

# capítulo 5

## Riscos climáticos

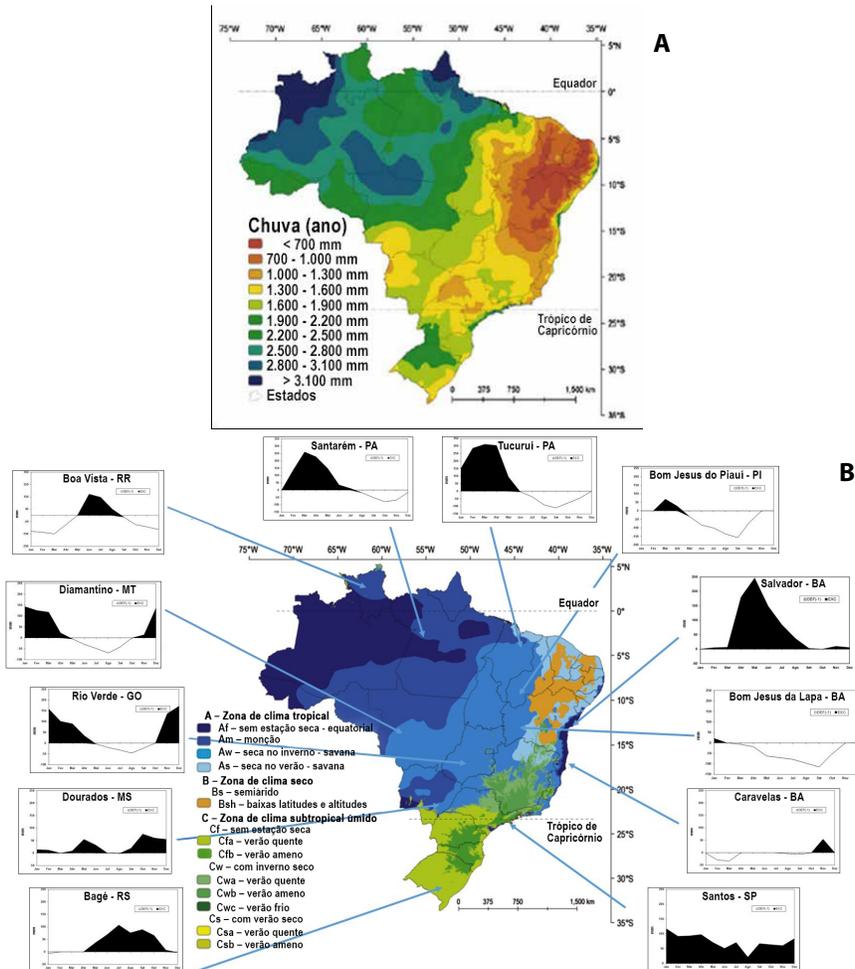
Maurício Antonio Coelho Filho  
Tibério Santos Martins da Silva  
José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro

O solo e a atmosfera são os sistemas que abrigam as plantas e fornecem as condições ambientais para produção agrícola mundial, sendo a base para sustentação de toda humanidade. A planta é fortemente influenciada pelas características do solo, atmosfera e seus elementos (radiação solar, umidade do ar, velocidade do vento, chuva, etc.) que afetam o balanço energético da planta e conseqüentemente a taxa de crescimento em suas diferentes fases. Por isso, as plantas interagindo com os sistemas solo e atmosfera respondem fisiológica, bioquímica, morfológica e anatomicamente alterando, por exemplo, a duração de ciclos de produção, frutificação e qualidade, dependendo da influência dos elementos climáticos e de suas diferentes escalas espaciais, seja regional (macro) ou locais (micro e topo) onde estão localizados os empreendimentos agropecuários.

Quando se deseja caracterizar climaticamente a região, estimadores estatísticos são utilizados, sendo a média o mais comum, considerando uma série histórica de pelo menos 30 anos (Figura 1); esses estimadores servem de base para o planejamento de atividades comerciais dependentes do clima. As variações dos elementos nas escalas diárias, mensais ou anuais determinam o planejamento, gestão agrícola e tomadas de decisões com base em sua variabilidade temporal local, que impactam, por exemplo, o balanço de água no solo, necessidades de reposições de irrigação, pulverizações e, mais importante,



implicam nas respostas produtivas no ano agrícola. A variabilidade espacial desses elementos determina grandes diferenças regionais e sazonalidades dos componentes dos balanços hídricos climatológicos e disponibilidade energética, significando que as práticas agrícolas deverão ser realizadas em diferentes épocas do ano a depender da região do Brasil.



**Figura 1.** Valores totais precipitados anualmente no Brasil (A); classificação climática para o Brasil, segundo critérios de Köppen (1936) e balanços hídricos climatológicos anuais de algumas localidades (B).

Fonte: Adaptado de Alvares et al. (2013).

Como toda atividade econômica, há riscos envolvidos na produção agrícola, principalmente relacionado ao sistema atmosfera, do qual o homem não pode controlar plenamente. Há, entretanto, a possibilidade de quantificá-los com base no conhecimento da variabilidade interanual dos principais elementos climáticos que promovem estresse às plantas e perdas produtivas e/ou de qualidade do produto. Como exemplo, com base em informações históricas sobre disponibilidade de energia solar, temperatura do ar, disponibilidade hídrica nas fases críticas da planta e fotoperíodo, é possível estimar os riscos que podem ocorrer em função da frequência de eventos dos diferentes fatores do clima. Os eventos mais comumente associados às perdas de produção são os relacionados às temperaturas extremas, geadas, ação mecânica dos ventos, veranicos, estiagem prolongada e inundação. A dependência da epidemiologia de organismos, principalmente ao molhamento foliar, temperatura, umidade do ar e velocidade de vento, também são importantes para definições dos riscos ou favorabilidade de ocorrência e dispersão de pragas.

