

**PLANTIOS FLORESTAIS COM PINUS NO ESTADO DO PARANÁ E  
OS NOVOS CENÁRIOS DEFINIDOS PELAS  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS<sup>1</sup>**

**NEW SCENARIOS OF THE REGIONS WITH THE POTENTIAL FOR  
FOREST PLANTATIONS WITH PINUS IN PARANÁ STATE ON  
GLOBAL CLIMATE CHANGE**

Marcos Silveira WREGE<sup>2,5</sup>; Paulo Henrique CARAMORI<sup>3</sup>;  
Marilice Cordeiro GARRASTAZU<sup>2</sup>; Elenice FRITZSON<sup>2</sup>;  
Adriane PARTALA<sup>4</sup>; Georgia Luize CHRISTENSEN<sup>4</sup>

**RESUMO** – O Brasil ocupa posição de destaque mundial no setor florestal, com produtividade elevada e baixo custo de produção, concentrando os plantios florestais com as espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Neste trabalho, realizaram-se estudos sobre a influência das mudanças climáticas na delimitação das zonas para plantios florestais das duas principais espécies comerciais cultivadas no Brasil pertencentes ao gênero *Pinus*. Foram elaborados cenários futuros, usando um programa de simulação de séries temporais, verificando as possíveis mudanças do clima e o que pode ocorrer com as mudanças de zonas de plantio das espécies florestais. Os resultados mostram que há uma tendência de diminuição da área favorável aos plantios comerciais de *P. taeda* e de *P. elliottii* no Estado do Paraná, reduzindo dos atuais 7,4 milhões de hectares favoráveis para menos de 10 mil hectares até 2080 (*P. taeda*), e de 10,6 milhões de hectares para menos de 4,5 mil hectares até 2080 (*P. elliottii*), por serem espécies com alta produtividade em ambiente de clima frio e com o aumento de temperatura projetado para o futuro devem perder área para o eucalipto, entre outras, que tem espécies com maior produtividade em ambientes de maior temperatura.

Palavras-chave: mudanças climáticas globais; zonas de ocorrência; plantios florestais; zoneamento climático.

<sup>1</sup>Recebido para análise em 02.09.2016. Aceito para publicação em 23.11.2016.

<sup>2</sup>Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, km 111, 83.411-000, Colombo, PR, Brasil.

<sup>3</sup>IAPAR, Rodovia Celso Garcia Cid, km 375, 86047-902, Londrina, PR, Brasil.

<sup>4</sup>Acadêmicos do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

<sup>5</sup>Autor para correspondência: Marcos Silveira Wrege – marcos.wrege@embrapa.br

**ABSTRACT** – Brazil is a world leader in the forestry sector, with high productivity and low costs, concentrating the forest plantations with species of the genera *Pinus* and *Eucalyptus*. In this paper, we studied the influence of global climatic changes on the delimitation of the zones for forest plantations of the two main commercial species cultivated in Brazil belonging to the genus *Pinus*. Future scenarios of climatic changes have been elaborated, using a time series simulation program, verifying the possible changes in the climate and what can happen with the changes in the areas of the forest species. The results show that there is a tendency to decrease the favorable area for commercial plantations of *P. taeda* and *P. elliottii* in the state of Paraná, reducing from the current 7.4 million hectares favorable to less than 10 thousand hectares, until 2080 (*P. taeda*), and from 10.6 million hectares to less than 4,500 hectares, until 2080 (*P. elliottii*), because they are species with high productivity in a cold climate environment and with the projected rise of temperature for the future they must lose area for eucalyptus, which has species with higher productivity in higher temperature environments.

Keywords: global climate change; species occurrence; reforestation; climatic zoning.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior área de plantios florestais no mundo, ocupando posição de destaque entre os maiores produtores de florestas plantadas, com a produção de pinus e eucalipto, destacando-se no ranking dos países com maior produtividade e competitividade internacional, principalmente no setor de papel e celulose. O Paraná está entre os estados com maior área plantada, ocupando posição privilegiada no cenário brasileiro, sendo que as principais espécies plantadas pertencem aos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF, 2012).

Neste trabalho, são apresentadas as zonas indicadas com os menores riscos climáticos para plantio de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* no Estado do Paraná e as possíveis alterações nas delimitações das zonas favoráveis ao plantio comercial dessas espécies, considerando as mudanças climáticas globais.

No período 2005-2011, houve aumento da área plantada de florestas no Brasil de 27,9%, o que representa crescimento de 3% a. a., sendo representada por pinus (25,2%) e eucaliptos (74,8%).

O Paraná é o terceiro maior produtor, com 13,0% da área plantada no Brasil, atrás de Minas Gerais (22,7%) e São Paulo (18,2%). Em 2012, a área plantada com florestas no Brasil foi de 6.516.000 hectares, tendo-se estagnado nos últimos dois anos por vários fatores, entre os quais a crise internacional. A área plantada com pinus e eucalipto foi de 1.477.195 ha em Minas Gerais, 1.188.403 ha em São Paulo e 846.860 ha no Paraná (ABRAF, 2012).

O Brasil passou de 5º maior produtor mundial de celulose, em 2005, para o 3º maior em 2011, atrás de Estados Unidos e Canadá, correspondendo a 21% do mercado internacional de celulose, contra 9,6% em 2005. Na produção de painéis de compensado, o Brasil ficou na 8ª posição em 2011, respondendo por 6,2% do volume total transacionado internacionalmente. Em 2011, o Brasil caiu da 9ª posição para a 11ª na produção mundial de madeira serrada, perdendo posição para outros países da América do Sul, da Ásia e do Leste Europeu, detendo 1,2% da produção mundial, contra 2,0% anteriormente. No ranking internacional de custo de produção de celulose, o Brasil ocupa a 3ª posição, atrás do Uruguai e do Vietnã (ABRAF, 2012).

No Estado do Paraná, as principais espécies usadas em plantios florestais são as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, espécies com exigências muito distintas, em razão de o estado se situar em uma zona de transição climática, na faixa do trópico de Capricórnio. A transição é ainda mais intensificada devido à combinação de latitudes médias com o relevo, com a predominância de altitudes menores na região norte do Estado, favorecendo a ocorrência de temperaturas mais elevadas, e com altitudes maiores na região sul, onde as temperaturas são menores. Essa diferença também pode ser retratada nos diversos tipos de vegetação, cujas espécies têm exigências climáticas distintas, pelo fato de existir no estado o clima subtropical úmido ao sul do trópico de Capricórnio (de modo geral, nas altitudes superiores a 600 metros) e tropical ao norte do paralelo (onde também prevalecem altitudes inferiores a 600 metros). As espécies usadas para plantios florestais são também delimitadas em função das diferenças de clima, utilizando-se as espécies típicas de clima tropical (geralmente situadas no norte do estado, no Vale do Ribeira e no Litoral) e as de clima temperado (situadas no sul do estado).

