telefone e mídia em geral. Foi criado um número disque geada, com uma mensagem gravada atualizada diariamente, para técnicos e cafeicultores tomarem a decisão de proteger ou não as lavouras. Os usuários cadastrados recebem mensagens de alerta e orientação de proteção sempre que há risco iminente de ocorrência de uma geada. Com a disponibilidade de celulares, esses dispositivos foram priorizados e desenvolveu-se o aplicativo IAPAR Clima, melhorando o alcance e eficiên-

cia dos alertas. Os boletins diários são disponibilizados no aplicativo IAPAR Clima e nas páginas eletrônicas do Simepar e IAPAR.

O ano 2000 teve uma sequência inédita de dias com geadas na região cafeeira. Houve geadas severas nos dias 13 e 17 de julho e sequência de seis geadas até o dia 23 de julho. O Alerta Geada foi disparado no dia 11 de julho, orientando os agricultores a cobrirem os viveiros e enterrarem as mudas jovens e chegar terra nos troncos das lavouras com 6 meses a 2 anos de idade. Os alertas foram mantidos até o dia 24, quando os agricultores foram orientados a descobrirem suas lavouras e viveiros. Nas semanas seguintes, técnicos da Emater e Cooperativas realizaram levantamento de campo para avaliar os impactos das recomendações do Alerta Geada e os prejuízos sofridos. Havia 12.000 ha de plantio de cafeeiros com até seis meses de campo durante o inverno. Os custos de implantação da lavoura à época eram de aproximadamente 1 mil dólares ha^{-1} (cotação média do dólar a R\$1,80). Cerca de 4000 ha foram enterrados após o primeiro alerta e foram protegidos, correspondendo a uma economia de 4 milhões de dólares.

O parque cafeeiro com 6 meses até 2 anos de plantio era de 11.000 ha, sendo que em aproximadamente 50% dessa área foi feita proteção com chegada de terra no tronco. O prejuízo nesse caso é maior, sendo correspondente na época a 1.100 dólares ha^{-1} , considerando a perda na recuperação de um ano ou 20 sacas ha^{-1} , e mais 800 dólares ha^{-1} devidos a 30% de falhas que necessitaram de replantio, resultando em um total de 1.900 dólares ha^{-1} . Portanto, o benefício total da adoção desta prática foi de 10,45 milhões de dólares. O benefício considerando todas as lavouras protegidas foi de 14,45 milhões de dólares. Para se ter uma visão dos impactos, na época foram investidos 11 milhões de dólares para montar a infraestrutura do Simepar. Assim, o Alerta Geada cobriu os gastos iniciais de implantação desse sistema somente em um episódio de geadas consecutivas. A adoção das recomendações do Alerta Geada nos anos seguintes foi praticamente unânime, com base no sucesso das lavouras protegidas em 2000. Os alertas também são úteis para a adoção de medidas de proteção de outras culturas, como hortaliças e uvas sob coberturas.

Contribuições para a climatologia do Estado do Paraná

A disponibilidade de séries históricas de alta qualidade possibilitou a análise detalhada do clima paranaense. Essas informações embasam grande parte dos estudos que são realizados no Estado do Paraná que de alguma maneira estão relacionados com as condições climáticas locais ou regionais. No ano 2000, foram publicadas as Cartas Climáticas do Paraná (Caviglione et al., 2000), que atualmente é a publicação com maior número de citações da equipe. Em 2019, foi publicado o Atlas Climatológico do Estado do

Paraná (Nistche et al., 2019), contendo análises de séries históricas mais extensas e informações mais detalhadas e atualizadas em formato de mapas. A localização em região de transição climática expõe o território paranaense à ação de diferentes massas de ar, que associadas às variações de altitude e latitude exercem grande influência sobre as chuvas e a temperatura. Os principais resultados deste trabalho são destacados a seguir.

Há grandes diferenças no regime térmico do Estado. As regiões de maior altitude no extremo sul apresentam temperaturas médias anuais de 14 a 15°C e o extremo noroeste de 23 a 24°C. A média das mínimas é de 9-10°C no Sul e 10-19°C no Norte, e a média das máximas 20-21°C no Sul e 30-31°C no Noroeste.

A estação de crescimento, caracterizada pelo período livre de geadas, diminui do Norte para o Sul do Estado e das áreas de menor para maior altitude (Wrege et al., 2004). Oliveira e Borrozzino (2017) estudaram um transecto de norte a sul no Estado do Paraná que incluiu Londrina, Guarapuava e Palmas, utilizando 40 anos de registros da rede de estações agrometeorológicas do IAPAR. Observou-se diferença no número de geadas entre os locais. Enquanto Londrina registrou em média 4 geadas por ano, em Guarapuava foram 12 e em Palmas, 23. As geadas fracas e de baixadas predominam no norte do Estado, constituindo 76% do total de eventos, enquanto as geadas fortes, que causam os maiores prejuízos às culturas agrícolas, apenas 4%. Em Guarapuava e Palmas, as geadas fortes representaram 22% e 16% do total de eventos, respectivamente. Na média Londrina tem 7 meses livres de geadas (outubro a abril), Guarapuava tem 5 meses (novembro a março) e Palmas conta com apenas 2 meses (dezembro e janeiro).

As precipitações pluviométricas médias anuais são maiores no Litoral (2000-2600 mm) e Sudoeste e Sul do Estado (2000-2200 mm). A região norte apresenta as menores precipitações (1200-1400 mm). Há forte influência do relevo nas precipitações. A Serra do Mar e a Serra Geral influenciam as precipitações na região dos Campos Gerais e Curitiba, que têm precipitação semelhante a grande parte da região Norte. O trimestre mais chuvoso é Dezembro-Janeiro-Fevereiro e o trimestre mais seco é Junho-Julho-Agosto. De uma maneira geral a precipitação anual suplanta a evapotranspiração, com exceção de áreas das regiões norte e oeste em meses de outono e inverno (Nistche et al., 2019; Minuzzi e Caramori, 2011).

A duração da estação chuvosa é maior no Sul do Estado e no Litoral, diminuindo progressivamente em direção ao Norte. No Norte as chuvas se iniciam em setembro e outubro e duram até março/abril. No Sul e Litoral se iniciam em agosto e se estendem até início de maio. No Oeste as chuvas iniciam em setembro e encerram no final de março (Pereira et al., 2008).