Como a planta é fortemente influenciada pelos sistemas solo e atmosfera, os riscos são também muito dependentes das interações genótipo x ambiente. O solo que serve para ancoragem das plantas, também disponibiliza água e nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal, sendo que a eficiência de disponibilização à planta é altamente dependente do genótipo e de sua capacidade de explorar seus recursos lateralmente ou em profundidade, da variabilidade dos elementos do clima e do manejo e conservação do solo, que modelam as suas características física, química e microbiológica.

Os riscos climáticos são maiores quando o evento de estresse ocorre na fase fenológica mais sensível da planta. Há variações grandes nas respostas das culturas e de suas variedades, seja em função da duração

do ciclo fenológico, conservação de água pela planta ou efetividade no uso de água associada pelo desenvolvimento radicular (mecanismo de escape); de suas tolerâncias diferenciadas aos estresses abióticos relacionados ao ajustamento osmótico e/ou proteções bioquímicas (mecanismos de tolerância ao deficit hídrico); ou por meio de mecanismos que aumentam a eficiência do uso de água da planta ou uso eficiente de água disponível no solo (mecanismo eficiente). Como exemplo, variedades que completam o ciclo fenológico com maior precocidade podem minimizar ou escapar dos riscos relacionados a temperaturas extremas, ocorrência de geadas ou deficit hídrico na fase mais crítica para planta. Essa vantagem, por outro lado, geralmente implica em custos e redução da produtividade potencial. Geralmente as fases mais críticas estão ligadas ao florescimento e fase de produção (crescimento de frutos). O conhecimento dessas respostas é utilizado para definição das melhores épocas de semeadura/plantio que viabilizem, com certo nível de risco, a plena germinação/pegamento da planta e crescimento inicial de um determinado genótipo, quer seja este precoce ou tardio.

Os riscos relacionados ao deficit de água no solo para cultura da mandioca, por exemplo, são importantes nos cinco primeiros meses, determinantes para definir a produção final (Oliveira et al., 1982), período também de necessidades crescentes de água para planta (Coelho Filho, 2020). Deficit hídrico nessa fase implica em necessidade de alongar o período de cultivo para o enchimento de raízes para níveis comerciais. No caso do semiárido, esse ciclo deve ser quase sempre superior a 12 meses, pelo volume precipitado ser inferior a 700 mm anuais, em média, e pela má distribuição, o que determina a existência de poucos meses ao longo do ano com balanço de água positivo (Figura 1). Em locais quentes e com boa disponibilidade de água, seja pela regularidade de distribuição de chuvas ou irrigação, dependendo do genótipo, a colheita pode se iniciar a partir do sexto mês após o plantio (Coelho Filho, 2020).

Os riscos relacionados ao excesso de água no solo implicam em maior favorabilidade para o desenvolvimento de doenças de solo, exemplo da podridão radicular da mandioca. Nesse caso, além da opção por variedades mais tolerantes e de estratégias de manejo de solos que evitem o contato permanente de raízes com excesso de água, como o cultivo em camalhões, deve-se evitar o plantio em épocas muito úmidas quando há riscos permanentes de encharcamento, que também dependem das características físicas do solo. Situação comum em regiões litorâneas do Brasil e especialmente na região Amazônica, onde os totais de chuva geralmente superam 1.600 mm anuais (Figura 1A), mesmo assim associados a um período de ocorrência de deficits hídricos cujas intensidades e duração (até seis meses) variam muito dependendo do município, o que intensifica a precipitação nas estações mais chuvosas do ano, revelado nos diferentes extratos do balanço hídrico climatológico apresentados na Figura 1B (Alves et al., 2020).

## **Critérios para o zoneamento de risco climáticos para culturas perenes**

### **Variáveis meteorológicas**

Para um estudo de risco climático são fundamentais séries históricas de registros diários de variáveis meteorológicas: chuva e temperaturas mínima e máxima, sendo necessária a seleção das séries históricas em diferentes localizações bem distribuídas no espaço. Falhas ou inconsistências em séries de temperatura podem ser preenchidas a partir de dados estimados por krigagem ordinária com correção do gradiente térmico vertical em função da altimetria Shuttle Radar Topography Mission (SRTM 30 m). No caso das chuvas, são utilizadas, preferencialmente, séries pluviométricas com 30 anos de duração; entretanto, em regiões com pouca disponibilidade de séries históricas, as séries mais curtas também podem ser utilizadas, mas com pelo menos 15 anos de duração. Séries de precipitação com menos de 5% de dados ausentes ou inconsistentes são utilizadas nas avaliações

de risco e, suas falhas, podem ser preenchidas a partir de interpolação com estações vizinhas e também com os dados do The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) disponíveis a partir de 1999. Geralmente os dados meteorológicos são obtidos junto às diversas instituições federais, a exemplo do Inmet, e estaduais que mantêm ou mantiveram redes de monitoramento por longos períodos. Essa malha de estações é muito importante para qualidade da interpolação de pontos não existentes.

## Variáveis da planta e do clima

De maneira simplificada, os modelos de crescimento utilizados no zoneamento de risco climáticos envolvem o conhecimento da fisiologia da planta e suas respostas aos fatores climáticos, como as exigências térmicas, hídricas e sensibilidade nas diferentes fases fenológicas da cultura, da profundidade radicular no tempo, etc. É necessário também ter o conhecimento das fases críticas para cultura, ou seja, que fase os estresses abióticos são mais limitantes ao crescimento e produção. Nesse aspecto é importante conhecer a disponibilidade hídrica e térmica que ocorrerão ao longo do ciclo da cultura (Doorenbos; Kassam, 1979).

