

# GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA FAVORABILIDADE DA SIGATOKA NEGRA E ANÁLISE DE SUA DISTRIBUIÇÃO NO BRASIL

## Motivação

A banana é a fruta mais consumida no mundo (FAO, 2007) e considerada um alimento básico em diversos países. O Brasil é o quarto maior produtor mundial (FAO, 2008) e os principais polos produtores estão no Vale do Ribeira, litoral Sul do Estado de São Paulo (23 municípios); Norte de Minas Gerais (Janaúba, Jaíba, Pirapora, Montes Claros e Itacarambi); Norte de Santa Catarina (Corupá, Massaranduba, Jaraguá do Sul, Guaramirim, Praia Grande, Luis Alves e Schroeder); Nordeste do Brasil (Petrolina, Juazeiro, Bom Jesus da Lapa e Formoso); e no Espírito Santo (Matthiesene e Boteon, 2002). A cultura está presente na maioria dos estados brasileiros e a cadeia produtiva é composta principalmente por pequenos produtores. Na última década, a cultura vem sendo assolada pela ocorrência de uma doença conhecida por Sigatoka Negra, que tem sido responsável por grandes prejuízos. A Sigatoka Negra é causada pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet [fase assexuada *Paracercospora fijiensis* (Morelet)]. O primeiro registro desta doença no Brasil deu-se na fronteira com a Colômbia e o Peru, em 1998, mas a disseminação foi rápida para todos os estados da região Amazônica (Pereira et al., 2000; Gasparotto et al., 2006). A doença chegou à região Sudeste em junho de 2004, em Miracatu (SP) e, concomitantemente, em todos os municípios produtores de banana do Estado (Ferrari & Nogueira, 2003).

Devido à magnitude do problema, práticas de controle vêm sendo cada vez mais discutidas e estudadas nas universidades e instituições de pesquisa. A principal prática utilizada pelos produtores e recomendada pela maioria dos técnicos e pesquisadores é o controle químico, integrado a técnicas de monitoramento e práticas de manejo (Gasparotto, 2005; Moraes, 2006). Recentemente têm sido desenvolvidas muitas pesquisas também envolvendo o desenvolvimento de variedades resistentes (Oliveira, 2013; Saavadera, 2013).

No entanto, ainda são incipientes estudos que considerem a distribuição espacial da doença, bem como a dinâmica envolvida nesse processo de dispersão, e o mapeamento de áreas mais ou menos favoráveis a sua ocorrência, em função das variáveis meteorológicas.

Uma vez que se trata de uma doença de rápida dispersão, favorecida pelas condições meteorológicas da maior parte das regiões brasileiras, enquanto as variedades resistentes não se tornam comerciais devido a fatores como a demora no lançamento de uma variedade comercial e a não aceitação pelo mercado consumidor, o controle químico continua sendo a opção mais utilizada, somado a oportunidade que as empresas fabricantes dos defensivos químicos encontram neste mercado, que acaba por gerar uma pressão nesse sentido. Assim, observa-se uma significativa elevação no número de aplicações de fungicidas, que além de onerar o custo de produção, prejudicando principalmente os pequenos produtores, pode causar sérios impactos no meio ambiente, e na saúde tanto das pessoas que trabalham com a cultura ou residentes próximas às áreas de produção, quanto dos consumidores. Em países onde essa doença se estabeleceu há mais tempo, como os países da América Central, o número de aplicações de fungicidas chega a 52 vezes por ano. No Brasil, este número tem aumentado consideravelmente (Fiaravanço e Paiva, 2005).

### **Proposta**

A presente proposta consiste em responder as seguintes questões:

- É possível estabelecer um mapa de favorabilidade à ocorrência da Sigatoka Negra no Brasil, com base nas condições meteorológicas favoráveis ao desenvolvimento do fungo?
- É possível estabelecer um mapa de severidade da doença com base no modelo existente na literatura?
- É possível encontrar alguma correlação entre o mapa de severidade da doença, com o mapa de risco obtido?

- Existe uma relação entre o mapa de risco, o mapa de severidade obtido pelo modelo, e ocorrência da doença dada pelo MAPA sobre os estados brasileiros livres da doença?

### **Fundamentação Teórica**

A banana é a fruta mais consumida no mundo (FAO, 2007) e considerada um alimento básico em diversos países. O Brasil é o quarto maior produtor mundial (FAO, 2008) e os principais polos produtores estão no Vale do Ribeira, litoral Sul do Estado de São Paulo (23 municípios); Norte de Minas Gerais (Janaúba, Jaíba, Pirapora, Montes Claros e Itacarambi); Norte de Santa Catarina (Corupá, Massaranduba, Jaraguá do Sul, Guaramirim, Praia Grande, Luis Alves e Schroeder); Nordeste do Brasil (Petrolina, Juazeiro, Bom Jesus da Lapa e Formoso); e no Espírito Santo (Matthiesen & Boteon, 2002).

A cultura está presente na maioria dos estados brasileiros e a cadeia produtiva é composta principalmente por pequenos produtores. O estado de São Paulo é o segundo maior produtor de banana do Brasil, sendo a região do Vale do Ribeira responsável por cerca de 80% da produção estadual; nessa região, cerca de 80% dos produtores são pequenos agricultores (Moraes et al., 2006). O clima da região é caracterizado por alta umidade relativa (60 a 100%) durante todos os meses do ano, com um dos maiores índices pluviométricos do país (1500 a 2000 mm anuais) (Fukuda et al., 2007), o que torna as condições altamente favoráveis ao desenvolvimento da bananeira, mas também para a Sigatoka-negra, considerada a doença mais severa e destrutiva da cultura. A Sigatoka-negra é causada pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet [fase assexuada *Paracercospora fijiensis* (Morelet)]. O primeiro registro desta doença no Brasil deu-se na fronteira com a Colômbia e o Peru, em 1998, mas a disseminação foi rápida para todos os estados da região Amazônica (Pereira et al., 2000; Gasparotto et al., 2006). A doença chegou à região Sudeste em junho de 2004, em Miracatu (SP) e, concomitantemente, em todos os municípios produtores de banana do Estado (Ferrari & Nogueira, 2003).

O fato de a Sigatoka-negra ser uma doença rápida e destrutiva tem gerado grandes preocupações entre os produtores, técnicos e pesquisadores, principalmente, quando a bananicultura é a principal atividade econômica da região. Por isso, as áreas consideradas livres da doença buscam a todo custo impedir a sua introdução, o que implicaria em aumento dos custos de proteção e de produção, e em perda de um importante diferencial na busca de abertura do mercado externo.