O Estado é caracterizado por maiores quantidades de

precipitação na primavera e verão e maior duração da precipitação (chuvas mais demoradas) no outono e inverno. Além disso, há peculiaridades climáticas regionais, influenciadas pela radiação solar incidente, nebulosidade, aspectos do relevo e vegetação e principalmente pela dinâmica da circulação atmosférica nas diferentes estações do ano, que exercem influências locais na quantidade, distribuição, duração e intensidade de episódios de precipitações. Em Morretes, localizado no litoral do Paraná, região que apresenta os maiores índices pluviométricos do Estado predominam chuvas leves, independente da duração dos episódios. Por outro lado, Paranavaí, localizada no noroeste do Paraná, registra precipitações em quantidades menores, porém com maior número de episódios de chuvas rápidas e moderadas. Guarapuava, localizada na região serrana do centro-sul do Paraná, apresenta índices intermediários de precipitações, bem distribuídas nas estações do ano e sob intensidade predominantemente moderada (Salton et al., 2016).

Com relação à velocidade do vento, após 40 anos de registros observou-se que está havendo uma redução para a maior parte do Estado do Paraná, com exceção do Sul e Centro-Sul, sem um período de concentração definido, ou seja, ao longo de todo o ano. Essa redução na velocidade do vento foi de 12% em Londrina, 21% em Paranavaí, 18% em Morretes e 9% em Telêmaco Borba (Oliveira e Borrozzino, 2018a).

O granizo causa danos frequentes às culturas agrícolas e empreendimentos agropecuários do Estado do Paraná. As regiões mais atingidas são Centro-sul, Oeste, Sul e Sudoeste, as quais também são as regiões com maiores números de residências danificadas e pessoas afetadas. Os municípios mais ao Sul do Estado e com altitudes acima de 700 m e/ou rápida ascensão altimétrica são os mais propícios à incidência de granizo (Caldana et al., 2020). A primavera é a estação de ocorrências mais frequentes (Silva et al., 2012).

Conhecer os riscos de períodos secos no Paraná também é uma importante ferramenta para avaliar impactos e propor alternativas de adaptação e mitigação de seus efeitos. No Paraná em geral o número de períodos secos diminui conforme aumenta a latitude, altitude e a sua duração. O maior número de períodos secos ocorre nos meses mais frios (maio a agosto). As secas severas e moderadas ocorrem mais frequentemente na condição de La Niña, enquanto as mais fracas são registradas durante episódios de El Niño. Não há tendência de aumento ou redução de períodos secos nas diferentes regiões do Paraná (Salton et al., 2021). Ao longo do ano a irregularidade das chuvas ocasiona períodos secos de curta duração (veranicos) que podem causar severos danos às culturas, dependendo da fase do ciclo em que ocorrem (Zaro et al., 2018; Ferreira et al., 2020). A caracterização dos veranicos foi realizada para cada cultura dentro do projeto de zoneamento agrícola do Paraná.

A fim de minimizar o impacto dos veranicos, subsídios para a irrigação de culturas anuais foram originados a partir de modelos climatológicos e balanço hídrico. Os valores médios de evapotranspiração máxima (ET_m) a 75% de probabilidade, estiveram entre 1,8 e 4,1 mm.dia⁻¹ para feijão durante o ciclo fenológico total e entre 2,4 e 5,4 mm.dia⁻¹ para o período de florescimento, variando em função do local e época de plantio. Os valores médios de ET_m observados para trigo foram entre 1,6 e 2,6 mm.dia⁻¹ para o ciclo de crescimento total e entre 2,0 e 3,9 mm.dia⁻¹ durante o período crítico, com diferenças significativas entre épocas de plantio (Oliveira, 1990). Houve necessidade de irrigação para todos os locais e épocas de plantio. De maneira geral, os plantios realizados em épocas mais tardias mostraram maiores requerimentos de irrigação do que os mais precoces.

Calheiros et al. (1992) analisaram a viabilidade de irrigação em citros no Norte (Londrina) e Noroeste (Paranavaí) do Estado do Paraná, utilizando a metodologia de comparação de regiões sob os aspectos de clima e solos, tomando como parâmetros temperatura, insolação, precipitação, capacidade de armazenamento de água no solo e balanço hídrico diário. A “condição-padrão” assumida foi a área citrícola irrigada da Fazenda Sete Lagoas, em Mogi Guaçu, SP. Os resultados permitiram verificar alto potencial de resposta da produção de frutos cítricos sob irrigação nas diferentes condições estudadas.

Zoneamento Agrícola do Estado do Paraná

A equipe de agrometeorologia do IAPAR foi uma das pioneiras na realização do zoneamento agrícola de risco climático. O zoneamento do trigo no Paraná (Tabela 1) foi o primeiro implantado pelo Ministério da Agricultura, em 1996. A estratégia de trabalho nesses estudos se baseou na parceria entre a equipe de agrometeorologia e todos os especialistas do IAPAR da cultura agrícola em análise, em todas as etapas de desenvolvimento do zoneamento. Uma vez finalizado o zoneamento em foco, uma nova cultura era abordada e os seus especialistas eram incorporados à equipe de trabalho. Cada cultura foi detalhadamente estudada, iniciando com o levantamento de resultados anteriores de pesquisas sobre épocas de semeadura, históricos de área plantada, produção, produtividade e perdas em cada município paranaense. Os parâmetros de risco e fases críticas foram definidos com base em resultados de pesquisa e conhecimento de especialistas de cada cultura. Os dados meteorológicos foram meticulosamente inspecionados e validados antes de iniciar as simulações. Por localizar-se em uma região de transição climática, o Estado do Paraná apresenta variabilidade climática diferente de outras regiões brasileiras, associadas a variações de altitude e latitude, atuação de diferentes massas de ar e fenômenos meteorológicos de larga escala como o ENOS. Assim, uma cultura

pode sofrer prejuízos relacionados a temperaturas extremas baixas ou elevadas, excesso ou deficiência hídrica, geadas e granizo, dependendo do período de cultivo. Portanto, a indicação das áreas e épocas de plantio ou semeadura com baixos riscos é extremamente importante e representa maior segurança ao produtor agrícola. Finalizadas as simulações de risco e após validadas as recomendações pelos especialistas, eram realizadas reuniões regionais para apresentação dos resultados aos técnicos de extensão da Emater e cooperativas para validação final. Finalmente, o zoneamento era transferido ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para se tornar instrumento de orientação do crédito rural e seguro agrícola.