Geralmente para fruteiras, o período mais sensível às condições meteorológicas coincide com a fase reprodutiva compreendida desde a floração até o ponto de maturação do fruto. Estudos têm mostrado que é possível o aumento da eficiência de uso de água em condições irrigadas e manutenção de produtividade usando o deficit hídrico controlado como estratégia (Coelho et al., 2014). Saliente-se, ainda, que há culturas que necessitam de um ciclo de estresse hídrico, como forma de melhorar a produtividade; esse aspecto está relacionado à necessidade do estresse hídrico para a indução floral. Caso da limeira-ácida 'Tahiti', que responde muito bem ao estresse hídrico no processo de indução ao florescimento.

Outro ponto básico se refere ao conhecimento das necessidades hídricas nas fases fenológicas, por meio do coeficiente de cultura  $K_c$  (Allen et al., 1998), que também variam em função de cada genótipo. Esse coeficiente

geralmente advém de pesquisas agrometeorológicas envolvendo lisimetria ou estudos micrometeorológicos (Pereira et al., 2013). O balanço de água no solo também é uma alternativa para culturas anuais que cobrem homoganeamente o solo e possuem sistema radicular mais superficial.

As faixas térmicas e hídricas ótimas para os processos fisiológicos das culturas, que são específicas para cada planta, são utilizadas nos trabalhos de zoneamento de aptidão climática. Na Figura 2, um exemplo de estudo para a cultura do mamão, especificamente para o estado da Bahia. Nesse exemplo, além das limitações impostas pelo deficit de água no solo (DEF) e deficit de pressão de vapor do ar, representados pela umidade relativa (UR), são usados os limites de temperatura, seja pelo uso da média anual ( $T_m$ ) durante o ciclo de crescimento e produção e/ou especificamente para o período de floração e/ou desenvolvimento inicial de frutos ( $T_x >$  limite), importantes para o abortamento floral e distúrbios fisiológicos aos frutos, assim como a umidade relativa. Neste estudo, foram separados os grupos de mamoeiro (Formosa ou Solo) que apresentam graus diferentes de sensibilidade quanto às temperaturas extremas superiores ( $T_x$ ).

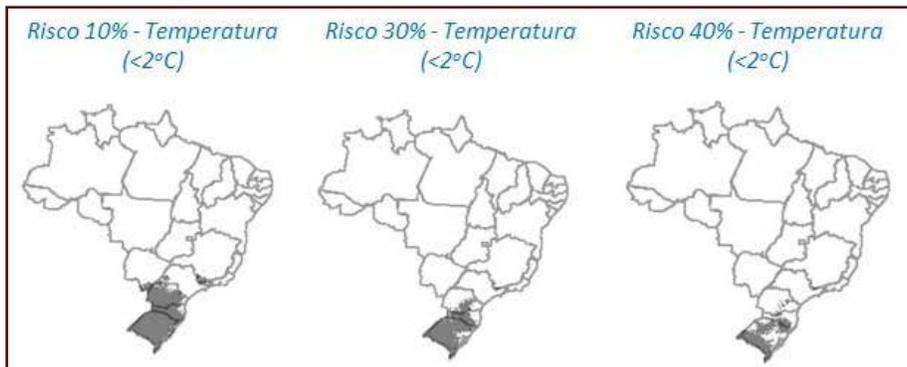


**Figura 2.** Aptidão do estado da Bahia para a cultura do mamoeiro.

A primeira letra dentro das classes se refere à variável DEF, a segunda a temperaturas médias e máximas ( $T_m$  e  $T_x$ ) e a terceira para UR. GS e GF são respectivamente abreviaturas de Grupo Solo e Grupo Formosa.

Fonte: Coelho Filho et al. (2009).

Apesar desses critérios térmicos limiares para o desenvolvimento da planta já restringirem o cultivo de uma espécie e estabelecer zonas com aptidão para uma determinada cultura, quando se trata especificamente de riscos climáticos, há necessidade de se quantificar os níveis de probabilidade de ocorrência de mínimas/máximas no momento da floração/frutificação, por exemplo. Poderia ser o caso de usar frequências de ocorrências de temperaturas amenas ( $< 17^{\circ}\text{C}$ ) ou elevadas ( $> 35^{\circ}\text{C}$ ), que estão ligadas ao aumento das chances de desordem fisiológica em frutos de mamoeiro (Santamaría et al., 2015). Adicionalmente existem riscos relacionados às frequências de ocorrência de temperatura mínima abaixo da basal inferior, causando resfriamento ou chilling à planta, muito comum em bananeiras cultivadas em baixas latitudes, ou em altitudes elevadas. Os riscos associados à ocorrência de geadas também são estabelecidos com base na frequência de temperaturas mínimas menores ou iguais a um limiar ( $^{\circ}\text{C}$ ) que pode ser aplicado à toda base de dados do território brasileiro e podem variar dependendo da região estudada. Nesse caso, quanto maior o risco aceitável, menor a extensão do território zoneado para geada, em cinza na Figura 3.



**Figura 3.** Diferentes níveis de risco aceitáveis (10%, 30% e 40%) para ocorrência de temperaturas inferiores a  $2^{\circ}\text{C}$  (em cinza) no território brasileiro.

Fonte: Santamaría et al. (2015).