As geadas têm forte relação com a temperatura mínima do ar, que tem sofrido elevação nos últimos anos, quando são analisadas as séries temporais de dados climáticos dos últimos 30 anos. Em Londrina, norte do Paraná, a temperatura mínima aumentou 1,5 °C, por exemplo, reduzindo, assim, os riscos de geadas nos últimos anos (Ricce et al., 2008), embora não os eliminando. Desse modo, a redução dos riscos de geadas e do frio podem diminuir a área disponível para uso em plantios florestais de espécies de clima temperado, como as do gênero *Pinus*, permitindo o deslocamento mais para o sul das zonas para plantio de espécies de clima tropical.

*Pinus*, originado na região Sudeste dos Estados Unidos, na zona de clima temperado, é um gênero com mais de 100 espécies, que se desenvolvem nos mais diversos ambientes, desde zonas de clima temperado a tropical, nas florestas boreais, subalpinas, em florestas de clima temperado, na Costa do Mediterrâneo, em locais áridos e, ainda, em montanhas de clima tropical e em Terras Baixas (Richardson e Rundel, 1998).

No Brasil, espécies do gênero *Pinus* são plantadas há mais de um século. Foi introduzido, inicialmente, para fins ornamentais. A partir de 1960, começou a ser explorado comercialmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. A partir da década de 1970, foi a principal fonte de matéria-prima para o desenvolvimento da indústria florestal, abastecendo um mercado bastante diversificado. A madeira de pinus atende aos mercados de produção de laminados, de chapas, de resina, de papel e celulose. A produção de pinus foi fundamental para a substituição do uso da madeira de araucária, reduzindo a pressão pelo desmatamento desta espécie florestal nativa, favorecendo a preservação da Floresta Ombrófila Mista, onde a araucária se desenvolve. Hoje, ainda 30% das florestas plantadas para produção de papel e celulose são de pinus, produzindo material diferenciado, com qualidade superior, em relação a outras espécies (Aguiar et al., 2014). A área com plantios florestais no Paraná é de 846.860 hectares, correspondendo a 658.707 hectares plantados com pinus e 188.153 hectares com eucalipto (ABRAF, 2012).

Duas espécies de pinus têm potencial para plantio no Paraná nas regiões mais frias, sendo as mais plantadas *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, a diminuição dos riscos de geadas e do frio podem reduzir a área. Existem outras espécies de pinus, principalmente os tropicais, mas que ainda são pouco plantadas (Wrege et al., 2014).

*P. taeda* é indicado para plantio em zonas de clima subtropical úmido, também denominado mesotérmico, de acordo com a classificação climática de Koeppen. Desse modo, tolera as geadas, mas a temperatura mínima no ar deve ser superior a 1 °C (Higa et al., 2008). Tem maior produtividade e desenvolvimento na região Sul do Brasil, com incrementos médios anuais (IMA) de até 40 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> quando atinge os 18 anos, um dos maiores índices de produtividade, contra 10 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> nos Estados Unidos, por exemplo (Higa, 2006). O verão quente, com temperaturas maiores, e os solos de textura arenosa e de boa drenagem, favorecem o rendimento elevado de *P. taeda* na região Sul do Brasil. Além das condições ambientais extremamente favoráveis, o melhoramento genético colaborou para a obtenção dos maiores índices de produtividade (Ferreira et al., 2005).

*P. taeda*, além da região Sul do Brasil, também se desenvolve bem em Misiones e Corrientes, Argentina, onde encontra condições ambientais muito favoráveis ao seu crescimento, com os maiores índices de produtividade, equivalentes aos do Brasil. É a espécie de pinus com os maiores incrementos, de acordo com relatos de empresas do setor florestal presentes no Sul do país (Ferreira et al., 2005).

As variáveis climáticas que têm maior influência sobre o pinus são a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica, colaborando na definição dos limites de zonas favoráveis para plantios comerciais e nos índices de produtividade. A temperatura, principalmente a temperatura mínima do ar, pode definir os locais favoráveis para plantio, estando relacionada à ocorrência de geadas. A disponibilidade de água também é importante, principalmente devido à produtividade, com pouca interferência sobre as zonas favoráveis para os plantios comerciais. Não existe, basicamente, limitação de plantio no Paraná em razão da ocorrência de períodos de estiagens.

No Sul dos Estados Unidos, é a espécie florestal mais importante, ocupando mais de 11 milhões de hectares entre florestas nativas manejadas ou plantios comerciais. Ocorre em 14 estados do Sul dos Estados Unidos (Baker e Langdon, 1990) nas zonas de clima subtropical úmido, onde a umidade relativa é elevada e os totais pluviométricos são de 1.020 a 1.500 mm por ano. Nessas regiões, o verão é quente e o inverno é ameno, com temperaturas variando entre 13 e 24 °C (média anual). No verão, as médias de temperaturas podem chegar a 27 °C, e no inverno, entre 4 e 16 °C. As temperaturas extremas são de 38°C (temperatura máxima absoluta) e -23 °C (temperatura mínima absoluta). No Estado do Paraná, a média de temperatura mínima absoluta no mês mais frio do ano (julho) é de até -6 °C e a média de temperatura máxima absoluta no mês mais quente (dezembro) é de até 38 °C (Wrege et al., 2011). O período em que ocorrem geadas, em um ano, varia de 2 a 7 meses (Higa et al., 2008). Na região Sul do Brasil, as condições climáticas são similares às da região de origem de *P. taeda* e *P. elliottii*, prevalecendo temperaturas um pouco maiores, período de geadas um pouco menor e volumes de chuva maiores, entre 1.200 e 2.000 mm por ano (Wrege et al., 2011).

Os estudos de cenários climáticos futuros para o Paraná, elaborados conforme o 4º relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (AR4/IPCC) (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2012), são fundamentais para estudar as possibilidades de exploração das espécies desse gênero diante das perspectivas futuras, visando auxiliar políticas públicas e as empresas do setor florestal que trabalham com pinus no Paraná, considerando-se que ainda é o gênero que detém uma das espécies mais amplamente utilizadas em plantios florestais no estado. *P. taeda* deve ser uma das espécies que sofrerão redução de área favorável, causada pelas alterações do clima, por ser uma espécie de clima temperado, com previsões de recuo na fronteira de exploração no Sul do Brasil, começando pelo Estado do Paraná, situado na zona de transição climática, junto ao Trópico de Capricórnio. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar quais são as regiões no Estado do Paraná onde *P. taeda* e *P. elliottii* podem ser plantadas e melhor se adaptar às condições ambientais locais, nas regiões com os menores riscos climáticos e verificar as alterações nas zonas de plantio com baixos riscos, diante dos cenários de mudanças climáticas globais.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, foram usados dados climáticos de séries temporais da rede de estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR e do Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR, empregando-se a série histórica com início em 1981 e término em 2010, a qual foi utilizada como referência para o período base, e séries temporais de dados climáticos projetados para cenários futuros, elaborados usando um programa de simulação estocástica, criado por Virgens Filho et al. (2011). Foram calculadas médias de temperaturas mínimas do ar, médias de temperaturas máximas do ar, temperaturas médias do ar, médias do total acumulado em um ano de precipitação pluviométrica, para o período base, de 1981 a 2010, e para os cenários futuros, representados pelas décadas de 2011-2020; 2021-2030; 2031-2040, 2041-2050; 2051-2060, 2061-2070; 2071-2080; 2081-2090 e 2091-2100. Os dados foram organizados em camadas de informações, usando sistemas de informações geográficas – SIG.