O controle da doença em cultivares suscetíveis, como as do subgrupo Prata e Cavendish (Nanica e Nanicão), tem sido feito por meio de pulverizações alternadas de fungicidas sistêmicos e protetores, com intervalos definidos pelo monitoramento semanal da severidade da doença. O monitoramento da severidade da Sigatoka-negra tem sido realizado pelo método de Estado da Evolução (EE), descrito por Fouré (1988) e ajustado por Moraes et al. (2005), onde são avaliados os sintomas iniciais da doença, em amostras de 10 plantas para cada 50 hectares. O método considera o ritmo de emissão foliar semanal (REFx) e a severidade da doença (Sev) na segunda, terceira e quarta folha, a partir da folha mais nova da planta ou folha “vela”, em dez plantas amostradas em até 50 hectares, a qual é definida pela Equação 1.

$$EE = Sev \cdot REF_x \quad (1)$$

Portanto, a severidade da doença foi determinada com base na qualificação e quantificação dos estádios precoces do desenvolvimento dos sintomas da doença (1. ponto; 2. traço; e 3. estria), observados na face abaxial da segunda, terceira e quarta folha das dez plantas amostradas. O estado da evolução foi expresso pelo produto do somatório da pontuação obtida com base nos coeficientes de gravidade (Quadro 1), a partir da quantificação do estágio precoce mais evoluído do desenvolvimento dos sintomas, observado nas folhas amostradas de cada planta, pelo ritmo de emissão foliar ponderado entre as dez plantas.

Quadro 1. Pontuação ou coeficiente de gravidade da Sigatoka-negra em função da folha afetada.

<b>Estádio<sup>1</sup></b>	<b>Folha II</b>	<b>Folha III</b>	<b>Folha IV</b>
<b>-1</b>	60	40	20
<b>+1</b>	80	60	40
<b>-2</b>	100	80	60
<b>+2</b>	120	100	80
<b>-3</b>	140	120	100
<b>+3</b>	160	140	120

Entretanto, é uma tarefa trabalhosa que requer tempo, mão de obra e infraestrutura especializadas.

O controle da doença é feito por meio de pulverizações fungicidas e são determinadas em função do seu monitoramento, que é uma tarefa trabalhosa, custosa e exige mão de obra especializada. Uma alternativa para minimizar o controle químico é proteger a cultura no estágio em que ela encontra-se mais suscetível a doença e as condições climáticas estejam favoráveis à ocorrência de infecção pelos patógenos. Para verificar se as condições meteorológicas estão favoráveis à ocorrência dos patógenos, podem ser utilizados sistemas, que normalmente são baseados em modelos de probabilidade de combinação da ocorrência de condições biológicas e meteorológicas que afetam o desenvolvimento da doença em plantas (KRAUSE et al., 1975; FERNANDES,

---

<sup>1</sup> O sinal – ou + significa mais ou menos de 50 unidades do estágio mais evoluído do desenvolvimento dos sintomas da doença.

1996; FRY et al., 1982; JONHSON, 1987; PUGSLEY et al., 2001; BENDINI et al., 2010).

Geralmente, a decisão do momento da aplicação de fungicida é tomada com base no segundo aumento consecutivo da severidade da doença ou no primeiro aumento superior a 200 pontos, caso ocorram chuvas de pelo menos 100 mm ou temperaturas mais elevadas nas duas semanas que antecederam à leitura da severidade (Moraes et al., 2005). Essa decisão tomada em função dos dados climáticos do local, além de ser feita de forma subjetiva, não considera a variabilidade espacial na região, pois a estimativa generaliza a área de produção a partir de poucas amostras. A previsão de períodos considerados favoráveis à ocorrência da doença pode auxiliar no seu controle, sendo determinantes o efeito de períodos de molhamento foliar e temperaturas favoráveis (Berger, 1989; Bergamin Filho & Amorim, 1996).

Dispondo de uma rede de estações meteorológicas localizadas nas proximidades da região monitorada é possível elaborar mapas de zonas de risco de epidemias para definir um zoneamento agroclimático (Caramori et al., 1994; Pugsley et al., 2001; Cruvinel et al., 2002). O desenvolvimento de mapas de zonas de risco acoplados a modelos de predição pode ser útil para indicar áreas geográficas ou épocas do ano mais favoráveis à ocorrência de epidemias. A partir dessa base de dados, sistemas computacionais podem ser utilizados para verificar se as condições meteorológicas estão favoráveis à ocorrência de infecção pelos patógenos.

Moraes et al. (2006) analisaram o progresso da Sigatoka-negra durante o período de fevereiro a dezembro de 2005, em propriedade do município de Jacupiranga (SP), região do Vale do Ribeira; os autores demonstraram que a severidade da doença foi mais expressiva entre os meses de novembro a março, quando foram observadas temperaturas e precipitações mais elevadas,

enquanto que no período menos chuvoso, com temperaturas mais amenas, entre junho a dezembro, a doença foi desfavorecida. Esses autores ainda simularam o comportamento da doença com uma função de regressão, em que as médias de temperatura máxima e mínima e a precipitação acumulada durante uma e duas semanas antes da leitura foram os parâmetros de entrada, tendo sido os que mais se correlacionaram com a severidade da doença com duas semanas de antecedência.

Ghini e colaboradores avaliaram os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição espaço-temporal da Sigaatoka-negra, por meio da elaboração de mapas de distribuição da doença confeccionados a partir dos cenários disponibilizados pelo IPCC. Para isso, médias mensais de temperatura, umidade relativa do ar e classes de favorabilidade, foram utilizadas com base nos efeitos sobre variáveis epidemiológicas. Entre os resultados, observaram que houve redução da área favorável à doença no país, mas, extensas áreas ainda continuarão favoráveis à ocorrência da doença, especialmente no período de novembro a abril (GHINI et al., 2007).

## **METODOLOGIA**

A Figura 1 apresenta o diagrama da metodologia empregada neste trabalho.