Os trabalhos de zoneamento realizados no Paraná e publicados em revistas científicas pela equipe de agrometeorologia do IAPAR são listados na Tabela 1. Outras culturas contempladas foram: Cevada, citros, ameixa, maçã, maracujá, goiaba, gergelim, sorgo, mamão e amendoim, todos encaminhados em forma de relatórios ao MAPA para implementar o zoneamento agrícola. Todos os zoneamentos passaram por revisões anuais até 2015, para contemplar novas tecnologias e corrigir eventuais falhas em análises anteriores. A partir de 2015 a Embrapa foi designada como responsável pelo zoneamento de risco climático em todo o Brasil e o IAPAR deixou de atuar junto ao MAPA, mas estudos de zoneamento para culturas de interesse do Estado continuaram sendo realizados.

Mudanças climáticas – impactos, mitigação e adaptação

As mudanças climáticas passaram a ser um tema relevante de pesquisa no IAPAR a partir do início do século XXI. Projetos de grande porte financiados pela Finep e envolvendo equipes multidisciplinares atuando no Sul do Brasil contaram com a participação do grupo de agrometeorologia do IAPAR, como os projetos Climasul e SIMCAFE – Simulação dos Impactos das Mudanças Climáticas Globais sobre os Setores de Agropecuária, Floresta e Energia, com apoio financeiro da Finep. O projeto Climasul foi focado na geração de cenários futuros para culturas agrícolas para os três Estados do Sul do Brasil até o final do século XXI, com base nos relatórios do IPCC (Massignam et al., 2017).

O projeto SIMCAFE utilizou a geração de cenários futuros para prever impactos nas culturas agrícolas, criações animais e setores florestal e energético. Teve a participação de 32 pesquisadores de instituições de pesquisa, ensino e extensão localizadas nas regiões Sul e Sudeste do país: IAPAR, Simepar, Fundação ABC, Embrapa, Unesp, UFPR e UNIOESTE. Foi estruturado um banco de dados em mudanças climáticas e disponibilizadas séries climatológicas diárias consistidas para 28 localidades no Estado do Paraná, e séries sintéticas diárias simuladas para dois cenários de aquecimento (1,8 e 4,0°C, segundo IPCC, 2007). A análise

se das séries históricas resultou na identificação de uma tendência real de aumento das temperaturas mínimas nas séries de dados, indicando que as noites estão se tornando mais quentes em 28 localidades estudadas no Estado do Paraná. Menores alterações foram observadas nas temperaturas máximas. Oliveira e Borrozzino (2018b) comprovaram as tendências de aumento nas temperaturas, mas não encontraram tendências nas séries de precipitação.

Poderá haver deslocamento das áreas aptas ao cultivo de café arábica, a inaptidão do cultivo de soja no noroeste do Paraná, inaptidão do cultivo de trigo nas regiões oeste, noroeste e norte do Paraná, aumento do risco de doenças de espiga no trigo e inaptidão do Estado para o cultivo de maçã, considerando o cenário de maior aquecimento previsto pelo IPCC em 2007 e sem considerar tanto a capacidade de adaptação das plantas em relação ao clima (resiliência), quanto os avanços no melhoramento genético e tratamentos culturais mitigatórios.

Da mesma forma, as mudanças climáticas globais proporcionariam ambiente térmico mais desconfortável para aves e bovinos, reduzindo a produção de ovos em 4,1% na condição do melhor cenário e de 8,5% na condição do pior cenário de aquecimento global. A produção de leite seria também reduzida. Os animais com nível de produção normal de 30 kg dia⁻¹ (alta produção) apresentariam maior perda de produção (-0,97 e -1,92 kg dia⁻¹) que os de 20 kg dia⁻¹ (-0,65 e -1,28 kg dia⁻¹) e de 10 kg dia⁻¹ (-0,32 e -0,64 kg dia⁻¹) para melhor e pior cenários, respectivamente.

Poderá haver impacto nos biomas do Estado, com aumento nas zonas mais indicadas para plantio de *Eucalyptus grandis* e redução de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. A tendência é de que a Floresta Estacional Semi-Decidual domine a paisagem, por contar com um conjunto de espécies mais adaptadas ao clima quente, enquanto a Floresta Ombrófila Mista tende a perder espaço, devido à sensibilidade de suas espécies às alterações climáticas. Poderá haver também aumento nos riscos de incêndios florestais.

Os resultados foram encaminhados à Finep e órgãos governamentais para suporte às políticas de combate ao aquecimento global.

A partir de 2015, os estudos de SAFs realizados pela equipe de agrometeorologia do IAPAR passaram a dar também ênfase em demandas urgentes da sociedade, como as mudanças climáticas e aquecimento global. No caso do café houve também a mudança do perfil de consumidor, buscando bebida de melhor qualidade, produtos mais sustentáveis e ecologicamente corretos. Assim, as pesquisas com café se ampliaram e temas iminentes como atenuação de altas temperaturas e excessos de radiação (Zaro, 2018; Perini e Morais, 2016; Morais et al., 2019) e qualidade da bebida (Gomes Santis et al., 2018; Rosisca et al., 2016; Kitzberger et al., 2018; Ribeiro et al., 2019) passaram a ser foco de pesquisas. Em todos esses tópicos de estudos, os

Tabela 1. Culturas contempladas com zoneamento de risco climático no Paraná.