A cartografia utilizada, como o modelo de superfície do terreno (United State Geological Survey – USGS, 1999) (Figura 1) e os modelos de latitude e de longitude, estavam na escala 1:250.000, o que equivale a um espaçamento de 30 metros entre cada valor, na linha do Equador.

Os mapas de temperatura atual e futura foram elaborados utilizando-se regressão linear múltipla, correlacionando as variáveis climáticas com o modelo de superfície do terreno (altitude, em metros sobre o nível do mar) (Figura 1), a latitude e a longitude (em graus decimais). Para este fim, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{temperatura} = a + b \times \text{altitude} + c \times \text{latitude} + d \times \text{longitude}$$

Em que:

a: constante;

b: coeficiente da altitude;

c: coeficiente da latitude;

d: coeficiente da longitude.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos mapas dos cenários climáticos futuros, previu-se a redução e o recuo nas zonas de plantio de pinus (*P. taeda* e *P. elliottii*), de acordo com os relatórios do IPCC (2012) (Tabelas 1 a 5 e Figuras 2 a 5), podendo chegar a quase 100% de redução (*P. taeda*, pior cenário) ou pouco mais de 90% (*P. taeda*, melhor cenário), ou ainda quase 60% (*P. elliottii*, pior cenário) ou pouco mais de 17% (*P. elliottii*, melhor cenário) até a década de 2080, havendo, ainda, deslocamento da zona atual em direção ao sul do estado, em zonas de maior latitude e altitude.

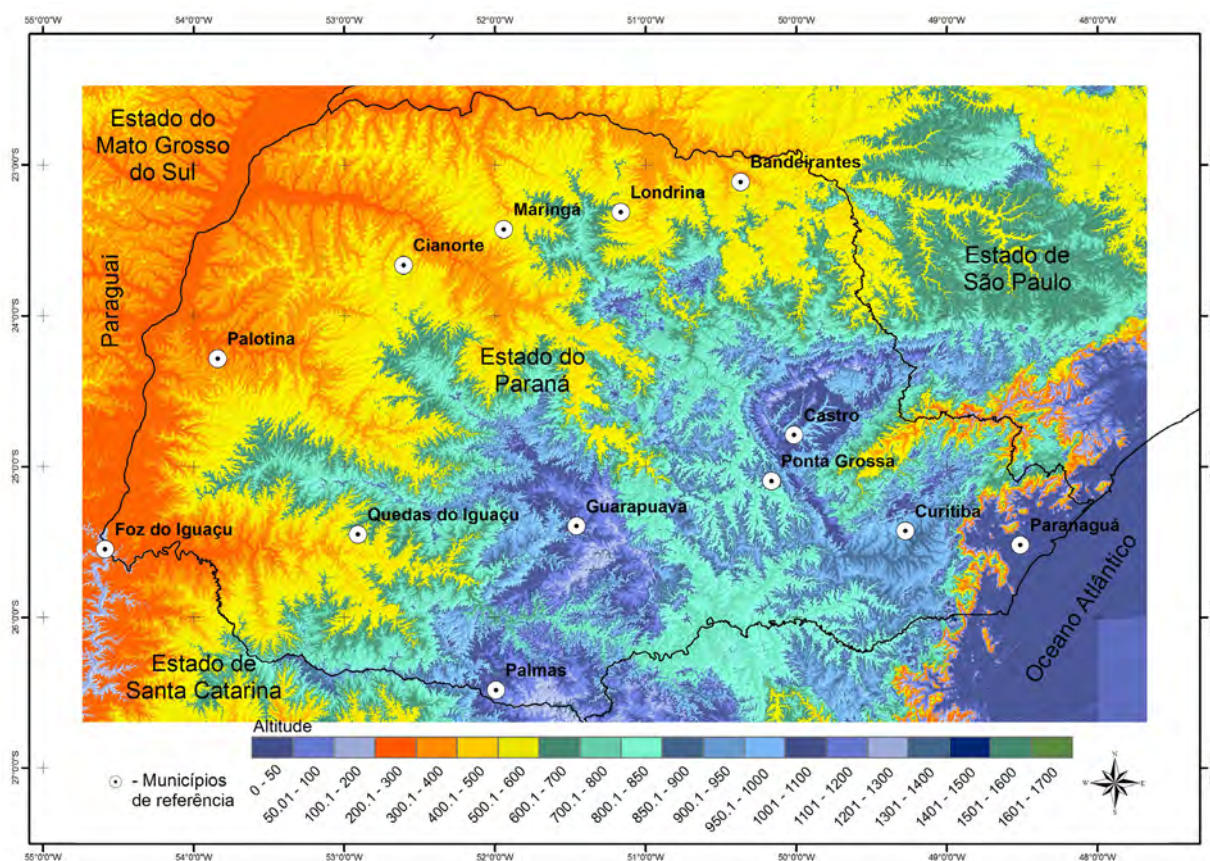


Figura 1. Modelo Numérico do Terreno – MNT do Paraná usado para interpolação dos dados de temperatura. Elaborado pelo autor a partir de dados disponíveis de Weber et al. (2004) e USGS (1999).

Figure 1. Digital Elevation Model – MNT of the state of Paraná used for interpolation of temperature. Elaborated by the author based on data available from Weber et al. (2004) and USGS (1999).

Os mapas (Figuras 2 a 5) foram elaborados com duas classes: favorável ao plantio comercial e desfavorável. A cor verde representa as áreas favoráveis ao plantio e, a branca, as desfavoráveis, devido às restrições climáticas. Os limites dessas zonas foram definidos, basicamente, pela temperatura, sendo a zona classificada como favorável (de cor verde) de clima subtropical úmido e a desfavorável (de cor branca), tropical. Inclusive o Litoral, que também se encontra na cor branca, é desfavorável para pinus devido ao excesso de chuvas, que o caracteriza como tipicamente tropical. No Litoral, as chuvas são orográficas e ocorrem com maior frequência que em outras zonas devido aos contrafortes da Serra do Mar, que bloqueiam a entrada de ventos carregados de umidade vindos do oceano em direção ao continente e colaboram para que as precipitações pluviais ocorram nas encostas da Serra do Mar. Por essa razão, em virtude do grande volume de chuvas e de sua distribuição abundante em quase todos os meses, o plantio comercial de pinus não é favorável no Litoral.