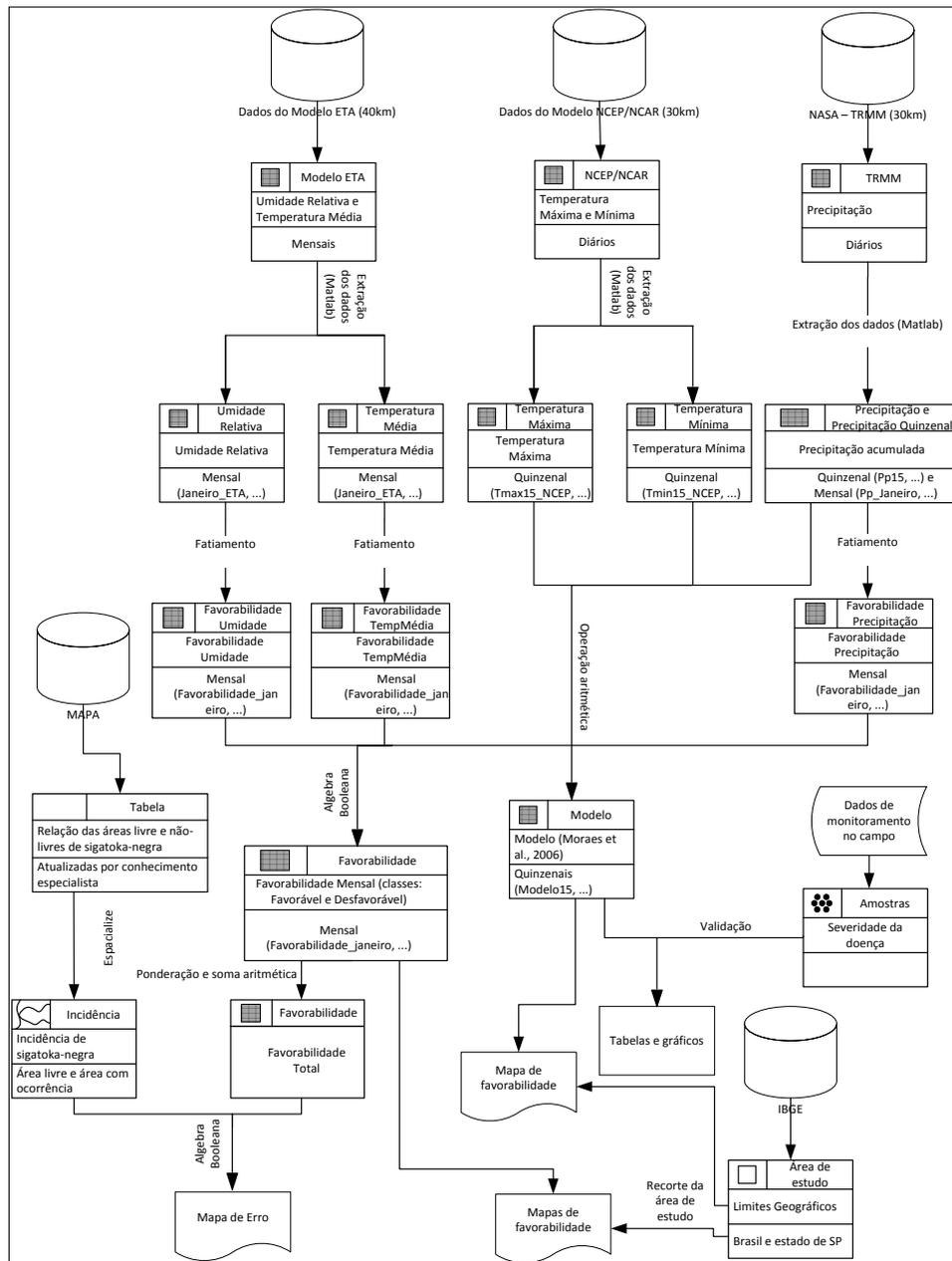


Figura 1. OMTG.

As variáveis consideradas no estudo foram precipitação acumulada (Pp) quinzenal e mensal, temperatura máxima média (Tmax) quinzenal e mensal, temperatura mínima média (Tmin) quinzenal e mensal, temperatura média (Tmed) mensal e umidade relativa média mensal (Ur). Para obtenção dos dados de precipitação acumulada mensal e quinzenal, foram utilizados os

dados do produto 3B42, do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), disponibilizados com frequência diária na base de dados “Giovanni” (*GES DISC Interactive Online Visualization and analysis Infrastructure*), da *NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)* (disponível em: [http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance\\_id=TRMM\\_3B42\\_Daily](http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=TRMM_3B42_Daily)).

Estes dados estão disponíveis na extensão HDF (*Hierarchical Data Format*), havendo necessidade de um processo de extração das grades de precipitação diária, sendo esse processo realizado no Matlab R2012b, através do Código-Fonte no Anexo I. Basicamente trata-se de um Código-Fonte para acesso ao dado bruto, utilizando a função “*hdfread*”. E para o recorte para a área de interesse, foi utilizada função “*ltln2val*” que realiza a interpolação dos dados para uma matriz de dimensão pré-determinada. O método de interpolação utilizado neste caso foi por vizinho mais próximo.

```
filename='3B42_daily.2010.01.01.7.G3.hdf';
pcp_trmm = double(hdfread(filename, 'precipitation'));
lat=linspace(-49.875, 12.2, 248.3);
lon=linspace(-83, -25.8, 435.2);
%[latitude max (Norte), longitude max oeste (W), número de células por
cada grau]
[X, Y] = meshgrid(lon, lat);
data_trmm=ltln2val(pcp_trmm, [4 49.875 -179.875], Y(:), X(:),
'nearest');
data_trmm(data_trmm>300)=NaN;
data_trmm=reshape(data_trmm, size(Y,1), size(Y,2));
save X, Y, data_trmm
```

Para as variáveis temperatura máxima média, mínima e máxima mensal, e umidade relativa mensal, foram utilizados os dados do modelo ETA (disponível em: <http://dadosclima.ccst.inpe.br/>). Tais dados estão disponibilizados no formato NetCDF (*Network Common Data Form*), sendo o processo de extração de dados realizado também pelo Matlab R2012b, utilizando o Código-Fonte em anexo. Este Código-Fonte é baseado na utilização das funções NetCDF, sendo “*netcdf.open*” para abrir o arquivo, “*netcdf.inq*” para explorar o conteúdo do arquivo, “*netcdf.inqVar*” para carregar a variável de interesse, “*netcdf.inqAtt*”