| CULTURA | REFERÊNCIA |
|---------------------|--|
| Trigo | Gonçalves et al. Regionalização Para Épocas de Semeadura de Trigo No Estado do Paraná. Revista Brasileira de Agrometeorologia v.6, p.239-248, 1999. Cunha et al. Zoneamento agrícola e época de semeadura do trigo no Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia v.9, p.400-414, 2001. |
| Feijão | Caramori et al. Zoneamento de riscos climáticos e definição de datas de semeadura para o feijão no Paraná. Revista Brasileira de Agrometeorologia v.9, p.477-485, 2001. |
| Milho | Gonçalves et al. Épocas de semeadura do milho. Acta Scientiarum Agronomy v.24, p.1287-1290, 2002. |
| Milho safrinha | Gonçalves et al. Épocas de semeadura do milho safrinha no Paraná com menores riscos climáticos. Acta Scientiarum Agronomy v.24, p.1287-1290, 2002. |
| Arroz | Wrege et al. Determinação das melhores épocas de semeadura do arroz de sequeiro, <i>Oryza sativa</i> , no Estado do Paraná. Acta Scientiarum Agronomy v.23, p.1179-1183, 2001. |
| Algodão | Wrege et al. Cotton zoning based on sowing periods of lower risk in Parana State, Brazil. Brazilian Archives of Biology and Technology v.43, p.71-79, 2000. Amorim Neto et al. Zoneamento agroecológico e definição de época de semeadura do algodoeiro no Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia v.9, p.422-428, 2001. |
| Café | Caramori et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (<i>Coffea arabica</i> L.) no Paraná. Revista Brasileira de Agrometeorologia v.9, p.486-494, 2001. |
| Cana de açúcar | Wrege et al. Regiões potenciais para cultivo de cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geadas. Revista Brasileira de Agrometeorologia v.13, p.113-122, 2005. |
| Mandioca | Ferreira et al. Zoneamento da cultura da mandioca no Estado do Paraná. Revista Brasileira de Agrometeorologia v.13, p.338-344, 2005. |
| Uva | Ricce et al. Zoneamento agroclimático da cultura da videira no Estado do Paraná. Semina, Londrina, v.35, p.2327-2336, 2014. Ricce et al. Agroclimatic zoning for winemaking grape production in the state of Paraná. Agronomy Science and Biotechnology, v.4, p.14-21, 2018. |
| Abacaxi | Ricce et al. Zoneamento agroclimático da cultura do abacaxizeiro no Estado do Paraná. Semina v.35, p.2337-2346, 2014. Caldana et al. Agroclimatic Risk Zoning of Pineapple (<i>Ananas comosus</i>) in the Hydrographic Basin of Paraná River 3, Brazil. Revista Brasileira de Climatologia v.27, p.73-92, 2020. |
| Pêssego e Nectarina | Caramori et al. Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no Estado Paraná. Revista Brasileira de Fruticultura v.30, p.1040-1044, 2008. |
| Abacate | Zaro et al. Zoneamento agroclimático para a cultura do abacateiro no Estado do Paraná. Revista Brasileira de Fruticultura v.36, p.363-372, 2014. |
| Banana | Caldana et al. Zoneamento agrícola de risco climático da bananeira (<i>Musa sp</i>) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná 3. Revista Brasileira de Geografia Física v.14, p.407-419, 2021. |
| Batata-doce | Martelocio et al. Potencialidades e riscos climáticos para o cultivo da batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.) na Mesorregião Norte Central Do Paraná, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física v.13, p.49-66, 2020. |
| Goiaba | Caldana et al. Agroclimatic risk zoning for guava (<i>Psidium guajava</i> L.) in Paraná River Basin 3. Revista de Agricultura Neotropical v.7, p.40-48, 2020. |
| Manga | Caldana et al. Agroclimatic risk zoning of mango (<i>Mangifera indica</i>) in the hydrographic basin of Paraná River III, Brazil. African Journal of Agricultural Research v.16, p.983-991, 2020. |
| Mamão | Caldana et al. Agroclimatic Risk Zoning of Papaya (<i>Carica papaya</i> L.) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil. Revista Agrogeoambiental v. 12, p. 119-133, 2020. |
| Limão | Caldana et al. Agroclimatic risk zoning of lemon (<i>Citrus aurantifolia</i>) in the hydrographic basin of Paraná River III, Brazil. Geopauta v.4, p.53-70, 2020. |
| Maracujá | Caldana et al. Agroclimatic Risk Zoning of Passion Fruit (<i>Passiflora Edulis</i> Sims) in the Hydrographic Basin of Paraná River III, Brazil. Caminhos da Geografia, Uberlândia, v.21, p.85-95, 2020. |

resultados obtidos foram positivos e promissores para os SAFs, indicando que o sistema apresenta um potencial de sequestro de carbono superior ao café a pleno sol, atenua as temperaturas foliares e do ar, podendo contribuir para reduzir os efeitos do aquecimento global, além de propi-

ciar melhor composição de precursores de sabor e aroma, características importantes para uma boa bebida.

Estudos com sequestro de carbono em seringueira (Maggiotto et al., 2014), e SAFs de café com bracatinha (Caramori et al., 2020) e seringueira (Zaro et al., 2019)

mostraram excelente capacidade de imobilizar carbono. O componente florestal responde por parte significativa das contribuições, sendo que os tecidos lenhosos do tronco, ramos grossos e raízes grossas são responsáveis pela maior parte do carbono sequestrado. Ramos finos, folhas, raízes finas e serrapilheira somados respondem por menos de 10% do carbono nesses sistemas.

Monitoramento Agroclimático do Paraná

Foi desenvolvido um sistema de monitoramento agroclimático (SMA) para a agricultura paranaense, com base em dados gerados em estações meteorológicas, propriedades dos solos, acompanhamento de culturas e modelos de simulação de evapotranspiração e balanço hídrico. O SMA atualiza os dados meteorológicos horários, coletados em estações automáticas, faz consistências de valores e calcula os valores diários. A evapotranspiração potencial pode ser estimada pelos métodos de Penman-FAO 24, Penman-Monteith e Priestley-Taylor. O balanço hídrico é calculado por meio do modelo desenvolvido por Faria e Madramootoo (1996), que simula a umidade do solo em diferentes camadas e calcula a quantidade de água armazenada, a quantidade de água disponível para as plantas e as necessidades de reposição para as culturas. As saídas do modelo gerenciadas pelo sistema permitem gerar diagnósticos locais e mapas para períodos especificados. Mapas das seguintes variáveis são disponibilizados na página do IDR-Paraná na internet: temperatura (máxima, média e mínima), chuva, evapotranspiração, déficit e excesso hídrico, água disponível no solo e número de dias consecutivos sem chuva. Outras informações são geradas para fins específicos, como umidade do solo por camadas, balanços hídricos por fase das culturas, graus-dia acumulados e projeção para os próximos dias com base na previsão do tempo.