Plantas de clima subtropical, menos sensíveis às baixas temperaturas, comparadas a espécies tropicais que geralmente não toleram geadas, necessitam de frio hibernal no inverno para diferenciação de gemas dormentes em gemas floríferas. Frutas como maçã, pêssego, pera, necessitam de um número de horas mínimos acumuladas de frio (por exemplo, 400 horas com temperaturas inferiores a 7 °C) para quebra da dormência (Bergamaschi; Bergonci, 2017). Plantas cítricas respondem bem ao acúmulo de frio, temperaturas inferiores a 20 °C, assim como o deficit hídrico, em especial a limeira-ácida 'Tahiti', no que diz respeito à indução floral. Estas vegetam excessivamente em detrimento à produção quando em locais muito úmidos ou uso excessivo de irrigação. Temperaturas amenas inibem a floração de aceroleiras, quando as plantas respondem muito bem à elevação de temperatura após período úmido e mais frio. Respondem muito bem também ao deficit hídrico, florando intensamente ao restabelecimento de água no solo combinado com temperaturas adequadas. Limites térmicos para algumas culturas encontram-se resumidamente na Tabela 1.

**Tabela 1.** Limites térmicos e sensibilidade ao fotoperíodo para as fruteiras e mandioca.

| Cultura         | Temp. Base Inf. (°C) | Temp. Base sup. (°C) | Faixa ótima de temperatura (°C) | Fotoperíodo | Distúrbios na Floração/ Frutificação  | Fonte   |
|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|-------------|---|---|
| <b>Abacaxi</b>  | 5                    | 40                   | 22 a 32                         | Sensível    | –   | Cunha et al. (2009).                            |
| <b>Acerola</b>  | 15                   | –                    | 24 a 31                         | Insensível  | –   | Nakasone e Paul (1998); Calgaro e Braga (2012). |
| <b>Banana</b>   | 13                   | 38                   | 20 a 29                         | Insensível  | Dificuldade lançamento da inflorescência; distúrbio fisiológicos nos frutos (T < 12 °C) | Coelho et al. (2009); Lima et al. (2012).       |
| <b>Cítricos</b> | 13                   | 35 – 40              | 25 a 30                         | Insensível  | Abortamento a 38 °C   | Davies e Albrigo (1994); Volpe et al. (2002).   |

continua...

**Tabela 1.** Continuação.

| Cultura         | Temp. Base Inf. (°C) | Temp. Base sup. (°C) | Faixa ótima de temperatura (°C) | Fotoperíodo | Distúrbios na Floração/ Frutificação  | Fonte  |
|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|-------------|---|--|
| <b>Mamão</b>    | 15                   | 40                   | 21 a 33                         | Insensível  | Carpeloidia de frutos (T < 17 °C); flores não funcionais, carpeloidia ( $\cong$ 35 °C); abortamento floral (35-40 °C) | Allan e De Jager (1978); Marin et al. (1995); Camprotrini e Glenn (2007); Vázquez et al. (2010). |
| <b>Mandioca</b> | 15                   | 38                   | 25 a 35                         | Sensível    | –   | Alves (2002); El-Sharkawy (2003).  |
| <b>Maracujá</b> | 15                   | 37                   | 20 a 32                         | Sensível    | Abortamento a 38 °C   | Castro e Kluge (1998); Ferreira et al. (2002).   |

## Variáveis do solo

O conhecimento das relações físico-hídricas do solo é fundamental nos estudos de riscos climáticos. A forma mais exata de se trabalhar é considerar também a variabilidade dos solos mapeando a fertilidade natural física numa escala de zoneamento que permitisse um maior detalhamento dos resultados. O desenvolvimento de modelos mais complexos, para quantificar o desenvolvimento e produtividade, requerem alguns atributos do solo como variáveis de entrada, comparativamente aos modelos mais empíricos. A escassez de informações para alimentar os modelos em escala local e regional é mais um impeditivo para melhoria das respostas.

O uso de funções de pedotransferência em estimativas das propriedades físico-hídricas de difícil determinação é uma alternativa, como na estimativa da capacidade de água disponível dos solos, variável muito importante para os estudos de balanço de água. Propriedades do solo mais fáceis de determinar, como a granulometria e atributos estruturais podem ser base para essas estimativas (Assad et al., 2001; Michelin

et al., 2010), porém o desafio é grande (Barros et al., 2013) e o uso limitado aos estudos acadêmicos.

Para viabilizar e tornar trabalhos práticos em escala regional, os solos podem ser agrupados em três categorias quanto à textura, associada à sua capacidade para retenção de água: arenoso (Tipo 1), de baixa capacidade de armazenamento hídrico,  $0,7 \text{ mm cm}^{-1}$  de solo; textura média (Tipo 2), de média capacidade de armazenamento hídrico,  $1,1 \text{ mm cm}^{-1}$  de solo; e argiloso (Tipo 3), de alta capacidade de armazenamento hídrico,  $1,5 \text{ mm cm}^{-1}$  de solo (Tabela 2). Esses dados significam que ao considerar uma fruteira arbórea com profundidade efetiva média do sistema radicular de 1 metro, a capacidade de armazenamento de água dos solos tipo 1, 2 e 3 seriam, respectivamente, de 70 mm, 110 mm e 150 mm.