para carregar os atributos da variável e “*netcdf.getVar*” para extrair a grade de dados.

```
filename = 'media_2010_2040.nc';
ncid = netcdf.open(filename, 'NC_NOWRITE');
%% Explore the Contents
[numdims, nvars, natts] = netcdf.inq(ncid);
%% Get Global attributes Information
for ii = 0:natts-1
    fieldname = netcdf.inqAttName(ncid, netcdf.getConstant('NC_GLOBAL'),
ii);
    fileinfo.(fieldname) =
netcdf.getAtt(ncid, netcdf.getConstant('NC_GLOBAL'), fieldname );
end
% allocate structure
dimension = repmat(struct('name', '', 'length', 0), numdims, 1);
for ii = 1:numdims
    [dimension(ii).name, dimension(ii).length] = netcdf.inqDim(ncid, ii-
1);
    % padding name for table layout
    padlength = min(0, length(dimension(ii).name));
    name_padded = [dimension(ii).name repmat(' ', padlength+1)];
    fprintf('%s\t\t%d\n', name_padded, dimension(ii).length);
end
%% Get the Data
for ii = 1:nvars
    [name, ~, ~, natts] = netcdf.inqVar(ncid, ii-1);
    % Get Variable Attributes
    tmpstruct = struct();
    for jj = 1:natts
        fieldname = netcdf.inqAttName(ncid, ii-1, jj-1);
        tmpstruct.(fieldname) = netcdf.getAtt(ncid, ii-1, fieldname );
    end

    % Get raw data
    data = netcdf.getVar(ncid, ii-1);
    % Replace Missing Numbers (if necessary
    if (isfield(tmpstruct, 'missing_value') )
        data( data == tmpstruct.missing_value ) = NaN;
    end
    % Scale data (if necessary)
    if( isfield(tmpstruct, 'scale_factor') )
        data = double(data) * tmpstruct.scale_factor;
    end
    % Apply offset (if necessary)
    if( isfield(tmpstruct, 'add_offset') )
        data = data + tmpstruct.add_offset;
    end
    % Transpose data from column major to row major
    if( isnumeric(data) && ndims(data) > 2 )
        data = permute(data, [2 1 3:ndims(data)]);
    elseif ( isnumeric(data) && ndims(data) == 2 )
        data = data';
    end
    % store attribute and data with appropriate name
    varinfofname = [name '_info'];
    assignin('caller', varinfofname, tmpstruct);
    assignin('caller', name, data);
end
```

Já para os dados diários de temperatura máxima e mínima foi utilizada a base de dados *NCEP Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) (disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>). Neste

caso também foi utilizado o formato NetCDF, sendo a extração realizada pelo mesmo método citado acima.

Obtidas as grades regulares dos dados, foram formatados os arquivos para importação para o SPRING (versão 5.2.1), que foi utilizado como plataforma para desenvolvimento do trabalho. As operações de álgebra de mapas foram desenvolvidas por meio da Linguagem Espacial Geográfica de Álgebra de Mapas (LEGA), sendo que os Códigos-Fontes utilizados constam no Anexo II.

Primeiramente foi realizada operação de fatiamento, considerando os limiares estabelecidos na literatura, sobre a favorabilidade à sigatoka-negra. Uma operação de fatiamento consiste em obter um campo Temático a partir de um campo Numérico, de tal modo que cada local de uma área de estudo fique associado a um valor indicando, sob a forma de um conjunto de classes temáticas, os intervalos de valores registrados a partir de uma grade Numérica. Para tanto, foram consideradas duas classes temática: favorável e desfavorável a sigatoka-negra. O desenvolvimento da doença é favorecido por temperaturas entre 20°C e 30 °C, e umidade relativa acima de 70 % (Jacome & Schuh, 1992; Mouliom-Pefoura et al., 1996; Romero & Sutton, 1997). Conseqüentemente, regiões que apresentam temperaturas médias inferiores a 20 °C ou superiores a 30 °C ou umidade relativa média inferior a 70 % foram consideradas desfavoráveis à doença. No caso da precipitação, para a sigatoka-negra na região do Vale do Ribeira, Fukuda & Moraes (2007) determinaram os valores de precipitação acumulada maiores que 100 mm como sendo favoráveis ao desenvolvimento da doença. Por sua vez, precipitações acumuladas inferiores a 100 mm foram consideradas desfavoráveis.

Tabela 2. Intervalos dos limiares utilizados no fatiamento, para cada variável.

	Favorável	Desfavorável
<b>Precipitação acumulada</b>	≥100 mm	<100 mm
<b>Temperatura média</b>	≥20°C e ≤30 °C	<20 °C e >30 °C
<b>Umidade relativa do ar</b>	≥70%	<70%

```

{
//Declarações
Numerico Jan ("Precipitação");
Tematico Fav ("Favorabilidade_precipitação");
Tabela tab(Fatiamento);

//Instanciações
Jan = Recupere (Nome = "Janeiro_TRMM");

tab = Novo (CategoriaFim = "Favorabilidade_precipitação",
            [0.0, 99] : "Desfavorável",
            [100, 2000] : "Favorável");

Fav = Novo (Nome = "Favorabilidade_precipitação_janeiro", ResX=40000, ResY=40000, Escala=50000);

//Operações
Fav = Fatie (Jan, tab);
}

```

Figura 6. Código-fonte em LEGAL, para operação de fatiamento.

Assim, por meio da álgebra booleana foi gerado o mapa de favorabilidade, considerando a operação de lógica de intersecção, ou seja, obtida a partir da operação “E”. Então, quando houve intersecção entre os mapas de favorabilidade para cada variável, considerou-se a área como sendo favorável a doença, assim como quando não houve intersecção, ou seja, quando a mesma área não estava classificada como favorável em ambos os mapas, esta foi classificada como desfavorável. Foram calculadas as áreas favoráveis à doença em cada período estudado e, tais áreas foram comparadas com as obtidas nos resultados de Ghini et al. (2006).

```

{
// Declaração das variáveis temáticas

Tematico FavPP ("Favorabilidade_precipitação");
Tematico FavIM ("Favorabilidade_temperaturamedia");
Tematico FavUR ("Favorabilidade_umidade");
Tematico Fav ("Favorabilidade");

// Instanciações das variáveis temáticas

FavPP = Recupere(Nome="Favorabilidade_precipitação_novembro");
FavIM = Recupere(Nome="Favorabilidade_temperaturamedia_novembro");
FavUR = Recupere(Nome="Favorabilidade_umidade_novembro");
Fav = Novo(Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_novembro", ResX=40000, ResY=40000,
          Escala=50000);
Fav = Atribua (CategoriaFim = "Favorabilidade")
  {
    "Favorável": (FavPP.Classe == "Favorável") && (FavIM.Classe == "Favorável") && (FavUR.Classe == "Favorável"),
    "Desfavorável": Outros
  };
}
}

```

Figura 6. Código-fonte em LEGAL, para operação booleana.

A partir do mapa de favorabilidade obtido pela álgebra booleana, descrita no parágrafo anterior, foi realizada uma operação de ponderação, que consiste em obter um campo Numérico a partir de um campo Temático, de tal modo que cada local de uma área de estudo fique associado a um valor indicando o peso de cada classe temática diante de uma operação quantitativa que se deseje modelar. Para a classe favorável a doença, foi considerado o peso 0, e para a classe desfavorável, peso 1

```

{
//Declaração
Tematico fav ("Favorabilidade");
Numerico grd ("Favorabilidade_grade");
Tabela geoT (Ponderacao);

//Instanciação
fav = Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_novembro");

grd = Novo (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_novembro" , ResX=30000, ResY=30000,
Escala=50000, Min = 0, Max = 1);

geoT = Novo (CategoriaIni = "Favorabilidade",
            "Favorável" : 0,
            "Desfavorável" : 1);

//Operacao
grd = Pondere (fav, geoT);
}

```

Figura 6. Código-fonte em LEGAL, para operação de ponderação.