As áreas não recomendadas para o plantio de *P. taeda* são as áreas de transição, onde, embora não existam restrições do ponto de vista climático, o incremento volumétrico é inferior aos dos pinus tropicais e inferior às regiões

preferenciais e recomendadas. Essa diferença é observada principalmente nos limites naturais do Segundo Planalto Paranaense, limitado a leste pela Escarpa Devoniana e a oeste pela Escarpa da Esperança, região com grandes áreas de reflorestamento. As áreas fora dos limites da classificação não são recomendadas para plantio (Higa et al., 2008).

Nas tabelas 1 a 3 são apresentadas as equações e os valores que foram elaborados para uso nos mapeamentos do período base e dos cenários climáticos futuros. Os coeficientes podem ser usados nas equações de regressões das variáveis climáticas obtidas em função da latitude, da longitude e da altitude de cada local, para obter os mapas do estado.

O recuo da zona favorável ao plantio, de clima frio, em relação à zona desfavorável, de clima quente, ocorre devido ao aumento da temperatura do ar, principalmente a temperatura mínima. *P. taeda* é uma espécie de clima temperado, com maior rendimento nas regiões de clima subtropical úmido. Assim, ocorre um recuo na fronteira de exploração em relação à região sul, em como deve ocorrer também para outras culturas de clima temperado cultivadas no Brasil (Tabela 5).

Tabela 1. Coeficientes da equação de regressão das médias das temperaturas média, máxima e mínima do ar (°C) no Estado do Paraná (constante, coeficientes das latitudes, das longitudes e das altitudes) para o período base (1981-2010).

Table 1. Coefficients of the regression equation for mean, maximum and minimum air temperatures (°C) in the state of Paraná (constant, coefficients of latitudes, longitudes and altitudes) for the base period (1981-2010).

| Coeficientes   | Temperatura Média | Temperatura Máxima | Temperatura Mínima |
|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| constante      | 18,7254           | 26,5170            | 20,8696            |
| latitude       | 0,6836            | 0,8212             | 0,57180            |
| longitude      | -0,4024           | -0,4384            | -0,2275            |
| altitude       | -0,0045           | -0,0043            | -0,0053            |
| r <sup>2</sup> | 0,82              | 0,89               | 0,82               |

Tabela 2. Coeficientes das equações de regressão das médias anuais das temperaturas (°C) médias, mínimas e máximas do ar no Estado do Paraná (constante, coeficientes das latitudes, das longitudes e das altitudes) para os cenários futuros mais pessimistas A2 (2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070, 2071-2080, 2081-2090 e 2091-2100).

Table 2. Coefficients of the regression equations of the mean, minimum and maximum air temperatures (°C) in the state of Paraná (constant, coefficients of latitudes, longitudes and altitudes) for the most pessimistic future scenarios A2 (2011- 2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070, 2071-2080, 2081-2090 and 2091-2100).

|                    | 2011-2020 | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 | 2051-2060 | 2061-2070 | 2071-2080 | 2081-2090 | 2091-2100 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Temperatura média  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| constante          | 30,1959   | 30,4421   | 30,8665   | 31,3413   | 31,6520   | 32,0112   | 32,9583   | 33,1828   | 33,2200   |
| latitude           | 0,8015    | 0,8029    | 0,7914    | 0,8015    | 0,7948    | 0,7982    | 0,8028    | 0,8001    | 0,7975    |
| longitude          | -0,2639   | -0,2684   | -0,2638   | -0,2678   | -0,2673   | -0,2703   | -0,2631   | -0,2658   | -0,2724   |
| altitude           | -0,004714 | -0,004698 | -0,004735 | -0,004724 | -0,004731 | -0,004699 | -0,004731 | -0,004716 | -0,004723 |
| r <sup>2</sup>     | 0,9460    | 0,9449    | 0,9432    | 0,9458    | 0,9443    | 0,9445    | 0,9432    | 0,9443    | 0,9461    |
| Temperatura máxima |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| constante          | 32,9151   | 33,6284   | 33,8331   | 34,2801   | 34,6924   | 34,7901   | 35,9142   | 35,9881   | 36,3320   |
| latitude           | 0,9252    | 0,9343    | 0,9126    | 0,9258    | 0,9199    | 0,9227    | 0,9268    | 0,9243    | 0,9307    |
| longitude          | -0,3719   | -0,3708   | -0,3657   | -0,3717   | -0,3697   | -0,3774   | -0,3668   | -0,3724   | -0,3770   |
| altitude           | -0,004482 | -0,004435 | -0,004482 | -0,004473 | -0,004488 | -0,004444 | -0,004503 | -0,004465 | -0,004457 |
| r <sup>2</sup>     | 0,9141    | 0,9136    | 0,9116    | 0,9143    | 0,9122    | 0,9118    | 0,9112    | 0,9137    | 0,9171    |
| Temperatura mínima |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| constante          | 27,4767   | 27,2558   | 27,9000   | 28,4025   | 28,6117   | 29,2323   | 30,0025   | 30,3775   | 30,1080   |
| latitude           | 0,6778    | 0,6716    | 0,6703    | 0,6771    | 0,6697    | 0,6737    | 0,6788    | 0,6758    | 0,6642    |
| longitude          | -0,1560   | -0,1660   | -0,1619   | -0,1640   | -0,1649   | -0,1631   | -0,1593   | -0,1592   | -0,1678   |
| altitude           | -0,004947 | -0,004961 | -0,004989 | -0,004975 | -0,004976 | -0,004954 | -0,004960 | -0,004967 | -0,004990 |
| r <sup>2</sup>     | 0,8622    | 0,8595    | 0,8599    | 0,8654    | 0,8642    | 0,8618    | 0,8612    | 0,8635    | 0,8650    |

Tabela 3. Coeficientes das equações de regressão das médias anuais das temperaturas (°C) médias, mínimas e máximas do ar no Estado do Paraná (constante, coeficientes das latitudes, das longitudes e das altitudes) para os cenários futuros menos pessimistas B1 (2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070, 2071-2080, 2081-2090, 2091-2100).

