

POTENCIAL IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE A APTIDÃO CLIMÁTICA DO *Pinus elliottii* var. *elliottii* NO ESPÍRITO SANTO

Laís Thomazini Oliveira¹, José Eduardo Macedo Pezzopane¹, Roberto Avelino Cecílio¹

¹ UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES

Departamento de Engenharia Florestal

Av. Carlos Lindenberg, s/n - Cep: 29550-000 - Jerônimo Monteiro/ES

lais.thomazini@gmail.com

jemp@cca.ufes.br

rcecilio@cca.ufes.br

Resumo - As mudanças climáticas globais esperadas para as próximas décadas exercerão forte impacto sobre a aptidão climática das culturas florestais. No presente trabalho foi feita uma previsão do comportamento da distribuição espacial de áreas com diferentes faixas de aptidão climáticas para o cultivo de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no estado do Espírito Santo, face às mudanças climáticas esperadas para as décadas de 2020, 2050 e 2080. Para tanto, utilizaram-se dados meteorológicos de temperatura do ar e precipitação pluviométrica, compreendidos no período de 1977 a 2006 e previsões do comportamento futuro dos mesmos elementos, para o cálculo do balanço hídrico climatológico conforme método proposto por Thornthwaite & Mather (1955), adotando uma capacidade de armazenamento de 300 mm. Os resultados mostram a redução drástica das áreas aptas ao longo do tempo, comprometendo a viabilidade do cultivo dessa espécie no Espírito Santo, principalmente nas décadas de 2050 e 2080.

Palavras-chave: aquecimento global, zoneamento, aptidão climática, mudanças climáticas

Área do Conhecimento: Agrometeorologia

Introdução

Com o aquecimento global, em um futuro próximo, espera-se um cenário de clima com eventos cada vez mais extremos como secas, inundações e ondas de calor mais frequentes (SALATI et al., 2009). A elevação da temperatura do ar aumenta sua capacidade em reter vapor d'água e, conseqüentemente, há maior demanda evapotranspirativa. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas. Segundo Thomas et al. (2004), com a elevação das temperaturas, 18 espécies estarão ameaçadas de extinção até o ano de 2050, considerando o cenário mais otimista.

Segundo Pereira et al. (2002), dentre as atividades econômicas, a agricultura e a silvicultura são as que apresentam maior dependência das condições ambientais, especialmente as climáticas. Assim, estima-se que qualquer mudança no clima possa afetar o zoneamento agroclimático, a produtividade das culturas e as técnicas de manejo, alterando o atual cenário da agricultura brasileira, em cada região, com sérias conseqüências econômicas, sociais e ambientais.

De acordo com o levantamento coordenado por Bull et al. (1998), os plantios industriais de *Pinus*

no mundo totalizam 18.319.000 ha, sendo que as maiores áreas cultivadas localizam-se na China, Brasil, Chile e Nova Zelândia.

As espécies do gênero *Pinus* vêm sendo plantadas em escala comercial no Brasil há mais de 30 anos, tornando-se economicamente viável devido a sua grande versatilidade em crescer e produzir madeira nos mais variados tipos de ambiente, bem como a multiplicidade de usos de sua madeira, possibilitando a geração desse recurso natural em todo o território nacional, em substituição às madeiras de espécies nativas (EMBRAPA, 2009).

O Espírito Santo, assim como o Brasil, possui considerável heterogeneidade climática, tipos de solo e topografia. Considerando-se os prognósticos de aumento das temperaturas globais, pode-se admitir que as regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas se tornarão desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (ASSAD et al., 2004).

No estado do Espírito Santo as espécies que mais se adaptaram às condições climáticas foram o *Pinus elliottii* var. *elliottii*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, porém muitas delas ainda não alcançam sua produtividade potencial em determinados locais,

devido à influência de fatores térmicos e hídricos que limitam o seu desenvolvimento.

O zoneamento agroclimático constitui uma importante ferramenta na organização de programas de trabalhos, planejamento da agricultura e utilização dos recursos naturais de forma racional, de modo que venha refletir na otimização dos investimentos, mas para isso sua atualização se faz necessária (CASTRO, 2008).

Comprovada a carência dessas informações, existe uma grande necessidade de realizar estudos mais detalhados a esse respeito, baseados nas condições dos locais de origem do gênero e dados de produtividades em sítios com plantios comerciais, justificando a realização de um zoneamento agroclimático para delimitar áreas com aptidão climática no Espírito Santo. Do exposto, verifica-se que a previsão do comportamento do zoneamento agrícola do Pinus face às mudanças climáticas globais também consiste instrumento de suma importância para a grossilvicultura nacional.