Deste modo, foi possível por meio de uma soma aritmética, obter um mapa numérico de favorabilidade a doença, onde o valor do pixel representa a quantidade de meses ao longo do ano em que tal área encontrou-se em cada classe. Em seguida, por meio da operação de fatiamento, foi considerada como sendo área favorável à doença, aquela região que se apresentava durante pelo menos um mês do ano, como sendo área favorável à doença.

```

{
Numerico grd1 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd2 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd3 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd4 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd5 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd6 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd7 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd8 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd9 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd10 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd11 ("Favorabilidade_grade");
Numerico grd12 ("Favorabilidade_grade");
Numerico reslt ("Favorabilidade_grade");

grd1=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_janeiro");
grd2=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_fevereiro");
grd3=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_março");
grd4=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_abril");
grd5=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_mai");
grd6=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_junho");
grd7=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_julho");
grd8=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_agosto");
grd9=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_setembro");
grd10=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_outubro");
grd11=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_novembro");
grd12=Recupere (Nome="Favorabilidade_AlgebraBooleana_grade_dezembro");

reslt=Novo (Nome="Favorabilidade_total", ResX=40000, ResY=40000,
           Escala=50000);

reslt=grd1+grd2+grd3+grd4+grd5+grd6+grd7+grd8+grd9+grd10+grd11+grd12;
}

```

Figura 6. Código-fonte em LEGAL, para operação de soma aritmética.

Paralelamente, por meio da tabela dos estados considerados áreas livres ou de ocorrência de sigatoka-negra, obtido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), utilizando as operações de espacialização e fatiamento, foi possível gerar uma mapa temático com as classes “Áreas livres” e “Áreas de Ocorrência”.

```

{
Cadastral lim ("CAT_Cadastral");
Objeto obj ("Incidencia");
Numerico num ("Mapa_Incidencia");
Tematico tem ("Incidência");
Tabela tab (Fatiamento);

lim = Recupere (Nome="Limites_Estaduais");

tab = Novo (CategoriaFim="Incidência",
           [0, 0] : "Área livre",
           [1, 1] : "Área com ocorrência");

num = Novo (Nome="Incidencia_Ponderada", ResX=40000, ResY=40000, Escala=50000);
tem = Novo (Nome="Incidencia", ResX=40000, ResY=40000, Escala=50000);

num = Espacialize (obj."Incid1" NoMapa lim);
tem = Fatie (num, tab);

}

```

Figura 6. Código-fonte em LEGAL, para operação de espacialização e fatiamento.

Então, por meio de álgebra booleana, determinar o “Erro” do mapa de favorabilidade, de modo que quando foi considerado erro quando a mesma área foi considerada como favorável a doença, se apresentava na classe “Áreas livres”, no mapa de incidência, e caso contrário, considerado acerto.

```

{
// Declaração das variáveis temáticas

Tematico Fav ("Favorabilidade");
Tematico Inc ("Incidência");
Tematico Er ("Erro");

// Instanciações das variáveis temáticas

Fav = Recupere(Nome="Favorabilidade_Total_2");
Inc = Recupere(Nome="Incidencia");
Er = Novo(Nome="Erro_4", ResX=40000, ResY=40000,
          Escala=50000);

Er = Atribua (CategoriaFim = "Erro")
  {
    "Erro": (Fav.Classe == "Favorável") && (Inc.Classe == "Livre"),
    "Acertou": Outros
  };
}

```

Figura 6. Código-fonte em LEGAL, para operação booleana.

Para elaboração do mapa de severidade considerando o modelo de Moraes et al. (2006), foram utilizados os dados diários de temperatura máxima, mínima, e precipitação acumulada, sendo que estes foram transformados para dados quinzenais, para entrada no modelo. Assim, por meio de uma operação matemática realizada pelo Código-Fonte, foram obtidos os mapas para cada quinzena do ano de 2010. Para validação destes mapas, considerando a variabilidade temporal, foram utilizados dados de estado da evolução (EE), obtidos por meio do monitoramento pela metodologia de Fouré (1988), para duas regiões diferentes situadas no estado de São Paulo.

```

{
Numerico tmax ("TemperaturaMáxima");
Numerico tmin ("TemperaturaMínima");
Numerico pp ("Precipitação_Quinzenal");
Numerico result ("Modelo");

tmax=Recupere (Nome="Tmax360_NCEP_Recorte");
tmin=Recupere (Nome="Tmin360_NCEP_recorte");
pp=Recupere (Nome="Pp360_Recorte");

result=Novo (Nome="Modelo360", ResX=30000, ResY=30000,
             Escala=50000);

result=-1265+0.5886*pp+73.7879*tmax+52.8995*tmin;
}