Table 3. Coefficients of the regression equations of the mean, minimum and maximum air temperatures (°C) in the state of Paraná (constant, coefficients of latitudes, longitudes and altitudes) for the most pessimistic future scenarios B1 (2011- 2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070, 2071-2080, 2081-2090 and 2091-2100).

|                           | 2011-2020 | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 | 2051-2060 | 2061-2070 | 2071-2080 | 2081-2090 | 2091-2100 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Temperatura média</b>  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| constante                 | 28,4973   | 28,5458   | 28,9755   | 29,1308   | 29,3176   | 29,4709   | 29,3930   | 29,8062   | 30,0951   |
| latitude                  | 0,8223    | 0,8287    | 0,8267    | 0,8337    | 0,8280    | 0,8238    | 0,8188    | 0,8253    | 0,8261    |
| longitude                 | -0,3022   | -0,3080   | -0,3023   | -0,3071   | -0,3045   | -0,3031   | -0,3064   | -0,3051   | -0,3038   |
| altitude                  | -0,004603 | -0,004589 | -0,004577 | -0,004613 | -0,004608 | -0,004597 | -0,004611 | -0,004587 | -0,004595 |
| r <sup>2</sup>            | 0,9726    | 0,9740    | 0,9720    | 0,9728    | 0,9737    | 0,9731    | 0,9737    | 0,9734    | 0,9731    |
| <b>Temperatura máxima</b> |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| constante                 | 32,9567   | 32,5922   | 33,3773   | 33,3363   | 33,4886   | 33,6796   | 33,5217   | 33,8522   | 34,2471   |
| latitude                  | 0,9227    | 0,9188    | 0,9147    | 0,9285    | 0,9285    | 0,9200    | 0,9095    | 0,9184    | 0,9201    |
| longitude                 | -0,3673   | -0,3765   | -0,3630   | -0,3747   | -0,3755   | -0,3709   | -0,3735   | -0,3750   | -0,3722   |
| altitude                  | -0,004469 | -0,004463 | -0,004463 | -0,004490 | -0,004483 | -0,004442 | -0,004475 | -0,004456 | -0,004475 |
| r <sup>2</sup>            | 0,9144    | 0,9129    | 0,9150    | 0,9122    | 0,9136    | 0,9135    | 0,9109    | 0,9140    | 0,9128    |
| <b>Temperatura mínima</b> |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| constante                 | 24,0379   | 24,4994   | 24,5737   | 24,9253   | 25,1467   | 25,2622   | 25,2643   | 25,7602   | 25,9431   |
| latitude                  | 0,7219    | 0,7385    | 0,7386    | 0,7388    | 0,7275    | 0,7276    | 0,7280    | 0,7322    | 0,7320    |
| longitude                 | -0,2370   | -0,2394   | -0,2416   | -0,2396   | -0,2335   | -0,2354   | -0,2394   | -0,2352   | -0,2355   |
| altitude                  | -0,004737 | -0,004715 | -0,004692 | -0,004736 | -0,004733 | -0,004753 | -0,004746 | -0,004719 | -0,004716 |
| r <sup>2</sup>            | 0,9007    | 0,9040    | 0,9007    | 0,9032    | 0,9046    | 0,9030    | 0,9028    | 0,8997    | 0,9021    |



Tabela 4. Rede de estações meteorológicas do IAPAR com médias de precipitação pluviométrica acumulada por ano (mm) projetadas para cenários climáticos futuros (décadas de 2030, 2050, 2070 e 2090).

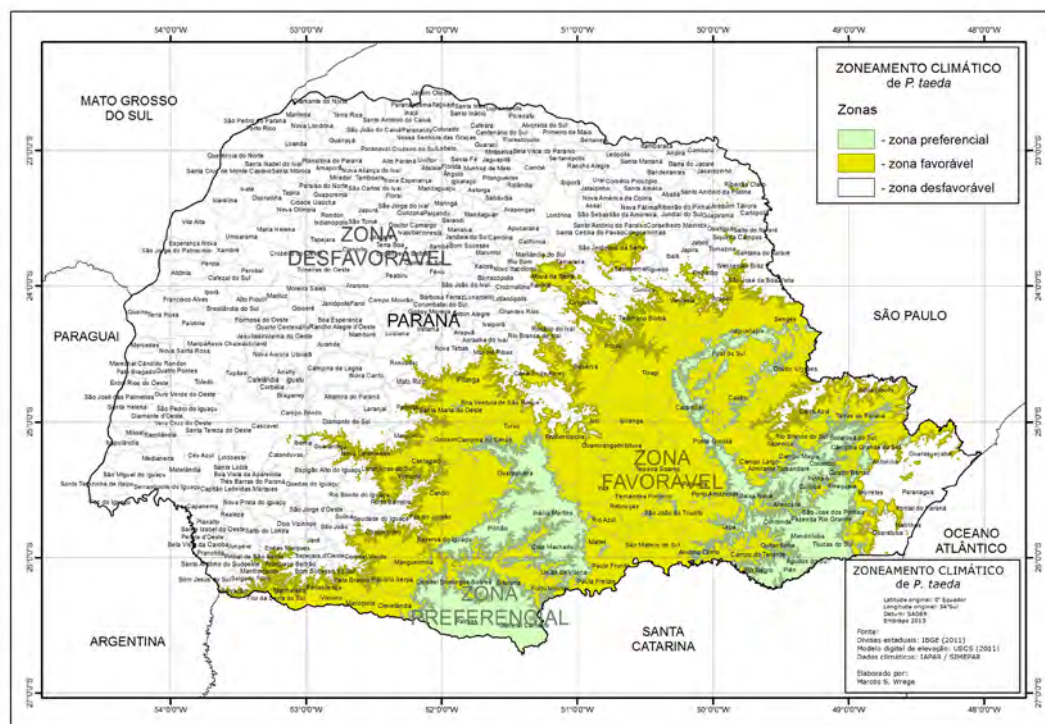
Table 4. IAPAR weather stations network with averages of accumulated rainfall per year (mm) projected for future climatic scenarios (decades 2030, 2050, 2070 and 2090).