Metodologia

Localização da área de estudo

A área de estudo do presente trabalho contempla o estado do Espírito Santo, situado geograficamente entre os meridianos 39°38' e 41°50' de longitude oeste e entre os paralelos 17°52' e 21°19' de latitude sul, com área total de 46.184 km².

Dados meteorológicos utilizados no estudo

Os dados climáticos atuais foram obtidos por meio dos dados das estações pluviométricas, pela consulta ao INCAPER e ANA, localizadas na área em estudo e nas regiões circunvizinhas. As precipitações médias mensais foram obtidas com o uso de séries de dados de chuva com um mínimo de 30 anos de registros, do período de 1977-2006. Para as estações que não dispunham de dados de temperatura média mensal, estes valores foram estimados a partir de coordenadas geográficas e da altitude de cada estação, seguindo os modelos gerais apresentados nas equações 1 (CASTRO, 2008), 2 (SEDIYAMA & MELO JÚNIOR, 1998) e 3 (MEDEIROS et al., 2005), para o Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia, respectivamente.

$$T = \beta_0 + \beta_1 ALT + \beta_2 LAT \quad (1)$$

$$T = \beta_0 + \beta_1 LONG + \beta_2 LAT + \beta_3 ALT + \beta_4 ALT^2 + \beta_5 TX \quad (2)$$

$$T = \beta_0 + \beta_1 ALT + \beta_2 ALT^2 + \beta_3 LONG + \beta_4 LONG^2 + \beta_5 LAT + \beta_6 LAT^2 + \beta_7 ALT.LAT + \beta_8 ALT.LONG + \beta_9 LAT.LONG \quad (3)$$

em que:

T – Temperatura média anual em °C;

Bi – coeficientes de ajuste das equações de regressão;

LONG – longitude do local em graus decimais (valores positivos);

LAT – latitude do local em graus e décimos;

ALT – altitude do local em metros;

TX – variáveis binária, igual a 0 para latitude entre 16°S e 20°S e igual a 1 para latitude entre 20°S e 24°S.

Os dados futuros foram obtidos do IPCC (“Intergovernmental Panel on Climate Change”), disponível em seu sítio na Internet (<http://www.ipcc.ch>), com definição de área de estudo para o Brasil. Utilizaram-se dois cenários futuros de acordo com Marengo (2001), A2 e B2, projetados para as décadas de 2020 (entre 2010 e 2039), 2050 (entre 2040 e 2069) e 2080 (entre 2070 e 2099), onde A2 é o cenário que descreve um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante e, B2, é o cenário que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. O modelo de previsão do clima adotado foi o HadCM3, elaborado por “Hadley Centre for Climate Prediction and Research”.

As informações a respeito dos elementos climáticos de interesse no projeto, nas condições futuras, foram manipuladas por meio dos softwares IDRISI (da Universidade de Clark, EUA), SPRING (do Instituto nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Brasil) e ArcGis de modo a formar um banco de dados que contenha diversas imagens digitais especializadas, em formato matricial (raster), relativas a cada parâmetro climático.

Os dados atuais foram somados com as projeções futuras de mudanças dos elementos climáticos com posterior realização dos balanços hídricos climatológicos para os cenários futuros.

Balanço Hídrico Climatológico

Mediante os dados de temperatura média e precipitação pluviométrica para todas as localidades realizou-se os balanços hídricos climatológicos, que foram feitos pelo método preconizado por Thornthwaite & Mather (1955) para valores médios mensais de temperatura e precipitação, adotando-se 300 mm como capacidade máxima de retenção de água pelo solo.

Trata-se de um método empírico baseado apenas na temperatura média do ar e nas coordenadas geográficas do local. Escolheu-se este método pela disponibilidade dos dados climáticos e por ter sido desenvolvido para regiões de clima úmido, apresentando boas estimativas para as condições do estado (PEREIRA et al., 2002).

Zoneamento

Em ambiente de SIG, os dados numéricos foram transformados em pontos referenciados geograficamente na superfície, obtendo-se mapas interpolados a partir das informações originais.

Os parâmetros de deficiência hídrica e temperatura foram espacializados pelo método da krigagem, que de acordo com Castro (2008), é o método mais eficiente para a espacialização dos parâmetros climáticos, baseado no menor valor da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ).

Baseado nos mapas temáticos de temperatura média anual do ar e deficiência hídrica foi feita uma reclassificação de acordo com as exigências climáticas de cada espécie, e em seguida a sobreposição dessas informações, obtendo assim mapas temáticos de zoneamento agroclimático das espécies estudadas.