**Tabela 2.** Valores de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as diferentes classes texturais de solo.

| Textura                       | Capacidade de campo |       | Ponto de murcha |       | Água disponível |       |
|-------------------------------|---------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|                               | Faixa               | Média | Faixa           | Média | Faixa           | Média |
| %                             |                     |       |                 |       |                 |       |
| <b>Arenosa</b>                |                     |       |                 |       |                 |       |
| <b>Areia franca</b>           | 11 – 19             | 14    | 3 – 10          | 6     | 6 – 12          | 8     |
| <b>Moderadamente arenosa</b>  |                     |       |                 |       |                 |       |
| <b>Franco arenoso</b>         | 18 – 28             | 23    | 6 – 16          | 10    | 11 – 15         | 13    |
| <b>Textura média</b>          |                     |       |                 |       |                 |       |
| <b>Franco</b>                 | 20 – 30             | 26    | 7 – 16          | 12    | 11 – 18         | 15    |
| <b>Franco siltoso</b>         | 22 – 36             | 30    | 9 – 21          | 15    | 11 – 19         | 15    |
| <b>Moderadamente argilosa</b> |                     |       |                 |       |                 |       |
| <b>Franco argilo-siltoso</b>  | 30 – 37             | 34    | 17 – 24         | 19    | 12 – 18         | 15    |
| <b>Argilosa</b>               |                     |       |                 |       |                 |       |
| <b>Argiloso</b>               | 32 – 39             | 36    | 19 – 24         | 21    | 10 – 20         | 15    |

Fonte: Jensen et al. (1990).

## Critérios hídricos – balanço hídrico climatológico

O risco hídrico é quantificado a partir da frequência de ocorrência de anos ou safras cujo período crítico, do florescimento à maturação do fruto ou enchimento de raízes, esteve sujeito a uma condição de restrição hídrica, caracterizada pelo índice de satisfação das necessidades de água (Isna). Esse índice é variável anualmente e relaciona-se com a produtividade das culturas numa simulação de balanço hídrico, podendo se estabelecer a perda aceitável considerada econômica, dependente da cultura e suas variedades (Cunha; Assad, 2001). O Isna é dado pela relação entre evapotranspiração real da cultura (ET<sub>r</sub>) e a evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>c</sub>). A ET<sub>r</sub> é calculada a partir de um modelo de balanço hídrico sequencial, diário, tendo como variáveis de entrada a precipitação diária e a evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>c</sub>). A ET<sub>c</sub> é estimada a partir da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) multiplicada pelo coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>).

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), conforme Allen et al. (1998), tem como padrão o método de Penman-Monteith que inclui todos os parâmetros que governam as trocas energéticas e o fluxo de calor latente (evapotranspiração) de uma vegetação contínua e uniforme. Entretanto, como o método exige um número grande de variáveis de entrada, e algumas variáveis são de difícil obtenção, muitas vezes não disponíveis na região de interesse, foram sugeridos métodos alternativos para estimativa dessa variável, como o modelo de Hargreaves-Samani para regiões interiores e regiões costeiras (Hargreaves; Samani, 1982; Borges et al., 2010). Em locais onde há ausência de informações sobre radiação solar, de vento e/ou umidade relativa, os autores sugerem a utilização do método de estimativa de ET<sub>o</sub> de Hargreaves (Equação 1), necessitando-se uma análise da acurácia e precisão desse método em localidades onde o

método Penman-Monteith possa ser aplicado. Esse procedimento pode ser uma alternativa para estudos regionais nas condições brasileiras, tendo como dados de entrada as temperaturas mínima (Tmin) e máxima diárias (Tmax) de cada localidade.

$$ET_o = 0,0023 \times R_o \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times (T_{med} + 17,8) \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

$R_o$  = radiação solar extraterrestre ( $R_o - \text{mm dia}^{-1}$ ), calculada ou obtida em tabelas (Pereira et al., 2013), variam em função da latitude e dia do ano;

$T_{max}$  = temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{min}$  = temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{med}$  = temperatura média ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## Zoneamento de risco para fruteira perene – exemplo da bananeira

A metodologia do zoneamento agrícola de risco climático (Zarc) para cultura da bananeira é apresentada resumidamente. Até então os riscos analisados, majoritariamente, têm sido aqueles associados às condições térmicas e hídricas prejudiciais à planta ou impeditivas à sobrevivência e desenvolvimento de mudas recém-plantadas. No presente trabalho, as simulações para quantificação dos riscos foram realizadas a partir de um zoneamento específico considerando os riscos climáticos na fase de produção e depois de uma delimitação das épocas mais propícias à implantação e à produção do pomar.

## Critérios utilizados no modelo agrometeorológico – Zarc Banana

### Fase de implantação do pomar

Os estudos na fase de implantação e suas necessidades hídricas e térmicas específicas são importantes para definição das melhores épocas para o plantio da cultura. São estabelecidas épocas com baixos riscos, com disponibilidade hídrica e térmica que permitam o pleno enraizamento inicial da planta e desenvolvimento inicial adequado para viabilizar a produção no primeiro ciclo. Nesse estudo, os seguintes critérios foram utilizados para caracterizar as condições ótimas para o bom desenvolvimento da bananeira nos primeiros 180 dias da cultura:

- a) para a avaliação dos riscos de implantação do pomar, a diferenciação entre grupos de banana é pequena e, por isso, as cultivares de bananeira e seus tipos (Cavendish, Maçã, Prata e Terra) não foram diferenciados.
- b) estabeleceu-se a profundidade efetiva inicial do sistema radicular de 0,3 m e máxima de 0,6 m no final da fase de crescimento.
- c) três categorias de solos foram consideradas nas simulações, quanto à capacidade de retenção de água associada à textura, ou seja: arenoso (Tipo 1 – 0,70 mm cm<sup>-1</sup> de profundidade do solo), de baixa capacidade de armazenamento hídrico; textura média (Tipo 2 – 1,1 mm cm<sup>-1</sup> de profundidade do solo), de média capacidade de armazenamento hídrico; e argiloso (Tipo 3 - 1,5 mm cm<sup>-1</sup> de profundidade do solo).
- d) como a profundidade efetiva do sistema radicular chega a um máximo de até 0,60 m no primeiro ciclo produtivo, a capacidade de armazenamento máxima dos solos tipo 1, 2 e 3 poderá chegar a 42 mm, 66 mm e 90 mm, respectivamente, dependendo da disponibilidade hídrica para o crescimento radicular.

e) risco térmico: como a planta é sensível à geada, foram calculadas as frequências ou riscos de ocorrência de temperaturas mínimas menores ou iguais a um limiar de 1 °C.

f) risco hídrico, relacionado às fases de estabelecimento (até 30 dias após o plantio) e crescimento mais acelerado das plantas (90 a 180 dias após o plantio), quantificando-se a frequência de ocorrência de estresse por restrição hídrica à planta, caracterizada pelo Isna abaixo de 0,65.

g) os coeficientes de cultura utilizados para estimativa da ETc variaram para a fase de estabelecimento da planta e crescimento inicial mensalmente: 1 = 0,40; 2 = 0,40; 3 = 0,45; 4 = 0,60; 5 = 0,70; 6 = 0,75.