| Município          | Latitude | Longitude | Altitude | 2030    | 2050    | 2070    | 2090    |
|--------------------|----------|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| Apucarana          | -23,50   | -51,53    | 746      | 1919,17 | 2059,70 | 2203,36 | 2277,93 |
| Bandeirantes       | -23,10   | -50,35    | 440      | 1564,95 | 1751,52 | 1865,39 | 2044,68 |
| B. V. do Paraíso   | -22,95   | -51,20    | 600      | 1661,52 | 1755,24 | 1935,93 | 2177,63 |
| Cambará            | -23,00   | -50,03    | 450      | 1598,13 | 1722,40 | 1867,68 | 1975,29 |
| Cascavel           | -24,88   | -53,55    | 760      | 2258,03 | 2406,67 | 2573,62 | 2839,06 |
| Cerro Azul         | -24,82   | -49,25    | 360      | 1548,97 | 1699,75 | 1867,29 | 1975,09 |
| Cianorte           | -23,67   | -52,58    | 530      | 1817,97 | 1999,59 | 2212,92 | 2337,98 |
| Clevelândia        | -26,42   | -52,35    | 930      | 2292,70 | 2546,09 | 2664,46 | 2869,39 |
| Fernandes Pinheiro | -25,45   | -50,58    | 893      | 1800,43 | 1886,98 | 2051,79 | 2267,02 |
| Francisco Beltrão  | -26,08   | -53,07    | 650      | 2361,78 | 2479,34 | 2665,37 | 2893,61 |
| Guarapuava         | -25,35   | -51,50    | 1058     | 2092,35 | 2280,36 | 2452,40 | 2615,09 |
| Guaraqueçaba       | -25,27   | -48,53    | 40       | 2688,18 | 2869,56 | 3070,93 | 3333,73 |
| Ibiporã            | -23,27   | -51,02    | 484      | 1670,88 | 1737,06 | 1921,11 | 2095,19 |
| Joaquim Távora     | -23,50   | -49,95    | 512      | 1616,71 | 1733,16 | 1893,20 | 2011,31 |
| Laranjeiras do Sul | -25,42   | -52,42    | 880      | 2255,19 | 2511,66 | 2696,11 | 2853,47 |
| Londrina           | -23,37   | -51,17    | 585      | 1864,56 | 2021,83 | 2097,29 | 2241,13 |
| Morretes           | -25,50   | -48,82    | 59       | 2263,01 | 2388,11 | 2544,23 | 2717,34 |
| Nova Cantu         | -24,67   | -52,57    | 540      | 2176,71 | 2295,35 | 2430,89 | 2727,37 |
| Palmas             | -26,48   | -51,98    | 1100     | 2293,51 | 2465,82 | 2689,09 | 2941,16 |
| Palotina           | -24,30   | -53,92    | 310      | 1808,54 | 2013,23 | 2203,02 | 2360,74 |
| Paranavaí          | -23,08   | -52,43    | 480      | 1608,84 | 1818,29 | 1873,92 | 1983,81 |
| Pato Branco        | -26,12   | -52,68    | 700      | 2284,78 | 2584,41 | 2679,49 | 2942,01 |
| Pinhais            | -25,42   | -49,13    | 930      | 1619,22 | 1761,94 | 1907,40 | 2037,41 |
| Planalto           | -25,70   | -53,78    | 400      | 2113,78 | 2283,97 | 2516,05 | 2661,70 |
| Ponta Grossa       | -25,22   | -50,15    | 880      | 1844,25 | 2079,70 | 2153,08 | 2269,27 |
| Quedas do Iguaçu   | -25,52   | -53,02    | 513      | 2328,80 | 2494,93 | 2670,28 | 2790,40 |
| Telêmaco Borba     | -24,33   | -50,62    | 768      | 1788,52 | 1926,13 | 2033,21 | 2230,34 |
| Umuarama           | -23,73   | -53,28    | 480      | 1814,04 | 1933,63 | 2050,98 | 2223,06 |

Tabela 5. Alteração de áreas de plantio comercial de pinus no Paraná de acordo com cenários de mudanças climáticas globais.

Table 5. Change of commercial pine plantation areas in the state of Paraná according to global climate change scenarios.

| Cenário | Década    | <i>P. taeda</i>        |                        | <i>P. elliottii</i>    |                        |
|---------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|         |           | Área Favorável<br>(ha) | Redução de Área<br>(%) | Área Favorável<br>(ha) | Redução de Área<br>(%) |
| A2      | Atual     | 7.431.269              | 0,0                    | 10.664.518             | 0,0                    |
|         | 2011-2020 | 3.707.482              | 50,1                   | 9.499.330              | 10,9                   |
|         | 2021-2030 | 1.940.955              | 73,9                   | 9.659.570              | 9,4                    |
|         | 2031-2040 | 711.933                | 90,4                   | 8.888.520              | 16,6                   |
|         | 2041-2050 | 351.280                | 95,3                   | 7.942.980              | 25,5                   |
|         | 2051-2060 | 121.093                | 98,4                   | 7.075.323              | 33,6                   |
|         | 2061-2070 | 44.472                 | 99,4                   | 5.645.090              | 47,0                   |
| B1      | 2071-2080 | 9.844                  | 99,9                   | 4.509.780              | 57,7                   |
|         | 2011-2020 | 4.412.390              | 40,6                   | 8.891.083              | 16,6                   |
|         | 2021-2030 | 3.714.345              | 50,0                   | 9.301.779              | 12,7                   |
|         | 2031-2040 | 2.643.619              | 64,4                   | 9.348.313              | 12,3                   |
|         | 2041-2050 | 2.123.870              | 71,4                   | 9.402.661              | 11,8                   |
|         | 2051-2060 | 1.558.877              | 79,0                   | 9.377.590              | 12,0                   |
|         | 2061-2070 | 981.738                | 86,8                   | 9.223.618              | 13,5                   |
|         | 2071-2080 | 582.701                | 92,2                   | 8.811.659              | 17,3                   |

Figura 2. Regiões com potencial para plantios florestais com *P. taeda* no Estado do Paraná.Figure 2. Regions with potential for forest plantations with *P. taeda* in the state of Paraná.