Essas informações auxiliam nas tomadas de decisão nas propriedades agrícolas, incluindo momento adequado de preparo do solo, umidade adequada para plantio, aplicação de adubos e agrotóxicos, tráfego de máquinas na propriedade, irrigação e colheita, entre outras.

Recentemente foi desenvolvido o aplicativo “IAPAR Clima” para smartphones, em que é possível visualizar informações da rede de estações do IDR-Paraná e mapas do SMA, melhorando assim o alcance aos usuários. O aplicativo pode ser visualizado na página do IDR-Paraná ou ser baixado nas versões para Apple IOS ou Android e executado sem restrições.

Outras Contribuições

Plasticultura e produção de uva no Paraná

A qualidade e produtividade das videiras estão diretamente relacionadas com as condições climáticas, em especial ao regime pluviométrico. Técnicas de cultivo como a plasticultura, se tornam sustentáveis à medida que redu-

zem o impacto direto da chuva nas plantas e a duração do período de molhamento foliar, diminuindo a incidência de doenças e uso de agroquímicos.

Em pesquisas com a uva de mesa ‘Niagara Rosada’ na região dos Campos Gerais do Paraná, observou-se que o uso de cobertura plástica transparente incrementou a produtividade, reduziu o uso de agrotóxicos e elevou a qualidade da uva, devido principalmente à proteção contra as chuvas, reduzindo a água livre nas plantas e infecção de doenças (Tullio, 2016).

Yamamoto et al. (2011; 2012) em estudos com uva de mesa ‘BRS Clara’ visando a redução da aplicação de fungicidas para o controle do míldio, na região Norte do Paraná, concluíram que o uso da cobertura plástica permite a redução do número de aplicações de fungicidas para o controle do míldio, sem alterar as características produtivas da uva ‘BRS Clara’. Além disso, a cobertura plástica possibilitou a antecipação da colheita das uvas em seis dias e não houve influência sobre o índice de maturação.

Sistemas silvipastoris

A busca por sistemas sustentáveis de produção pecuária também tem sido foco da agrometeorologia. Estudos realizados com pastagens consorciadas com renques de grevilea (Silva et al., 2004) e eucaliptos (Vieira Junior, 2019; Nitsche, 2020) mostraram resultados positivos de atenuação das temperaturas extremas e melhoria do conforto térmico animal. Além disso tais resultados mostram que o uso dos sistemas silvipastoris pode ser importante para mitigação e adaptação aos efeitos do aquecimento global.

Impactos do lago de Itaipu sobre o clima

Estudos realizados com dados de uma rede de 35 estações meteorológicas automáticas instaladas a diferentes distâncias do lago de Itaipu, coletados continuamente durante quatro anos, mostraram que não há impactos desse reservatório sobre as variáveis radiação solar, temperatura do ar, velocidade e direção dos ventos e umidade do ar nas áreas próximas até aproximadamente 10 km da borda (Wagner-Riddle et al., 2015; Caramori et al., 2015). Experimentos instalados em áreas de 1 ha nos mesmos locais das estações meteorológicas comprovaram que não existe diferenças de produtividade da cultura da soja relacionadas ao lago de Itaipu (Faria et al., 2015 a, b).

Considerações finais

O IAPAR durante a sua história sempre se fez presente oferecendo avanços tecnológicos e produtivos no Estado do Paraná. O setor de Agrometeorologia foi parte importante nesse processo, realizando pesquisas e parcerias para trazer recomendações ao setor agropecuário de forma a contribuir com o aumento da produtividade, o convívio com os riscos climáticos e o foco na sustentabilidade dos

sistemas produtivos. A agropecuária passa por grandes transformações e avanços tecnológicos e a pesquisa agropecuária são fundamentais para adequar e maximizar os resultados aos produtores. Novas tecnologias de monitoramento, uso de satélites e modelos de previsão, aliados aos riscos climáticos e práticas conservacionistas, podem contribuir para que o Paraná continue como importante produtor de alimentos e referência na agropecuária nacional.

Contribuição dos autores

P. H. CARAMORI concepção do trabalho, redação e revisão do artigo. H. MORAIS, D. OLIVEIRA, W. S. RICCE, N. F. S. CALDANA, D. SOARES, A. B. F. COSTA e E. BORROZZINO redação e revisão do artigo. G. M. Y JUNIOR edição das figuras e revisão do artigo.

