

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

JOSÉ EDUARDO ROSA SCARDUA

ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA À SERINGUEIRA PARA O
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, CONSIDERANDO ÁREAS DE
ESCAPE CONTRA O MAL-DAS-FOLHAS

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2011

JOSÉ EDUARDO ROSA SCARDUA

ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA À SERINGUEIRA PARA O
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, CONSIDERANDO ÁREAS DE
ESCAPE CONTRA O MAL-DAS-FOLHAS

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal
do Espírito Santo, como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2011

JOSÉ EDUARDO ROSA SCARDUA

ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA A SERINGUEIRA PARA O
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, CONSIDERANDO ÁREAS DE
ESCAPE CONTRA O MAL-DAS-FOLHAS

monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade
Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Florestal.

Aprovada em 21 de novembro de 2011.

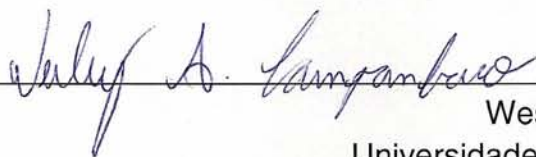
COMISSÃO EXAMINADORA



Fabricia Benda de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
Conselheiro



Wesley Augusto Campanharo
Universidade Federal do Espírito Santo

Aos meus avôs, pelo exemplo de vida.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional em minha caminhada acadêmica.

Aos meus irmãos, pela amizade.

À minha namorada, sem ela não teria chegado tão longe.

Aos meus amigos, que me ajudaram a crescer como pessoa.

AGRADECIMENTOS

A UFES, pela oportunidade de realizar tal trabalho.

A minha orientadora, Fabricia, pelos conselhos e direcionamento para que este trabalho pudesse ser concluído.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, pelos ensinamentos passados da melhor forma possível, para nos transformar em grandes pessoas e profissionais.

A minha mãe, Bernadete Santi Scardua, pelo amor e companheirismo durante esse tempo.

Ao meu pai, Carlos Eduardo Scardua, exemplo de integridade, inteligência e de grande caráter.

Aos meus irmãos Carla Rosa Scardua e Carlos Henrique Santi Scardua, que completam a família.

A minha namorada, Bruna Gasparini Machado pela força em todos os momentos, além de todo amor.

Aos meus amigos, companheiros de república e aqueles que já se mudaram, pelo apoio, confiança e os conhecimentos compartilhados durante esta minha caminhada.

A todos familiares que me propiciaram a base para minha sustentação.

A Deus, por sempre me mostrar o melhor caminho e tomar conta de mim.

RESUMO

O crescimento do cultivo da seringueira no Estado do Espírito Santo é incentivado por programas do Governo, pois se trata de uma espécie altamente rentável. Contudo, essa espécie pode ser atacada principalmente pelo mal-das-folhas. O objetivo deste trabalho foi delimitar áreas de escape para o cultivo de *Hevea brasiliensis*, no Estado do Espírito Santo contra o mal-das-folhas, utilizando análise multicritério com padronização *fuzzy*. Foi realizada a reclassificação dos fatores espacializados: temperatura do ar para seringueira e para o fungo, deficiência hídrica e precipitação, por meio da inferência *fuzzy*. Após, foi realizada a combinação dos fatores através de combinação linear ponderada. Observou-se que as regiões noroeste, sul e a região do Caparaó são áreas com menor adequabilidade para o cultivo da seringueira. Conclui-se que análise multicritério, associada à lógica *fuzzy*, mostra resultados mais próximos da realidade, devido à adequabilidade gradual das áreas ao empreendimento proposto

Palavras chave: Lógica *fuzzy*, SIG, Seringueira.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivo geral.....	2
1.2.1 Objetivos específicos	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Zoneamento climático	3
2.2 Análise Multicritério.....	3
2.3 Lógica <i>fuzzy</i>	4
2.4 Definição de pesos para os critérios.....	5
2.5 Combinação linear ponderada (WLC).....	6
2.6 Balanço Hídrico Climatológico	6
2.6.1 Relações Hídricas.....	6
2.6.2 Temperatura do ar	7
2.7 Seringueira.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Localização da área de estudo	8
3.2 Materiais utilizados	9
3.3 Metodologia	9
3.4 Definição dos fatores e das funções de pertinência <i>fuzzy</i>	10
3.5 Ponderação dos fatores.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	13
4.1 Reclassificação dos fatores climáticos.....	13
4.2 Ponderação dos fatores.....	19
4.2.1 Justificativas das ponderações dos fatores.....	19
4.3 Zoneamento climático	20
5. CONCLUSÕES	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixa de aptidão climática da cultura e do fungo	10
Tabela 2. Pontos de controle das funções <i>fuzzy</i>	11
Tabela 3. Escala de Saaty para comparativo.....	12
Tabela 4. Matriz de comparação.....	12
Tabela 5. Pesos calculados a partir da matriz de comparação par-a-par proposta por Saaty.....	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Funções de pertinência <i>fuzzy</i> Sigmoidal crescente (1 A), Sigmoidal decrescente (1 B), Sigmoidal simétrica (1 C) e Linear decrescente (1 D).....	5
Figura 2. Localização do Estado do Espírito Santo.....	9
Figura 3. Função sigmoidal simétrica utilizada para o fator temperatura do ar para a seringueira.....	173
Figura 4. Função sigmoidal simétrica utilizada para o fator temperatura do ar para a seringueira.....	184
Figura 5. Função sigmoidal monotônica decrescente utilizada para o fator deficiência hídrica.....	164
Figura 6. Função sigmoidal monotônica crescente utilizada para o fator precipitação.....	135
Figura 7. Mapa base de temperatura (A) e reclassificação <i>fuzzy</i> de temperatura do ar de acordo com as exigências da seringueira (B) e do fungo (C).....	146
Figura 8. Mapa base de deficiência hídrica (A) e reclassificação <i>fuzzy</i> de deficiência hídrica de acordo com as exigências da seringueira (B).....	157
Figura 9. Mapa base de precipitação (A) e reclassificação <i>fuzzy</i> de precipitação de acordo com as exigências da seringueira (B).....	218
Figura 10. Zoneamento climático da seringueira.....	21