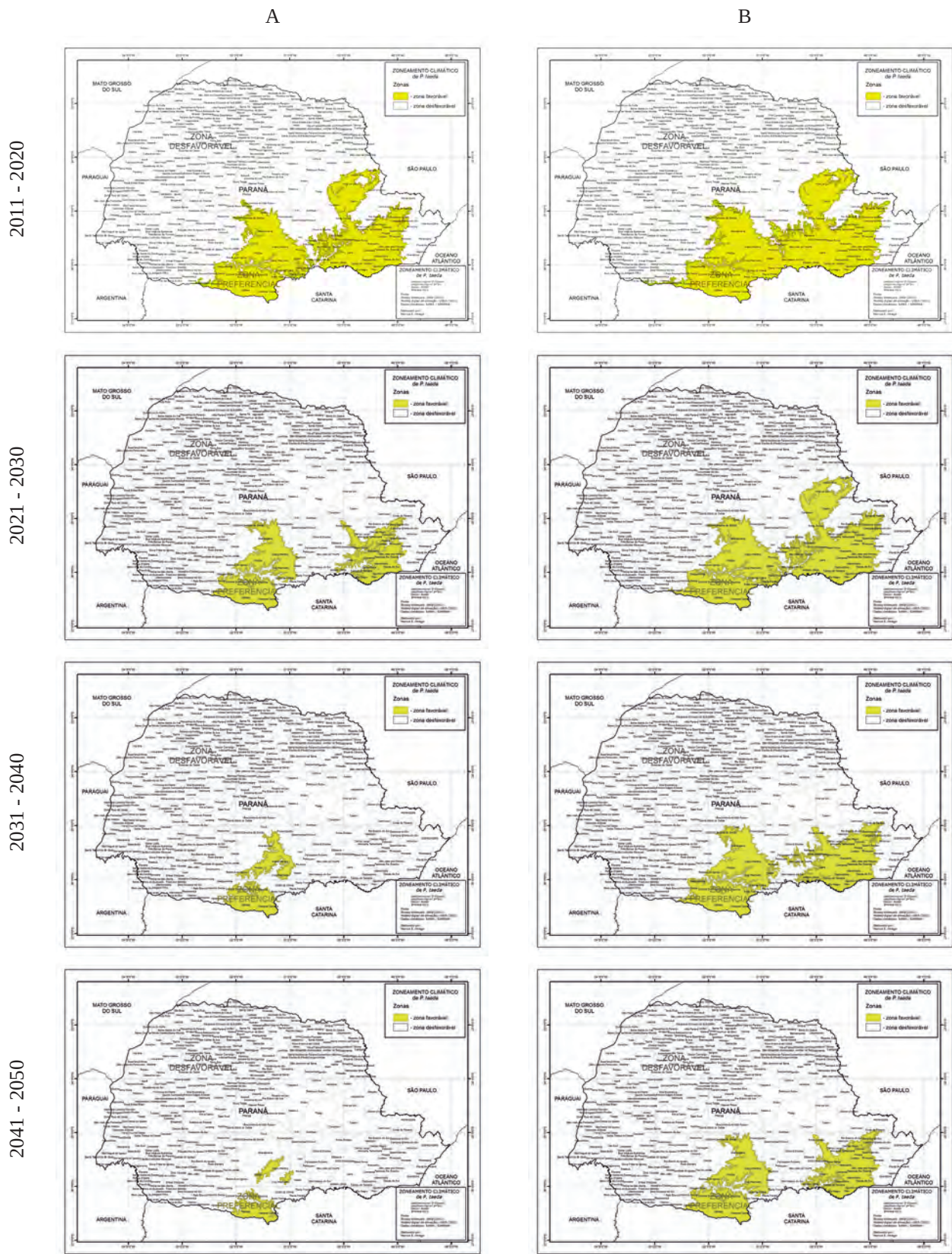


Figura 3a. Novos cenários de regiões com potencial para plantios florestais com *P. taeda* no Estado do Paraná.

Figure 3a. New scenarios of regions with potential for forest plantations with *P. taeda* in the state of Paraná.





Figura 3b. Novos cenários de regiões com potencial para plantios florestais com *P. taeda* no Estado do Paraná.

Figure 3b. New scenarios of regions with potential for forest plantations with *P. taeda* in the state of Paraná.





B

[illegible]

Figure 5a. New scenarios of regions with potential for forest plantations with *P. elliottii* in the state of Paraná.



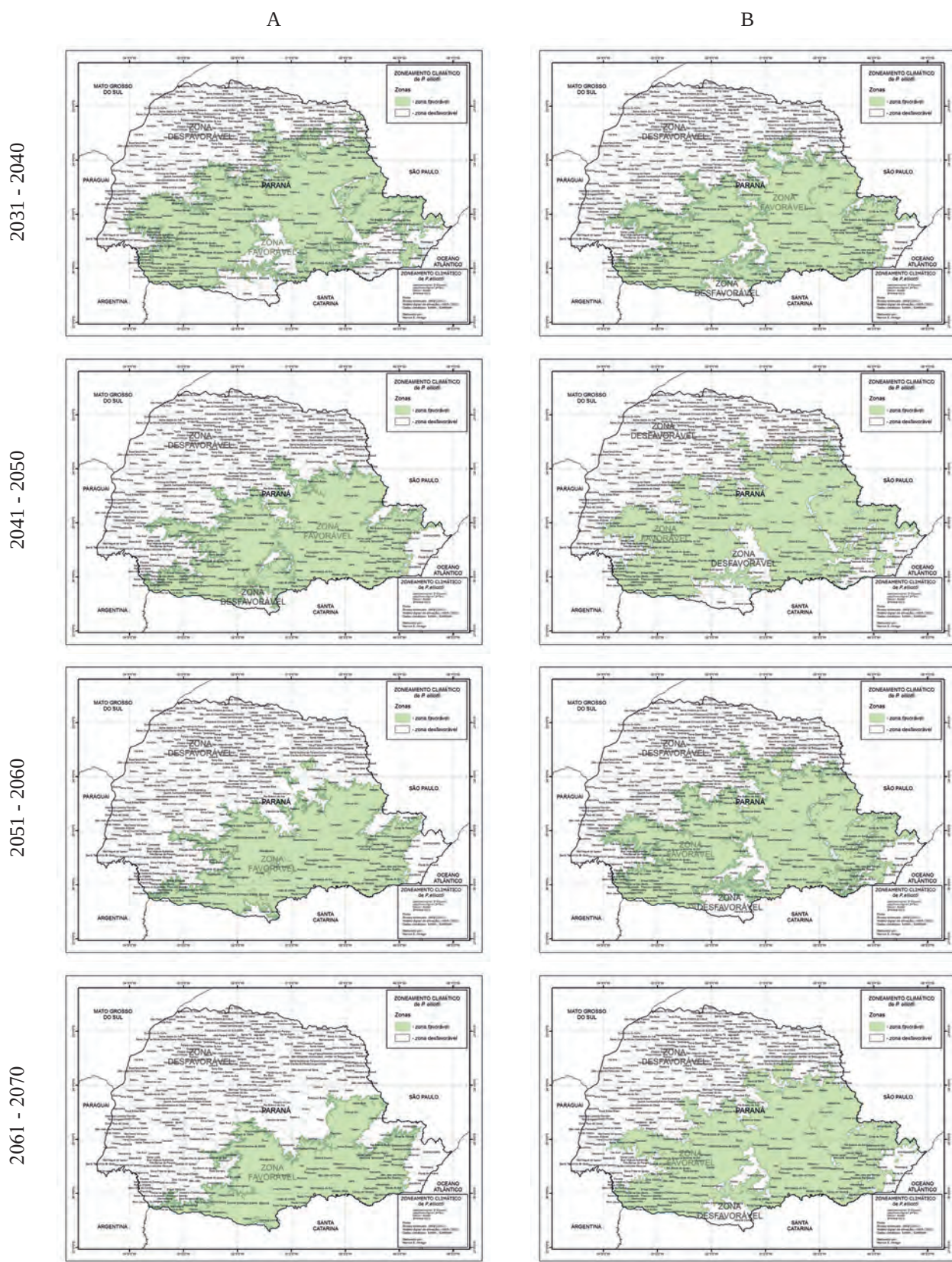


Figura 5b. Novos cenários de regiões com potencial para plantios florestais com *P. elliottii* no Estado do Paraná.

Figure 5b. New scenarios of regions with potential for forest plantations with *P. elliottii* in the state of Paraná.