```

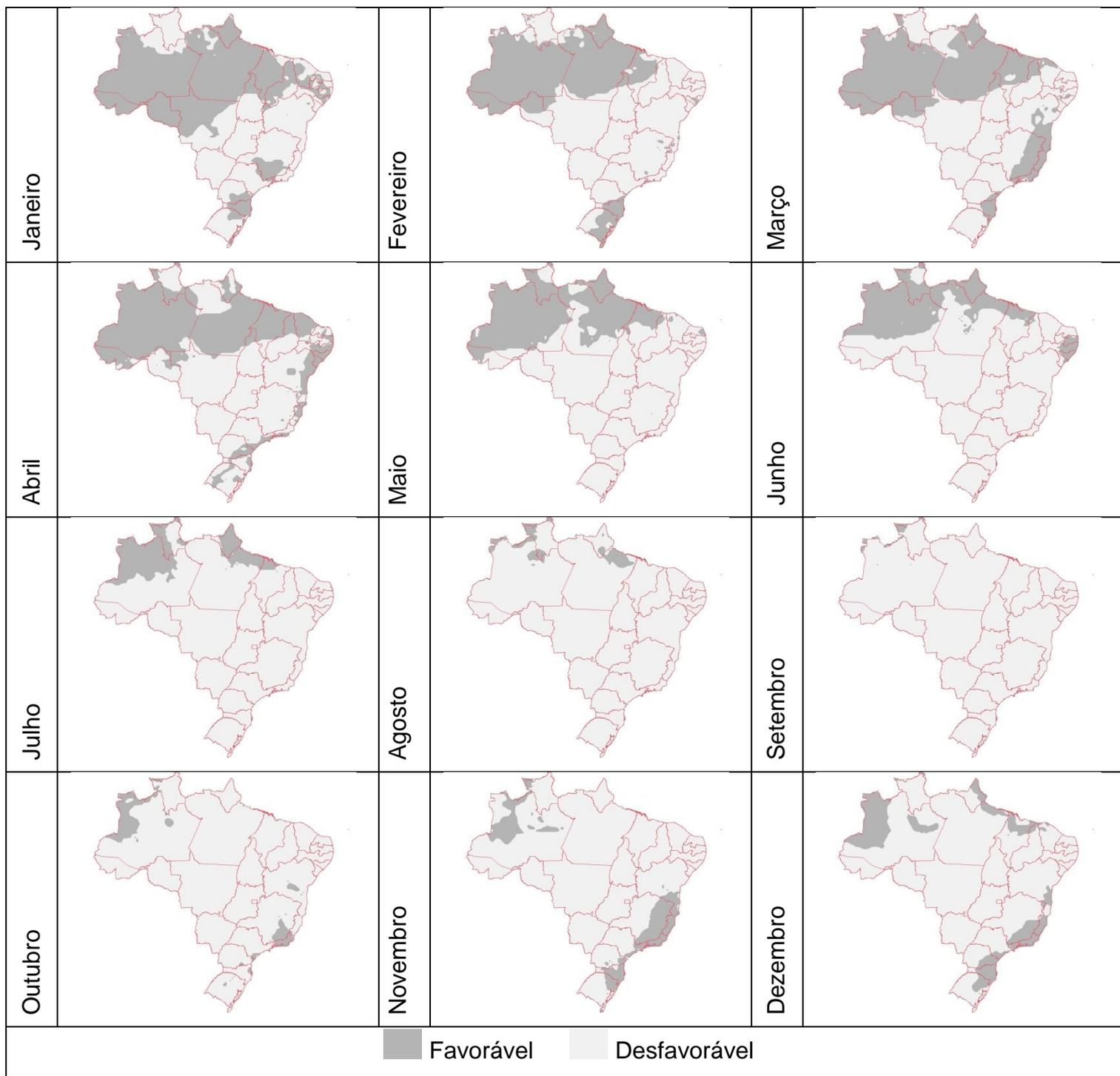
Figura 6. Código-fonte em LEGAL, para operação matemática.

## Resultados e Discussões

Analisando o mapa de favorabilidade para a região de Pariquera-açu, verifica-se que o pixel correspondente ao ponto de análise apresenta dois períodos bem distintos, sendo um período favorável a doença, entre janeiro a abril, outubro e dezembro, e um período desfavorável compreendido entre maio e setembro. Tais resultados corroboram com os descritos por Moraes et al. (2006) e Fukuda et al. (2007).

Já para a região de Paranapanema, o pixel correspondente ao ponto de análise foi situado na classe desfavorável a doença, durante o ano todo.

Os limites utilizados para caracterizar as condições favoráveis à ocorrência da sigatoka-negra mostraram-se adequados, pois os mapas confeccionados para as condições atuais estão de acordo com os relatos na literatura. Segundo Mouliom-Pefoura et al. (1996), nas temperaturas abaixo de 20 °C há redução na germinação dos esporos e no crescimento do tubo germinativo, aumentando o período de incubação da doença. Em temperaturas superiores a 30 °C, Romero & Sutton (1997) relatam que a severidade da doença é reduzida. A umidade relativa alta permite a reprodução assexuada do patógeno e a presença de precipitação é particularmente favorável à liberação de ascósporos (Vicente, 1998; Gauhl, 1994). Com a reprodução sexuada, ocorrem recombinações genéticas com o surgimento de células que podem se adaptar às mais diversas condições climáticas e níveis tecnológicos de cultivo.



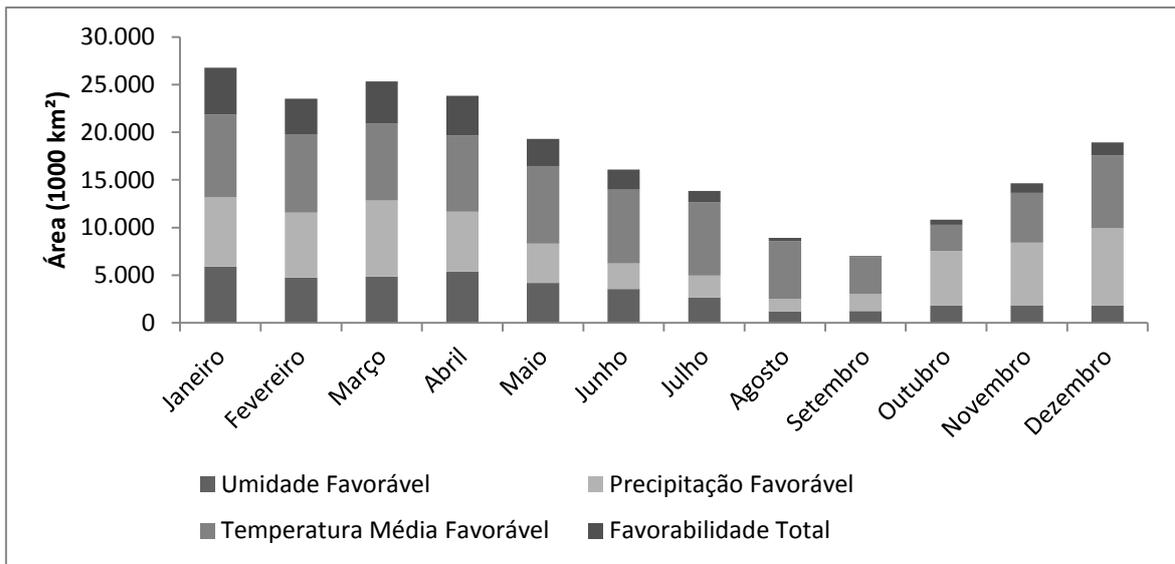
**FIG. 4** - Mapa de favorabilidade climática à sigatoka-negra da bananeira no Brasil, para os meses de janeiro a dezembro, no período de 2010.

**TABELA 1** - Área (1000 km<sup>2</sup>) de ocorrência favorável à sigatoka-negra da bananeira no Brasil, para o período atual (2010), passado (média de 1960 a 1990) e futuro (2020).