Referências

- ANDROCIOLO, H. G.; CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; HOSHINO, A. T.; ANDROCIOLO, L. G.; MENEZES JR., A. O. Cercosporiose progression in the agroforestry consortium coffee-rubber trees. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 6, p. 3647-3656, 2015. DOI:10.5433/1679-0359.2015v36n6p3647.
- ANDROCIOLO, H. G.; HOSHINO, A. T.; MENEZES JR., A. O.; H. MORAIS; BIANCO, R.; CARAMORI, P. H. Coffee leaf miner incidence and its predation by wasp in coffee intercropped with rubber trees. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, p. 389-400, 2018.
- BAGGIO, A. J.; CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLO FILHO, A.; MONTOYA, L. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, n. 37, p. 111-120, 1997. DOI: 10.1023/A:1005814907546.
- CALDANA, N. F. DA S.; SILVA, G. M. F. DA; MARTELÓCIO, A. C.; NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H. Caracterização das ocorrências de precipitação de granizo e seus impactos socioeconômicos no estado do Paraná. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 27, n. 2, p. 271-284, 2020. DOI: 10.31062/agrom.v27i2.26455.
- CALHEIROS, R. O.; OLIVEIRA, D.; CARAMORI, P. H.; DEL GROSSI, M. E. Viabilidade Técnica da Irrigação em Citros no Norte e Noroeste do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 6, p. 963-973, 1992.
- CAMARGO, A. P. A serragem salitrada no combate a geadas. Instituto Agrônomo de Campinas: Circular Técnica, 1958. 4 p.
- CAMARGO, A. P. de. Clima. In: **Cultura do Café no Brasil. Manual de Recomendações**. Instituto Brasileiro do Café. Rio de Janeiro, 1974. p. 20-35.
- CARAMORI, P. H.; CHAVES, J. C. D. Proteção de Cafeeiros Jovens Contra Os Efeitos da Geadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 665-668, 1984.
- CARAMORI, P. H.; MANETTI FILHO, J.; COSTA, A. C. S.; MARUR, C. J.; SEREIA, V. J. Arborização de cafeeiros com *Leucena leucocephala* para proteção contra geadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5. 1987. **Anais...** Belém: 1987. p. 337-339.
- CARAMORI, P. H.; LEAL, A. C.; ANDROCIOLO FILHO, A. Coffee shade with *Mimosa scabrella Benth.* for frost protection in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 33, p. 205-214, 1996. DOI:10.1007/BF00055423.
- CARAMORI, P. H.; LEAL, A. C.; MORAIS, H. Temporary shading of young coffee plantations with pigeonpea (*Cajanus cajan*) for frost protection in southern Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, p. 195 - 200, 1999.
- CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; LEAL, A. C.; ANDROCIOLO FILHO, A.; GORRETA HUGO, R.; CRUZ, R. F. R. Utilização de espécies intercalares no cafezal para proteção contra geadas: resultados e perspectivas. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, v. 23, p. 11-13, 2004.
- CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLO FILHO, A.; MORAIS, H. Sistema de alerta para geadas na cafeicultura do Paraná. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, p. 66 - 71, 2007.
- CARAMORI, P. H.; WERNER, S. S.; RICCE, W. S.; NITSCHKE, P. R.; VIEIRA, S. R. O clima no entorno do reservatório de Itaipu. In: ZANÃO JÚNIOR, L. A.; FARIA, R. T.; CARAMORI, P. H. (Org.). **Produtividade da soja no entorno do reservatório de Itaipu**. Londrina, PR: IAPAR, 2015. Cap. 2, p. 33-116.
- CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; LEAL, A. C.; ANDROCIOLO FILHO, A.; CARAMORI, D. C.; ZARO, G. C.; COSTA, A. B. F. Carbon sequestration in an agroforestry system of coffee and *Mimosa scabrella* (bracatinga) in southern Brazil. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 28, 2020. DOI: 10.31062/agrom.v28.e026705.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. IAPAR, Londrina, edição ano 2000, versão 1.0. Disponível em CD-ROM.
- CRUZ, R. F. R.; HUGO, R. G.; CARAMORI, P. H.; MORAIS, H. Efeito da proteção de cafezal com guandu na primeira colheita após o plantio, em condições de alta temperatura e deficiência hídrica. In: 28º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 28., 2002. **Anais...** Caxambu: 2002. p. 392-393.
- FARIA, R. T.; MADRAMOOTOO, C. A. Simulation of soil moisture profiles for wheat in Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 31, p. 35-49, 1996. DOI:10.1016/0378-3774(95)01234-6.
- FARIA, R. T.; CASÃO JUNIOR, R.; WERNER, S. S.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; HOOGENBOOM, G. Soybean yield in relation to distance from the Itaipu reservoir. **International Journal of Biometeorology (on line)**, Heidelberg, 2015a. DOI: 0000-0002-1696-7940.
- FARIA, R. T.; CASÃO JUNIOR, R.; WERNER, S. S.; TORRES, E.; ZANÃO JUNIOR, L. A. Produtividade da soja em transectos. In: ZANÃO JÚNIOR, L. A.; FARIA, R. T.; CARAMORI, P. H. (Org.). **Produtividade da soja no entorno do reservatório de Itaipu**. Londrina, PR: IAPAR, 2015 b. Cap. 4, p. 155-212.
- FERREIRA, L. G. B.; CALDANA, N. F. DA S.; MARTELÓCIO, A. C.; COSTA, A. B. F.; NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H. Rainfall variability and analysis of droughts periods risks during the soybean crop (*Glycine max L.*) in the western of Paraná state, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 27, p. 590-611, 2020. DOI:10.5380/abclima.v27i0.69053.
- GOMES, V. Colonização do Norte do Paraná: um olhar na perspectiva da administração e do meio ambiente. **Sociedade e Território**, Natal, v. 27, n. 1, p. 87-100, 2015.
- GOMES-SANTIS, V. B.; ROSISCA, J. R.; SCHOLZ, M. B. S.; KITZBERGER, C. S. G.; MORAIS, H. Influence of the level of shading on the profile of chlorogenic acid isomers and physicochemical composition of coffee consortium with *Hevea brasiliensis*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CAFÉ, 2018. **Anais...** Portland: 2018.
- GORRETA HUGO, R.; CARAMORI, P. H. Sistemas de implantação de áreas novas de café com guandu. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, v. 1, p. 13-14, 2004.
- KITZBERGER, C. S. G.; GOMES-SANTIS, V. B.; MORAIS, H.; ROSISCA, J. R.; SCHOLZ, M. B. S.; SANTORO, P. H. Coffee chemical composition produced in agroforestry systems and full sun in Southern Brazil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CAFÉ, 2018. **Anais...** Portland: 2018.
- LEAL, A. C. **Avaliação de espécies florestais para arborização de cafeeiros no norte do Paraná: efeitos na produtividade e na proteção contra geadas de radiação**. 2004. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MAGGIOTTO, S. R.; OLIVEIRA, D.; MARUR, C. J.; STIVARI, S. M. S.; LECLERC, M.; WAGNER-RIDDLE, C. Potential carbon sequestration in rubber tree plantations in the northwestern region of the Paraná State, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy** [online], Maringá, v. 36, n. 2, p. 239-245, 2014. DOI:10.4025/actasciagron.v36i2.17404.

- MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C.; SANTI, A.; CARAMORI, P. H.; VICARI, M. B. Impact of climate change on climatic zoning of common bean in the South of Brazil. **Agrometeoros**, v. 25, p. 313-321, 2017.
- MESQUITA, C. M. de; REZENDE, J. E. de; CARVALHO, J. S.; FABRI JÚNIOR, N. A.; MORAES, N. C.; DIAS, P. T.; CARVALHO, R. M. de; ARAÚJO, G. de. **Manual do café: distúrbios fisiológicos, pragas e doenças do cafeeiro (Coffea arabica L.)**. Belo Horizonte, EMATER-MG, 2016. 62 p. il.
- MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no Estado do Paraná. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 593-602, 2011. DOI:10.1590/S0034-737X2011000500009.
- MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; MOREIRA, I. A.; CARNEIRO FILHO, F. Avaliação de métodos de proteção contra geadas em cafezais recém implantados. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, p. 259-264, 2002.
- MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de *Coffea arabica* sombreado com guandu (*Cajanus cajan*) e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n.10, p. 1131-1137, 2003a. DOI: 10.1590/S0100-204X2003001000001.
- MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Caracterização microclimática de *Coffea arabica* sombreado com guandu (*Cajanus cajan*) e cultivado a pleno sol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 29., 2003. **Anais...** Araxá: 2003b. p. 91-92.
- MORAIS, H.; MEDRI, M. E.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 863-871, 2004. DOI: 10.1590/S1516-89132004000600005.
- MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C.; KOGUISHI, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee shaded with pigeonpea and unshaded in southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, 2006. DOI:10.1590/S0100-204X2006000500007.
- MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; KOGUISHI, M. S.; ANDRADE, G. A.; SOUZA, F. S. Microclima de café cultivar Iapar 59 consorciado com guandu (*Cajanus cajan*) no norte do Paraná. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007. **Anais...** Águas de Lindóia: 2007.
- MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; ANDROCIO FILHO, A.; HUGO, R. G. Temporary shading of coffee (*Coffea arabica*) plantations with pigeonpea (*Cajanus cajan*) in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22nd. **Anais...** Campinas: 2008a.
- MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; KOGUISHI, M. S.; GOMES, J. C.; RIBEIRO, A. M. A. Desenvolvimento de gemas florais, floração, fotossíntese e produtividade de cafeeiros em condições de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 465-472, 2008b. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000400004.
- MORAIS, H.; SOUZA, F. S.; ZARO, G. C.; CARAMORI, P. H.; ANDRADE, G. A. Trocas gasosas e potencial hídrico em cafeeiros cultivados sob guandu para proteção contra geadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLÓGIA VEGETAL, 12. **Anais...** Fortaleza: 2009a.
- MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; KOGUISHI, M. S.; GOMES, J. C.; RIBEIRO, A. M. A. Sombreamento de cafeeiros durante o desenvolvimento das gemas florais e seus efeitos sobre a frutificação e produção. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 400-406, 2009b. DOI:10.1590/S0103-84782009000200013.
- MORAIS, H.; ANDRE, J.; SOUZA, M. A.; COSTA, A. B. F. Caracterização microclimática de sistema agroflorestal de café e seringueira. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10. **Anais...** Vitória: 2019.
- NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.
- NITSCHKE, P. R. **Microclima, produtividade da pastagem e acúmulo de carbono em sistema silvipastoril**. 2020. 64 p. Tese (doutorado em Agronomia), UEL, Londrina.
- OLIVEIRA, D. **Evapotranspiração máxima e necessidade de água para irrigação de feijão e trigo determinadas por balanço hídrico para seis locais do Paraná**. 1990. 155p. Dissertação (mestrado em Agronomia), ESALQ/USP, Piracicaba.
- OLIVEIRA, D.; BORROZZINO, E. Risco de geada e ocorrência de horas de frio abaixo de 7°C em Londrina, Guarapuava e Palmas, no estado do Paraná. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 2, p. 333-337, 2017.
- OLIVEIRA, D.; BORROZZINO, E. Tendências de alteração da velocidade do vento no estado do PR. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 26, n. 1, p. 145-149, 2018a.
- OLIVEIRA, D.; BORROZZINO, E. Sazonalidade das tendências de temperatura do ar e precipitação pluvial no estado do Paraná. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 26, p. 139-144, 2018b.
- PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; SILVA, D. A. B.; CAVIGLIONE, J. H. Determinação do início e término da estação chuvosa no estado do Paraná. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 3, p. 1-12, 2008. DOI: 10.5380/geografar.v3i2.13586.
- PERINI, L. J.; MORAIS, H. Temperaturas de cafeeiros sombreados com seringueira no norte do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 19., 2016. **Anais...** João Pessoa: 2016.
- PRELA, A.; MORAIS, H.; GUISELIN, C.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A. Alternativas de proteção de cafeeiros recém implantados contra geada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, p. 256-261, 2005.
- PRIORI, A.; POMARI, L. R.; AMÂNCIO, S. M.; IPÓLITO, V. K. A cafeicultura no Paraná. In: **História do Paraná: séculos XIX e XX** [online]. Eduem, Maringá, 2012. Cap. 7, p. 91-104. Disponível em: SciELO Books <http://books.scielo.org>.
- RIBEIRO, L. A. B.; KAJIWARA, V.; SANTIS, V. B. G.; ROSISCA, J. R.; KITZBERGER, C. S. G.; MORAIS, H.; SANTORO, P. H. Relação da composição e atividade antioxidante de cafés cultivados sob sombreamento. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., 2019. **Anais...** Vitória: 2019.
- RODISCA, J. R.; KITZBERGER, C. S. G.; SCHOLZ, M. B. S.; MORAIS, H. Sensorial description of coffee beverages from cultivation in different shade levels. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 26th, 2016. **Anais...** Yunnan, China: 2016.
- SALTON, F. G.; MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; BORROZZINO, E. Climatologia dos Episódios de Precipitação em Três Localidades no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 4 (suppl.), p. 626-638, 2016. DOI:10.1590/0102-7786312314b20150108.
- SALTON, F. G.; MORAIS, H.; LOHMANN, M. Períodos Secos no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, 2021. DOI:10.1590/0102-77863620163.
- SILVA, G. M. F.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S. O Jornal Como Fonte de Informação Sobre Precipitações de Granizo no Estado Do Paraná. **Revista GeoNorte**, Maringá, v. 1, p. 1079-1090, 2012.
- SILVA, V. P.; VIEIRA, A. R. R.; CARAMORI, P. H.; BAGGIO, A. J. A radiação solar global em pastagem arborizada com renques de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Agrossilvicultura**, Viçosa, v. 1, p. 187-193, 2004.
- TULLIO, L. **Uso de cobertura plástica e dejetos líquido bovino na cultura da videira Niágara Rosada**. 2016. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Conservacionista), IAPAR, Londrina, PR.
- VIEIRA JUNIOR, N. A.; CARAMORI, P. H.; SILVA, M. A. A. E.; NITSCHKE, P. R. Minimum temperature differences between the meteorological screen and grass in radiative frost nights. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, p. 2337-2349, 2018. DOI: 10.5433/1679-0359.2018v39n6p2337.
- VIEIRA JUNIOR, N. A.; SILVA, M. A. A. E.; CARAMORI, P. H.; NITSCHKE, P. R.; CORRÊA, K. A. B.; ALVES, D. S. Temperature, thermal comfort, and animal ingestion behavior in a silvopastoral system. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, p. 403-416, 2019. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n1p403.
- YAMAMOTO, L. Y.; ASSIS, A. M.; MORAIS, H.; SOUZA, F. S.; MIOTTO, L. C. V.; SATO, A. J.; SOUZA, R. T.; ROBERTO, S. R. Evolução da maturação da uva 'BRS Clara' sob cultivo protegido durante a safra fora de época. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 825-831, 2011.