## **Fase de produção do pomar**

Na fase de produção foram considerados riscos que possam promover a queda significativa da produtividade em um ano produtivo. As diversas variedades de bananeiras foram agrupadas em três tipos, com características homogêneas: bananeiras do tipo I ou Cavendish; bananeiras do tipo II ou Maçã; bananeiras do tipo III ou Prata. Os seguintes critérios foram usados:

a) o período considerado como crítico da cultura, mais sensível às condições meteorológicas, é a fase reprodutiva, compreendida desde a floração até o ponto de maturação do fruto. As simulações são realizadas considerando riscos dos possíveis ciclos de floração-frutificação ao longo do ano, iniciadas em cada decêndio do ano, totalizando 36 ciclos.

b) é sabido que o tempo decorrido entre a floração e a colheita é muito variável para cultura da bananeira. A duração da fase de produção sofre influência direta dos elementos da atmosfera, variedade,

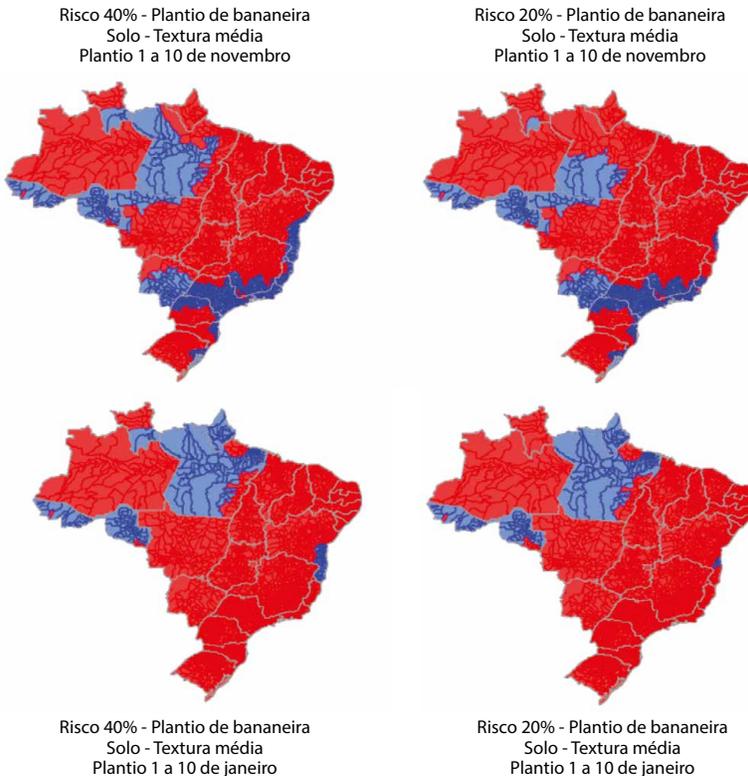
estação do ano, mês, sombreamento, estresses abióticos e bióticos, etc. Os efeitos térmicos são marcantes. No semiárido, por exemplo, é possível colher frutos com menos de 100 dias contados da floração à colheita. Em regiões mais frias o ciclo pode se estender e superar 200, isso para bananeiras do tipo Cavendish. Para efeito de risco climático a duração da fase expressa em número de dias da floração ao ponto de maturação do fruto (n) foi: bananeiras Cavendish (n = 110 dias), Tipo II bananeiras Maçã (n = 110 dias) e Tipo 3 bananeiras Prata (n = 130 dias).

As definições da duração de frutificação se concentraram em valores médios de períodos mais quentes quando os estresses por déficit hídrico são mais relevantes. O risco por restrição hídrica foi caracterizado pelo Isna abaixo de 0,49 para bananeiras do Tipo I (Cavendish); 0,46 para bananeiras do Tipo II (Maçã); e 0,41 para bananeiras do Tipo III (Prata). A ETc foi estimada a partir da ETo multiplicada pelo coeficiente de cultivo (Kc). As ETc corresponderam a um valor médio e constante para o cultivo estabelecido da bananeira, em fase de produção, de 0,85 para bananeiras Tipo I; 0,75 para bananeiras Tipo II; e de 1,00 para bananeiras Tipo III. A profundidade efetiva do sistema radicular foi de 0,60 m e a capacidade de armazenamento máxima dos solos tipo 1, 2 e 3 foram de 42 mm, 66 mm e 90 mm, respectivamente, dependendo da disponibilidade de água do solo no ciclo de produção.

Os riscos térmicos foram definidos para delimitar regiões com riscos elevados de chilling ou friagem, distúrbio fisiológico nos frutos afetando os tecidos, principalmente os da casca, prejudicando o processo de maturação, além de danos na roseta foliar afetando o lançamento de inflorescência, deformando o cacho e inviabilizando a comercialização (Lima et al., 2012), quando há danos severos por geada. O risco foi quantificado pelas frequências de ocorrência de temperaturas mínimas menores ou iguais a um limiar (1 °C).