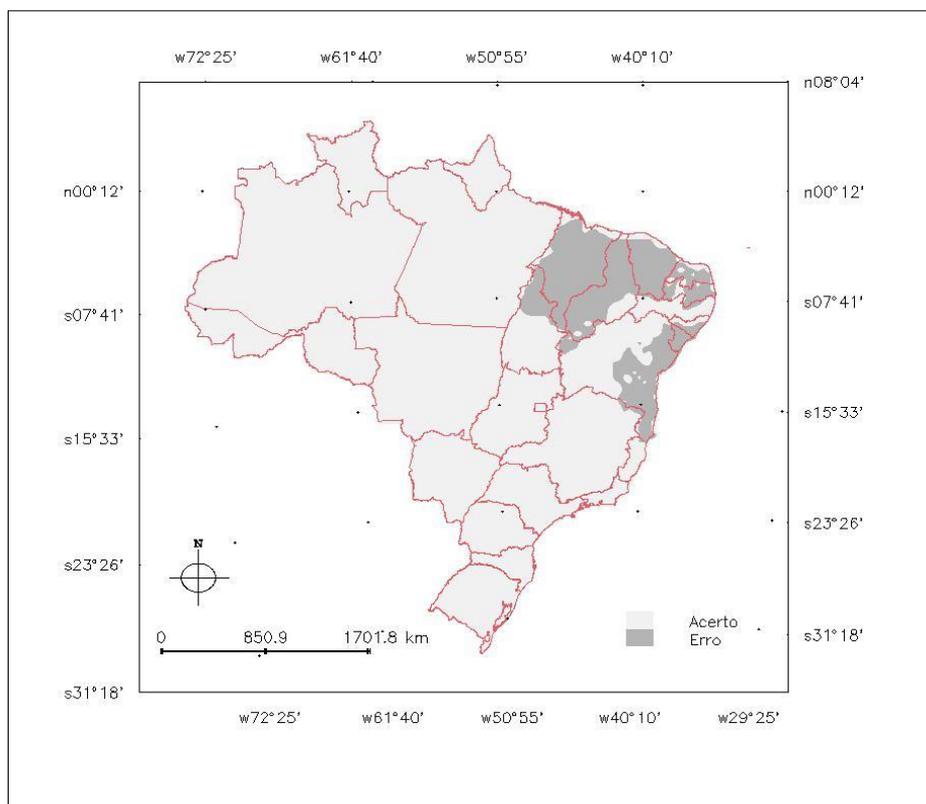
<b>Meses</b>	<b>Atual (2010)</b>	<b>Passado (1960 a 1990)*</b>	<b>Futuro (2020) *</b>
<b>Janeiro</b>	4926,4	7850,3	6789,6
<b>Fevereiro</b>	3777,6	8042,2	7381,1
<b>Março</b>	4390,4	8286,9	7599,5
<b>Abril</b>	4180,8	7872	7721,8
<b>Mai</b>	2864	7046,7	6341,8
<b>Junho</b>	2124,8	5850,1	4938,8
<b>Julho</b>	1163,2	4872,3	2384
<b>Agosto</b>	318,4	4553,7	988
<b>Setembro</b>	75,2	4568,6	813
<b>Outubro</b>	547,2	4723,8	1494
<b>Novembro</b>	1027,2	6958,3	4795,3
<b>Dezembro</b>	1364,8	7587,1	6308,1

\* Resultados obtidos por Guini et al. (2007)