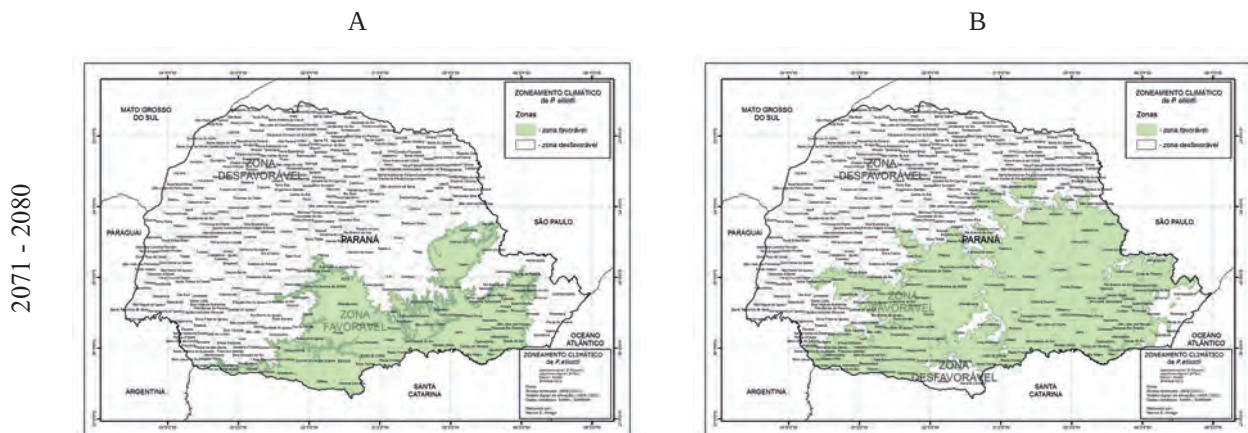


Figura 5c. Novos cenários de regiões com potencial para plantios florestais com *P. elliottii* no Estado do Paraná.

Figure 5c. New scenarios of regions with potential for forest plantations with *P. elliottii* in the state of Paraná.

Nas figuras são apresentados dois cenários, A2 e B1. O que se pode verificar é que, nas próximas décadas, se a progressão das emissões de gases de efeito estufa continuar como está, deve haver significativa redução nas zonas mais indicadas para plantio de *P. taeda* no Estado do Paraná, tendendo a se concentrar mais ao sul, onde as temperaturas devem permanecer frias, com condições favoráveis para plantio comercial até, pelo menos, a década de 2060 (cenário mais pessimista), ou até a década de 2080 (cenário menos pessimista).

Considerando-se os cenários apresentados, verifica-se a importância para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético, principalmente para *P. taeda*, espécie mais plantada, com o desenvolvimento de materiais de maior produtividade e de boa qualidade de madeira em condições de clima mais quente, caso contrário os plantios comerciais de pinus tenderão a ser trocados pelos plantios de eucalipto e de outras espécies florestais de alto rendimento em clima quente.

Embora atualmente não haja restrições em relação à disponibilidade de água para o desenvolvimento de pinus na região Sul, devido às mudanças climáticas, é importante que sejam desenvolvidos materiais com maior tolerância à seca, porque poderão ocorrer mudanças na distribuição das chuvas, com possibilidade de ocorrerem períodos de estiagem, ainda que ocorram projeções de aumento de chuvas na região Sul do país.

#### 4 CONCLUSÕES

Com as mudanças climáticas globais, as projeções indicam aumento da temperatura do ar, principalmente das temperaturas mínimas, que ocorrem com mais frequência à noite. Assim, a tendência é de haver aumento da respiração das plantas, podendo haver redução da fotossíntese líquida de *P. taeda* e de *P. elliottii*, repercutindo na redução da produção comercial.

Ocorrerá diminuição das áreas de baixo risco para plantio comercial de *P. taeda* e *P. elliottii*, em função do aumento da temperatura do ar, favorecendo o plantio de outras espécies mais bem adaptadas e com maior produtividade em clima quente. As zonas de maior altitude no Sul do país ainda permanecerão favoráveis ao plantio das duas espécies.

Programas de melhoramento genético para *P. taeda* e *P. elliottii* precisarão ser desenvolvidos, caso ainda haja intenção de manter essas espécies como opção para plantio comercial, focando no desenvolvimento de materiais mais bem adaptados às condições de invernos e de noites com temperaturas maiores que as atuais, além de considerar também a adaptação às estiagens, mesmo com projeção de maiores volumes de chuva no futuro, devido à possibilidade de irregularidade na distribuição das chuvas ao longo do ano.



## 5 AGRADECIMENTOS

À FINEP, pelo apoio financeiro e concessão de bolsas de estudo (por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq) para os estudantes do curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Este artigo é parte do resultado do projeto “*Simulação dos Impactos das Mudanças Climáticas Globais sobre os Setores da Agropecuária, Floresta e Energia*” – SIMCAFE – Meta Física 7 – financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP (convênio 01.09.0324.00), liderado pelo Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A.V.; SOUSA, V.A.; SHIMIZU, J. Espécies de pinus mais plantadas no Brasil. In: \_\_\_\_\_. **Sistema de produção do Pinus**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. Disponível em: <<https://www.spo.cnpia.embrapa.br>>. Acesso em: 8 dez. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012**: ano base 2011. Brasília, DF, 2012. 136 p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2013.
- BAKER, J.B.; LANGDON, O.G. *Pinus taeda* L. In: BURNS, R.M.; HONKALA, B.H. (Coord.). **Silvics of North America**. Washington, DC: Unites States Department of Agriculture, Forest Service, 1990. v. 1, p. 497-512. (USDA. For. Serv. Agric. Handbook, 654).
- FERREIRA, F.A.; MENDES, J.E.P.; MAIA, J.L. Mortalidade de estacas enraizadas de *Pinus* spp. causada por *Rhizoctonia solani*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 201, mar./abr. 2005.
- HIGA, R.C.V. **Dinâmica de carbono de *Pinus taeda* L. voltadas a exigências climáticas e práticas silviculturais**. [Gainesville]: University of Florida, [2006]. 62 p. (Relatório final pós-doutorado). (Não publicado).
- HIGA, R.C.V. et al. **Zoneamento climático: *Pinus taeda* no Sul do Brasil**. 2008. CD-Rom. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnpia.embrapa.br/handle/doc/315638>>. Acesso em: 8 dez. 2016.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Summary for policymakers. In: FIELD, C.B. et al. (Ed.). **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**: a special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. p. 1-19.
- RICCE, W.S. et al. Estudo das temperaturas mínimas e máximas no estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 8., 2008, Alto Caparaó. **Anais...** Natal: SBCG, 2008. p. 200-210.
- RICHARDSON, D.M.; RUNDEL, P.W. Ecology and biogeography of Pinus: an introduction. In: RICHARDSON, D.M. (Ed.). **Ecology and biogeography of Pinus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p. 3-46.
- UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Survey National Mapping Division**: Global 30 arc second elevation data. 1999. Disponível em: <<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/gtopo30.html>>. Acesso em: 10 jul. 1999.
- VIRGENS FILHO, J.S. et al. PGECLIMA\_R: gerador estocástico para simulação de cenários climáticos brasileiros: I – Desenvolvimento do gerenciador do banco de dados climáticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Anais...** Guarapari: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2011. v. 1. p. 1-5.
- WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Ecologia, 2004. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 17 jul. 2008.

WREGE, M.S. et al. Plantios com pinus no Paraná e cenários de mudanças climáticas.

WREGE, M.S. et al. **Atlas climático da região Sul do Brasil:** estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.

\_\_\_\_\_. et al. Pinus tropical com potencial para uso em plantios comerciais no Brasil. **Revista do Instituto Florestal**, v. 26, p. 137-145, 2014.