## Zoneamento de risco com base nos critérios apresentados

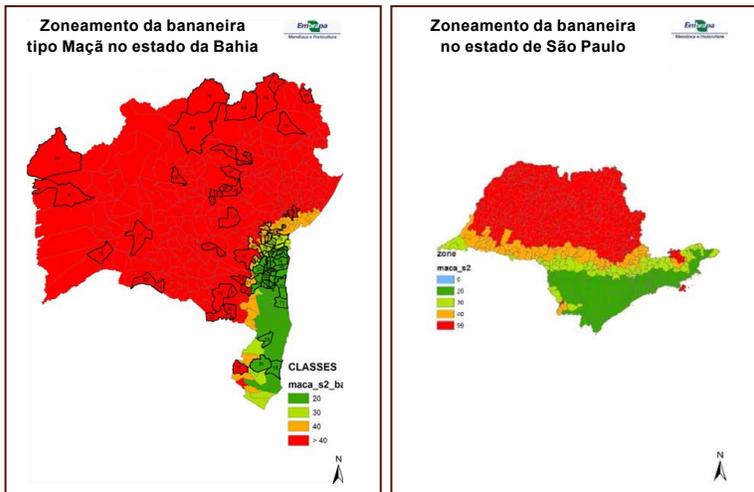
De maneira geral, ao se admitir riscos mais baixos para o plantio, proporcionalmente se restringem as áreas para o plantio em uma mesma época do ano (Figura 4). Há grande variabilidade temporal e espacial das melhores datas para o plantio, considerando um nível de risco, sendo esta informação útil e importante de ser considerada no planejamento agrícola (Sentelhas; Monteiro, 2009).



**Figura 4.** Riscos climáticos para o plantio de bananeira.

Em azul região cujos riscos são inferiores aos estabelecidos como aceitáveis no exemplo (40% e 20%), referente à fase de implantação do pomar no território brasileiro. Em vermelho, não indicado para o plantio dependendo do solo, data de plantio e riscos aceitáveis.

Com relação à fase de produção, há grande variabilidade de risco climático em dois importantes estados produtores de banana do Brasil (São Paulo e Bahia) (Figura 5). Os riscos hídricos são os maiores limitadores para a produção de banana e exclusivos para Bahia, sendo maiores em direção ao interior, no sentido Leste-Oeste. Pode ser verificado que muitos municípios pertencentes ao grupo que produz 90% de banana no estado da Bahia encontra-se na zona com riscos elevados para produção em sequeiro (cor vermelha), nesse caso a contribuição do cultivo irrigado é muito importante, principalmente no sudoeste do estado onde se encontram perímetros irrigados com a cultura no médio São Francisco, em especial o perímetro irrigado de Formoso, responsável por 13% da banana produzida no estado da Bahia e 3% do Brasil, maior produtor nacional de banana (IBGE, 2018). Por outro lado, nas regiões do Baixo Sul, Recôncavo e Litoral do estado, os riscos climáticos para o cultivo de sequeiro são predominantemente baixos, onde há grande concentração de municípios produtores de banana de sequeiro (Figura 5). Nessa grande área com riscos variando até 40%, se produz em condição de sequeiro 55% do volume de bananas do estado.

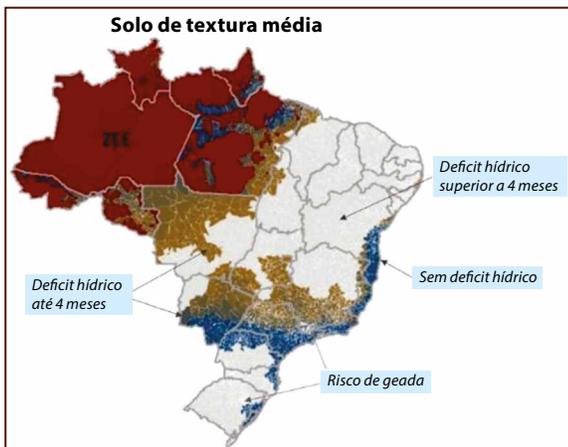


**Figura 5.** Zoneamento de risco climático para cultura da bananeira tipo Maçã em condições de sequeiro para os estados da Bahia e São Paulo.

Verde-escuro para riscos até 20%, verde-claro para riscos até 30%, laranja para riscos de até 40% e vermelho para riscos superiores a 40%. No mapa da Bahia estão destacados os municípios responsáveis por 90% da produção.

No estado de São Paulo, alguns municípios sofrem com temperaturas mais baixas e apresentam riscos elevados para produção. Quanto aos riscos relacionados ao déficit de água no solo, também são maiores no sentido do interior, com transições mais suaves entre os níveis de risco climáticos (20%, 30% e 40%) comparado ao estado da Bahia.

Os estresses por déficit hídrico do solo nos fluxos de floração-frutificação ao longo do ano é problema mais limitante para produção da cultura no Brasil (regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste), principalmente nos cerrados e semiárido, áreas claras na Figura 6. Representam regiões com número superior a quatro meses de déficit, nesse caso quando o balanço climatológico indica valores de Isna abaixo do valor crítico aos estabelecidos para os tipos de bananeira. Pode ser verificada, também, uma grande área onde as quedas de produção causadas pela variabilidade climática são elevadas (Figura 6 – intensificada ao se afastar da coloração azul), quando o déficit pode comprometer até quatro meses tanto o crescimento e desenvolvimento de frutos como o crescimento de plantas, impactando negativamente a produtividade anual. Novos genótipos mais tolerantes à seca e estratégias de manejo que aumentem a resiliência dessa cultura nessas regiões devem ser focados como prioridade de pesquisa, a fim de garantir a oferta do produto num futuro de aumento crescente de demanda por alimentos e de cenários de escassez hídrica (Figura 6).