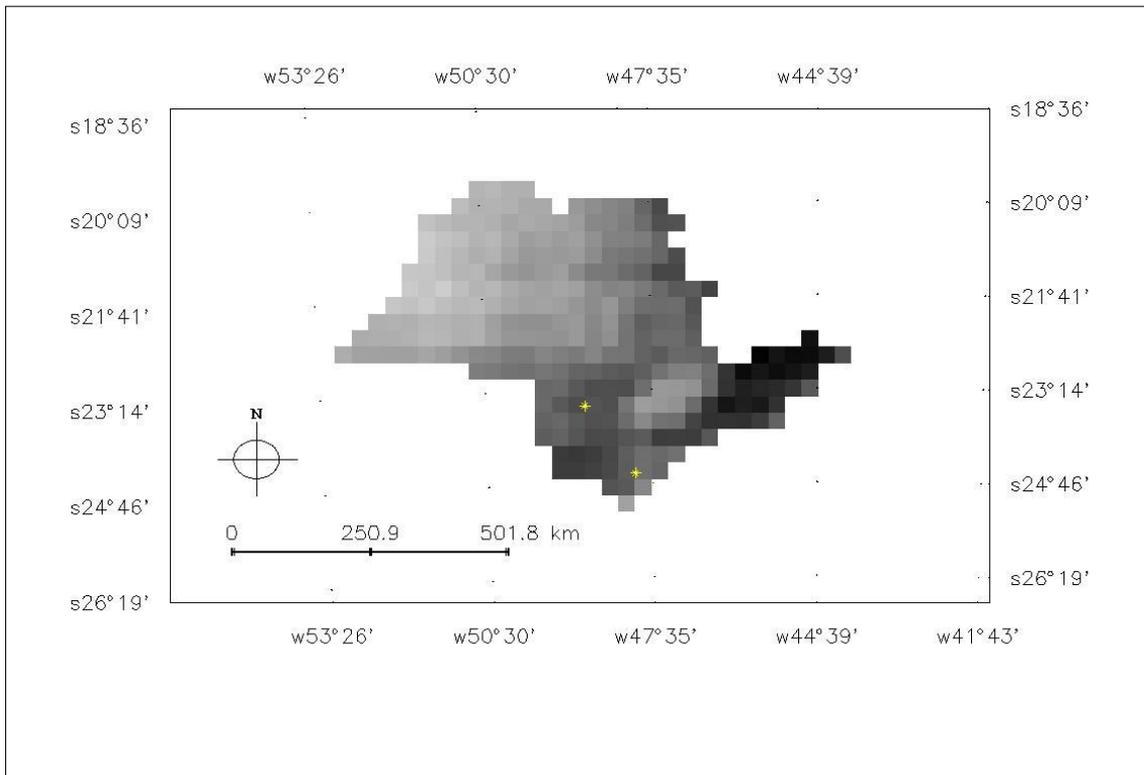




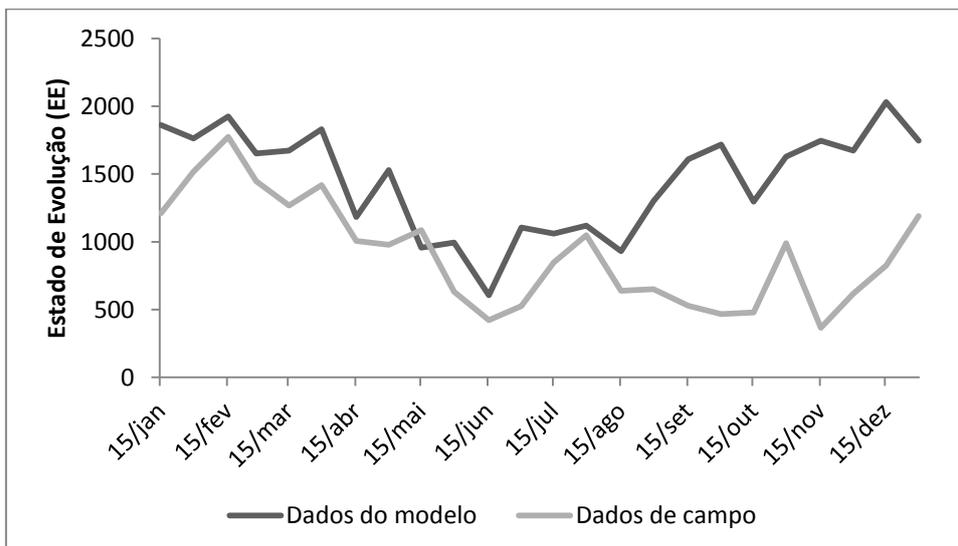
**FIG. 5** – Gráfico de colunas empilhadas das áreas consideradas com temperatura média, precipitação e umidade favoráveis a ocorrência de sigatoka-negra, e a área total favorável, considerando a operação lógica de intersecção, para o período total acumulado, considerando como favoráveis as áreas que apresentaram pelo menos um mês de favorabilidade a doença.



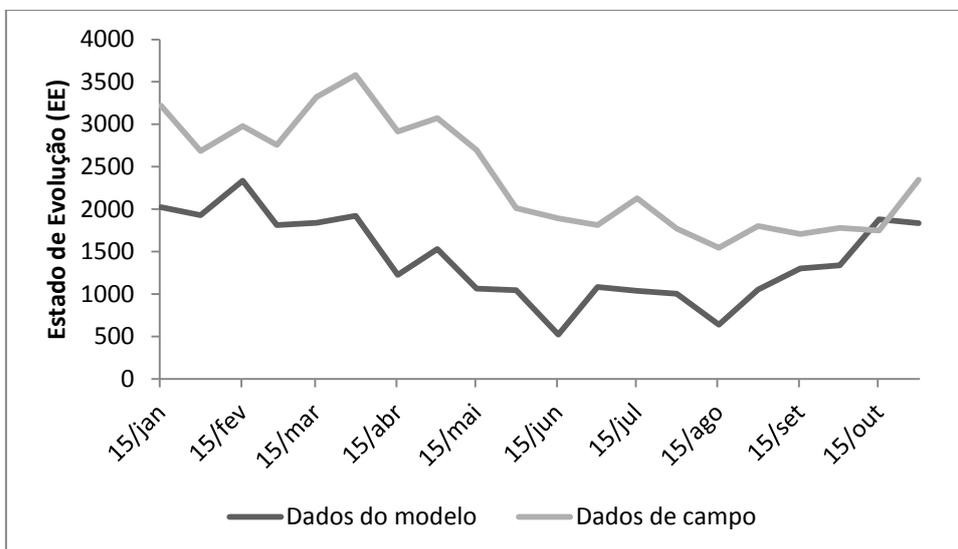
**FIG. 6** – Mapa comparativo das áreas favoráveis obtidas pelo mapa de favorabilidade considerado e as áreas livres de sigatoka-negra de acordo com o MAPA. As áreas classificadas como “Erro”, são aquelas que são consideradas livres da doença, mas que, porém, se apresentaram como sendo favoráveis climaticamente, ao menos um mês do ano de 2010.



**FIG. 7** – Mapa obtido pelo modelo de estimativa da severidade da sigatoka-negra para a região do Vale do Ribeira (Moraes et al. 2006), referente a primeira quinzena de janeiro de 2010. Os pontos destacados em amarelo são as localizações das áreas de análise consideradas neste estudo.



**FIG. 8** – Gráfico de linhas referente às curvas obtidas pelo modelo de Moraes et al. (2006) e com dados de campo, para períodos quinzenais de 2010, para a área localizada no município de Paranapanema, SP.



**FIG. 9** – Gráfico de linhas referente às curvas obtidas pelo modelo de Moraes et al. (2006) e com dados de campo, para períodos quinzenais de 2010, para a área localizada no município de Pariquera-açu, SP.

**TABELA 2** – Média mensal do estado de evolução da sigatoka-negra, com dados obtidos em campo nas diferentes áreas consideradas no estudo, e a respectiva classe de favorabilidade obtida pelo mapa de favorabilidade climática, no ano de 2010.

<b>Meses</b>	<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>	<b>Classe de Favorabilidade</b>
<b>Janeiro</b>	1361,05	3151,47	Favorável
<b>Fevereiro</b>	1576,60	2891,51	Favorável
<b>Março</b>	1350,34	3108,96	Favorável
<b>Abril</b>	1123,76	2971,35	Favorável
<b>Mai</b>	777,82	2629,60	Desfavorável
<b>Junho</b>	509,59	1942,45	Desfavorável
<b>Julho</b>	833,63	1956,89	Desfavorável
<b>Agosto</b>	726,24	1573,26	Desfavorável
<b>Setembro</b>	536,22	1785,89	Desfavorável
<b>Outubro</b>	630,08	1244,17	Favorável
<b>Novembro</b>	762,53	-	Favorável
<b>Dezembro</b>	857,22	1798,89	Favorável

## **Referências Bibliográficas**

GAUHL, F. Epidemiology and ecology of black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morlet) on plantain and banana (*Musa* spp.) in Costa Rica, Central America. Montpellier, França. INIBAP. 1994.

MOULIOM-PEFOURA, A., LASSOUDIÈRE, A., FOKO, J. & FONTEM, D.A. Comparison of development of *Mycosphaerella Fijiensis* and *Mycosphaerella musicola* on banana and plantain in various ecological zones in Cameroon. *Plant Disease* 80:950-954. 1996.

ROMERO, R.A. & SUTTON, T.B. Reaction of four *Musa* genotypes at three temperatures to isolates of *Mycosphaerella fijiensis* from different geographical regions. *Plant Disease* 81:1139-1142. 1997.

VICENTE, L.P. Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) de bananas y plátanos (*Musa* spp.) en Cuba. Biología, epidemiología y manejo integrado de la enfermedad. In: Simposium Internacional sobre sigatoka negra. 1. Manzanillo. Memórias. Manzanillo, México. SAGAR/INIBAP. 1998. pp. 24-42.

Compo, G. P., et al. 2010. *International Surface Pressure Databank (ISPDv2) 1768 to 2010. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory.* <http://dx.doi.org/10.5065/D6SQ8XDW>. Accessed<sup>s</sup> dd mmm yyyy.