YAMAMOTO, L. Y.; ASSIS, A. M.; MORAIS, H.; SOUZA, F. S.; SCAPIN, C. R.; TESSMANN, D. J.; SOUZA, R. T.; ROBERTO, S. R. Produção e características físico-químicas dos cachos da videira 'BRS Clara' sob cobertura plástica e sombrite em safra fora de época. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, p. 160-166, 2012.

WAGNER-RIDDLE, C.; WERNER, S. S.; CARAMORI, P.; RICCE, W. S.; NITSCHKE, P.; VON BERTOLDI, P.; DE SOUZA, E. F. Determining the influence of Itaipu Lake on thermal conditions for soybean development in adjacent lands. **International Journal of Biometeorology (on line)**, Heidelberg, v. 59, p. 1-24, 2015. DOI:10.1007/s00484-015-0960-7.

WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, A. C. A.; CAVIGLIONE, J. H.; GONÇALVES, S. L.; FERREIRA, R. C. Ocorrência da primeira geada de outono e última de primavera no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, p. 143-150, 2004.

ZARO, G. C. **Adaptação e mitigação dos efeitos do aquecimento global na cafeicultura por meio de sistemas agroflorestais**. 2018. 92 p. Tese (doutorado em Agronomia), UEL, Londrina.

ZARO, G. C.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; NITSCHKE, P. R.; WERNER, S. S.; ROSISCA, J. R.; AQUINO, G. S.; COSTA, A. B. F. Inter-annual analysis of soybean and corn yield in relation to water deficit in a transitional zone between subtropical and tropical climate. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, p. 511-518, 2018. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.04.pne525.

ZARO, G. C.; CARAMORI, P. H.; YADA JUNIOR, G. M.; SANQUETTA, C. R.; ANDROCIOLI FILHO, A.; NUNES, A. L. P.; PRETE, C. E. C.; VORONEY, P. Carbon sequestration in an agroforestry system of coffee with rubber trees compared to open-grown coffee in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 4, p. 1-11, 2019. DOI:10.1007/s10457-019-00450-z.

REFERENCIAÇÃO

CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; NITSCHKE, P. R.; OLIVEIRA, D.; RICCE, W. S.; ALVES, D. S.; COSTA, A. B. F.; BORROZZINO, E.; CALDANA, N. F. S.; YADA JUNIOR, G. M. Contribuições das pesquisas agrometeorológicas do IAPAR. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.29, e026924, 2021.



Contributions of IAPAR's agrometeorological research

Paulo Henrique Caramori^{1(*)}, Heverly Morais¹, Pablo Ricardo Nitsche¹, Dalziza de Oliveira¹, Wilian da Silva Ricce², Daniel Soares Alves¹, Angela Beatriz Ferreira da Costa³, Edmirson Borrozzino¹, Nathan Felipe da Silva Caldana⁴ and George Mitsuo Yada Junior⁵

¹Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR Paraná. Rod. Celso Garcia Cid, 375 - Conj. Ernani Moura Lima II, CEP 86047-902 Londrina, PR, Brazil. Emails: pcaramori@gmail.com, heverly@iapar.br, pablo@iapar.br, dalzizadeoliveira@gmail.com, danielsoares@iapar.br and edmirson.b@sercomtel.com.br

²Epagri. Florianópolis, SC, Brazil. Email: wilianricce@epagri.sc.gov.br

³Bolsista da Embrapa Café, alocada no IDR Paraná. Londrina, PR, Brazil. Email: angelabcosta@gmail.com

⁴Universidade Estadual de Londrina. Londrina, PR, Brazil. Email: nathancaldana@gmail.com

⁵Bolsista da Fapeagro, alocado no IDR Paraná. Londrina, PR, Brazil. Email: geoyada@gmail.com

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 May 2021

Accepted 27 June 2021

Index terms:

agroclimatic zoning
climate change
climate monitoring
warning systems
agricultural climatology

ABSTRACT

The Agronomic Institute of Paraná (IAPAR) was founded in 1972 with the mission of generating research and technology for agriculture and livestock in the State of Paraná, Brazil. After the devastating frost of July 1975, the Government of Paraná encouraged a series of policies aimed at diversifying coffee growing areas throughout the State. Nevertheless, the expansion of annual crops resulted in significantly increased levels of erosion and soil degradation. Since the beginning of IAPAR's activities, the agrometeorology team has developed and adapted a series of technologies to support the development of agriculture in Paraná. The studies included research that addressed practices to minimize frost damage, the climatology of the state, management techniques in sustainable production systems, agricultural zoning, climate change, and monitoring and warning systems. This paper summarizes the main contributions of the agrometeorological studies carried out by IAPAR.

© 2021 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; NITSCHÉ, P. R.; OLIVEIRA, D.; RICCE, W. S.; ALVES, D. S.; COSTA, A. B. F.; BORROZZINO, E.; CALDANA, N. F. S.; YADA JUNIOR, G. M. Contribuições das pesquisas agrometeorológicas do IAPAR. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.29, e026924, 2021.