**Figura 6.** Zoneamento de risco climático para cultura da bananeira tipo Maçã para o Brasil.

Colorações refletem o número de de-cêndios que o fluxo de floração estará sofrendo com deficiência hídrica do solo ao ponto de impactar a produção.

As restrições térmicas ficam restritas ao Sul do país e a poucos municípios do Sudeste (principalmente em Minas Gerais), quando há chances elevadas de ocorrência de geada.

## Referências

ALLAN, P.; DE JAGER, J. Net photosynthesis in macadamia and papaw and the possible alleviation of heat stress. **Journal South African Society of Crop Production**, v. 7, p. 125-128, 1978.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements**, v. 300, n. 9, 1998. FAO Irrigation and drainage paper 56.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (ed.) **Cassava: biology, production and utilization**. New York: CABI Publishing, 2002. p. 67-89.

ALVES, R. N. B.; MODESTO JUNIOR, M. de S.; SILVA, A. R. B. e; NAKASONE, A. K.; FARIAS NETO, J. T. de. **Podridões em raízes de mandioca: problemas e soluções para o seu controle**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2020. 24 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 455).

ASSAD, M. L. L.; SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 588-596, 2001.

BARROS, A. H. C.; LIER, Q. D. J. V.; MAIA, A. D. H. N.; SCARPARE, F. V. Pedotransfer functions to estimate water retention parameters of soils in northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 379-391, 2013.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017, 352 p.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S. de; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M. da; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 74-80, 2010.

CALGARO, M.; BRAGA, M. B. **A cultura da acerola**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 144 p. il. (Coleção plantar, 69).

CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D. M. Ecophysiology of papaya: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 413-424, 2007.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de fruteiras tropicais: abacaxizeiro, maracujazeiro, mangueira, bananeira e cacaueteiro**. São Paulo: Nobel, 1998, 111 p.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; COTRIM, C. E. C.; SILVA, A. J. P. da. **Mecanismos para otimização da eficiência do uso da água em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2014. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Documentos, 209).

COELHO FILHO, M. A. **Irrigação da cultura da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2020. 12 p. il. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Comunicado técnico, 172).

COELHO FILHO, M. A.; CRUZ, J. L.; COELHO, E. F.; MARTINS, T. S.; MARIN, F. R. Aptidão agroclimática do Estado da Bahia para o cultivo do mamoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável: [trabalhos apresentados]**. Belo Horizonte: SBA; Viçosa: UFV; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 1 CD ROM. pdf 415

CUNHA, G. R. da; ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, 2001. p. 377-385, 2001

CUNHA, G. A. P. da; REINHARDT, D. H.; ALMEIDA O. A. de; SOUZA, L. F. S. Abacaxi. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Ed.) **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET. 2009, p. 16-32.

DAVIES, F. S.; ALBRIGO, L. G. **Citrus**. CAB International, Wallingford, v.254, 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **Irrigation and drainage paper**, v. 33, p. 257, 1979.

EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. **Plant molecular biology**, v. 53, n. 5, p. 621-641, 2003.

FERREIRA, E. T.; EVANGELISTA, B. A.; AGUIAR, J. L. P. de; JUNQUEIRA, N. T. V. **Áreas aptas ao cultivo do maracujazeiro em condições de sequeiro**: estado de Goiás e Distrito Federal. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 44 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 23).

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 108, p. 225-230, 1982.

IBGE. **Banco de Dados Agregados, Pesquisas, Produção Agrícola Municipal**, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 30 set. 2019.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. (Eds.) **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. ASCE, Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70, New York, 332 pp.1990.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: KÖPPEN, W., R. GEIGER (Ed.): *Handbuch der Klimatologie*: Gebrüder Bornträger, p. 1-44, part C, 1936.

LIMA, M. B.; SILVA, S. O.; FERREIRA, C. F. (Ed. Tec.) **Banana: o produtor pergunta, Embrapa responde**, 2 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 214 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

MARIN, S. L. D., GOMES, J. A., SALGADO, J. S., MARTINS, D. S., FULLIN, E. A. **Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo**. 4. ed., 1995, Vitória: EMCAPA, 57 p. (Circular Técnica 3).

MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. D.; KNIES, A. E.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 40, n.4, p. 848-853, 2010.

NAKASONE, H. Y.; PAULL, R. E. Tropical fruits. **Queensland Agricultural Journal**, v.3, p. 93-98, 1998.

OLIVEIRA, S. L.; MACEDO, M. M. C.; PORTO, M. C. M. Efeito do deficit de água na produção de raízes de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p. 121-124, 1982.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, V.; AUGUSTO, N. A. **Evapotranspiração**. Campinas: FUNDAG, 2013. 323 p.

SANTAMARÍA B., F.; MIRAFUENTES H., F.; AZPEITIA M., A. **BS y BS-2, variedades de papaya con resistencia a altas temperaturas**. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Mérida, Yucatán, México. 20p., 2015.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Agrometeorologia dos Cultivos: Informações para uma Agricultura Sustentável. In: MONTEIRO, J. E. B. de A. (Ed.) **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**, Brasília, DF: INMET p. 3-12, 2009.

VÁZQUEZ G., E.; MATA V., H.; ARIZA F., R.; SANTAMARÍA B., F. **Producción y manejo postcosecha de papaya Maradol em la Planicie Huasteca**. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental Las Huastecas. Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas. Libro Técnico N. 4., 2010, 155 p.

VOLPE, C. A.; SCHÖFFEL, E. R.; BARBOSA, J. C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas 'Valência' e 'Natal' na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 436-441, 2002.