No que se refere aos índices térmicos e hídricos exigidos pelas espécies estudadas, esses foram classificados de acordo com as necessidades de cada uma, dividindo-se em duas classes de aptidão climática apta e inapta, como seguem:

- apta: condições térmicas e hídricas da área apresentam-se favoráveis para o bom desenvolvimento e produção da espécie em escala comercial.
- inapta: quando as características normais do clima não se apresentam adequadas à exploração econômica da espécie, devido a limitações severas dos fatores hídricos ou térmicos, ou ambos com marcante repercussão em sua produção, exigindo para que sejam corrigidas práticas agrícolas dispendiosas.

As faixas de aptidão térmica e hídrica de acordo com Carpanezzi et al. (1986), Golfari et al. (1978) e Castro (2008), estão ilustradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Faixa de aptidão térmica e hídrica para a espécie de *Pinus elliottii* var. *elliottii*

	Regiões	
	Apta	Inapta
Temperatura média anual (Ta)	$15 \leq Ta \leq 24 \text{ }^\circ\text{C}$	$15 > Ta > 24 \text{ }^\circ\text{C}$
Deficiência hídrica anual	$\leq 50 \text{ mm}$	$> 50 \text{ mm}$

De posse desses mapas já reclassificados para a espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii*, derivou-se, para cada elemento climático e para cada cenário futuro analisado, mapas contendo a distribuição

espacial das áreas onde todas as condições climáticas favoreçam o estabelecimento e desenvolvimento da espécie. Com as técnicas de geoprocessamento realizou-se a sobreposição e fusão destes mapas, para posterior identificação das áreas.

Resultados

A espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii* apresenta áreas com aptidão para implantação de povoamentos florestais de produção no estado do Espírito Santo, para o cenário atual, como demonstrado na Figura 1.



Figura 1- Zoneamento agroclimático para as espécies *Pinus elliottii* var. *elliottii* no cenário atual

Conforme a Figura 1, as áreas aptas estão concentradas em uma parte significativa do sul do estado, abrangendo municípios localizados em elevada altitude.

As Figuras 2 e 3 apresentam os mapas temáticos do zoneamento agroclimático para a implantação das espécies *Pinus elliottii* var. *elliottii*, em todo o estado do Espírito Santo, conforme as exigências climáticas da espécie, para as décadas de 2020 e 2050 com seus respectivos cenários, A2 e B2.

Cenário A2

Cenário B2



Figura 2 – Zoneamento agroclimático para a espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii*, na década de 2020, com seus respectivos cenários.

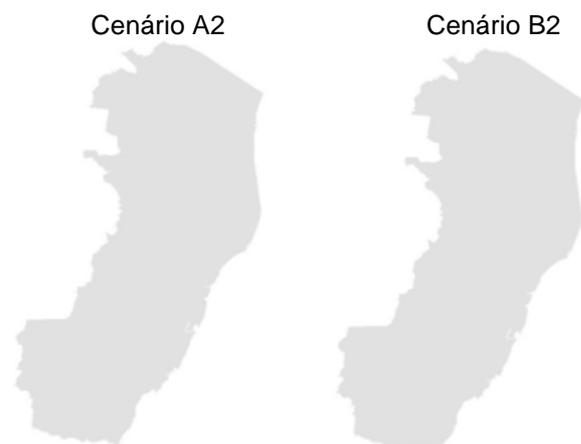


Figura 3 – Zoneamento agroclimático para a espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii*, na década de 2050, com seus respectivos cenários.

Pode-se observar na Figura 2, a significativa redução da área de aptidão dessa espécie, o longo do tempo, comprometendo o desenvolvimento e o estabelecimento dessa espécie no Estado. E na Figura 3, observa-se a drástica redução dessas áreas, como consequência, as áreas inaptas alcançaram 100% da área total, para os cenários A2 e B2.

Os mapas gerados para a década de 2080, em ambos cenários, são os mesmos da década de 2050, totalizando em 100% de áreas inaptas ao cultivo da espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii*.

A Tabela 2 apresenta as áreas (%) consideradas aptas para a implantação do *Pinus elliottii* var. *elliotti* no cenário atual e nas décadas de 2020, 2050 e 2080, com seus respectivos cenários, A2 e B2.

Tabela 2 – Áreas (%) de aptidão para a implantação de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no estado do Espírito Santo

Décadas	Áreas aptas (% do total)	Áreas inaptas (% do total)
Atual	14,96	85,04
2020 A2	4,73	95,27
2020 B2	2,01	97,99
2050 A2	0	100
2050 B2	0	100
2080 A2	0	100
2080 B2	0	100

O resultado da Tabela 2 apresenta a maior porcentagem das áreas aptas sobre as áreas inaptas. Além disso, mostra o impacto das mudanças climáticas para a espécie *Pinus elliottii*

var. *elliottii* e demonstra o aumento das áreas impróprias, que alcança o valor de 100%. Este fato compromete a produção dessa espécie no Estado, nas próximas décadas, no qual fatalmente influenciará nas questões sociais, econômicas e ambientais.

Discussão

Os mapas gerados com o uso de técnicas de interpolação e sistema de informações geográficas definem as áreas com potenciais econômicos para a introdução da espécie em uma determinada região geográfica, servindo como base para pequenos, médios e grandes produtores que queiram investir na cultura do *Pinus*, podendo aumentar assim a eficiência e os lucros dessa atividade.

O estado do Espírito Santo apresenta áreas com aptidão climática para a espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii*, no cenário atual e futuro próximo. No entanto, observa-se a baixa tolerância dessa espécie quanto às projeções de mudanças climáticas para as décadas futuras. Este fato, é devido às suas exigências climáticas, como temperatura mais amena e menor deficiência hídrica serem mais restritas, como consequência apresenta significativa redução da área de aptidão climática.

As áreas com aptidão para o plantio dessa espécie abrangem grande parte do Sul do estado, principalmente aquelas áreas mais elevadas onde a temperatura do ar é mais baixa e a deficiência hídrica pequena.

Nas áreas ao norte do estado e naquelas menos elevadas próximas do litoral é possível observar através do zoneamento agroclimatológico que a deficiência hídrica e a temperatura apresentam valores elevados, influenciando o desenvolvimento da cultura, sendo então consideradas inaptas para o plantio da espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii*.

O impacto da mudanças climáticas no cultivo da espécie em questão é relevante, pois este influenciará nas tomadas de decisões produtividade da cultura e as técnicas de manejo, alterando o atual cenário da agricultura brasileira, em cada região, com sérias consequências econômicas, sociais e ambientais.

A drástica redução das áreas aptas nas décadas de 2020 e 2050, para ambos cenários, demonstra a preocupação mundial com as futuras condições climáticas, colocando em risco a sobrevivência de inúmeras espécies florestais, bem como a economia que gira em torno dessas espécies.

Conclusão

O estado do Espírito Santo apresenta áreas com aptidão climática para a espécie de *Pinus elliottii* var. *elliottii* de acordo com as bases estabelecidas para este zoneamento, no cenário atual.

Pelo fato desta espécie, apresentar limitações climáticas bastante restritas e incompatíveis com a maioria dos índices climáticos do estado, as áreas consideradas impróprias para a sua implantação são superiores às áreas consideradas aptas.

O impacto das mudanças climáticas exerce forte influência sobre a aptidão climática desta espécie alterando sua produtividade e técnicas de manejo. As áreas inaptas para o cultivo dessa espécie aumentam significativamente, chegando a 100% na década de 2050, em ambos cenários.

Referências

- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; AVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, v.39, n.11, pp. 1057-1064, 2004.
- CARPANEZZI, A. A. et al. Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná. Brasília: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1986. 89 p.
- CASTRO, F.S. Zoneamento agroclimático para a cultura do Pinus no estado do Espírito Santo. Alegre, 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.
- EMBRAPA - Embrapa Florestas. Sistema de produção. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/apresentacao.htm>>. Acesso em 25 nov. 2009.
- GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil; (2ª aproximação). Belo Horizonte, Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF, Série Técnica, 11).
- MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *R. Bras. Meteorol.*, v. 16, n. 1, p. 1-18, 2001.
- MEDEIROS, S.S.; CECÍLIO, R.A.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; SILVA JÚNIOR, J.L.C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, v.9, n.3, p.247-255, 2005.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- SALATI, E.; SANTOS, A.A.; NOBRE, C. As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros. Disponível em: <www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm> Acesso em: abr. 2009.
- SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR, J.C.F. Modelos para Estimativas das Temperaturas Normais Mensais Médias, Máximas, Mínimas e Anual no Estado de Minas Gerais. *R. Eng. Agricultura*, v.6, n.1, p.57 - 61, 1998.
- SIQUEIRA, O. J. F. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: Lima, M.A. de; Cabral, o. M. R.; Miguez, J.D.G. (Ed.). *Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2001. P. 33-63.
- THOMAS, C.D.; et al. Extinction risk from climate change. *Nature*, v.427, p.145-148, 2004.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.C. The water balance. *Centeron, Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology*. 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v.8, n.1).

XIV INIC

Encontro Latino Americano
de Iniciação Científica

X EPG

Encontro Latino Americano
de Pós Graduação

IV INIC Jr

Encontro Latino Americano
de Iniciação Científica Júnior