LISTA DE QUADROS

Quadro1. Funções <i>fuzzy</i> utilizadas	11
--	----

1 INTRODUÇÃO

O Gênero *Hevea*, da família *Euphorbiaceae*, possui a *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.D.R. de Juss.), como espécie mais importante (GONÇALVES et al., 2002). Esta é uma planta de ciclo perene, de origem tropical, cultivada e utilizada de modo extrativo, com a finalidade de produção de borracha natural (CAMPELO JUNIOR, 2000).

A ocorrência da *Hevea brasiliensis* (seringueira) se estende desde as latitudes de 3° N e 15° S até as latitudes 24° N até 25° S, caracterizando uma alta capacidade de adaptação a diversas condições climáticas (SEAG, 2011).

O Brasil possui quatro principais estados produtores São Paulo (55%), Mato Grosso (25%), Bahia (11,55%) e Espírito Santo (1,8%), este com cerca de 2.100 toneladas (IAC, 2011).

De acordo com Macedo et al. (2002) as perspectivas do mercado de borracha no Brasil são as melhores possíveis, contudo em zonas tropicais-equatoriais, há incidência da praga conhecida como mal-das-folhas, causada pelo fungo *Microcyclus ulei* (P. Henn) v. Arx., considerada a principal doença da seringueira, responsável por fracassos em empreendimentos heveícolas em algumas regiões do país. Sua infestação causa morte dos ramos, chegando às plantas, ou facilitam a incidência de outras doenças. Sendo um sério obstáculo para implantação de culturas comerciais (MARQUES et al., 2007).

Os plantios em áreas de escape visam minimizar a ocorrência das doenças, sendo essas áreas identificadas com certos conhecimentos sobre as condições edafoclimáticas do local. Assim a importância do zoneamento agroclimático de culturas, consiste em uma importante ferramenta, pois serve de base para proposta de práticas de manejo agrossilvicultural, para prevenção de pragas, além de servir como base para elaboração de políticas públicas (CAMPANHARO, SPERANDIO e CECÍLIO, 2008).

Devido à grande importância do cultivo da seringueira na economia do Estado, o presente trabalho tem como objetivo identificar as áreas aptas para o plantio da seringueira, visando o escape contra o mal-das-folhas, aplicando a análise multicritério, com padronização *fuzzy* e utilizando critérios climáticos.

1.1 O problema e sua importância

Com o desenvolvimento do setor industrial brasileiro nos ramos: papel e celulose, borracha, serraria e painéis de madeira, ocorreu à necessidade de maior produção de matéria-prima (CASTRO, 2008), assim cresceu a necessidade de estudos mais detalhados a fim de aumentar as informações econômicas, ecológicas e silviculturais por espécies florestais de alto valor de mercado (NAPPO, NAPPO e PAIVA, 2005).

A demanda mundial de látex é alta e crescente, tornando a demanda superior a oferta, tendo seu ano crítico em 2020, retratando a importância econômica da cultura. Como consequência o mercado de borracha no Brasil é o melhor possível (MACEDO et al.,2002).

O governo do Estado possui um programa de expansão da heveicultura capixaba (PROBORES), visando aumentar a áreas plantadas para 75 mil ha até o ano de 2020.

Portanto a identificação de áreas aptas para plantio de culturas florestais para o Estado do Espírito Santo fornece importante ferramenta para tomada de decisão, auxiliando os órgãos governamentais e às instituições de pesquisa, produtores rurais e empresas florestais (CAMPANHARO, SPERANDIO e CECÍLIO, 2008).

1.2 Objetivo geral

Identificação de áreas de maior aptidão para a cultura *Hevea brasiliensis*, no Estado do Espírito Santo considerando áreas de escape contra o mal-das-folhas e utilizando análise multicritério com padronização *fuzzy*.

1.2.1 Objetivos específicos

- Reclassificar os fatores climatológicos, por meio de inferência *fuzzy*;
- Determinar as funções de pertinência *fuzzy* que melhor se ajustam para os diferentes fatores climáticos;
- Combinação dos critérios para escolha de áreas de escape do fungo *Microcyclus ulei*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Zoneamento climático

O zoneamento climático é uma técnica desenvolvida para delimitar regiões climaticamente homogêneas, que sejam propícias ao desenvolvimento das variáveis em estudo (FERREIRA, 1997), além de identificar áreas de condições homogêneas de atividades e dos recursos naturais nela existente que sejam propícias ao cultivo de determinada cultura (CECÍLIO et al., 2003).

Existem importantes etapas na confecção do zoneamento, entre elas a caracterização das exigências climáticas, levantamento climático da região estudada e preparo dos mapas finais de zoneamento (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2002).

O zoneamento agroclimático deve ser atualizado constantemente, sendo possível a utilização de novas tecnologias de estudo, visando maiores e melhores informações sobre as condições climáticas das culturas, conseqüentemente proporcionando um maior retorno de investimentos (SEDIYAMA et al., 2001), devido seu uso no planejamento da agricultura (CASTRO, 2008).

2.2 Análise Multicritério

A análise multicritério é definida como algo representado por critérios, sendo mensurados e avaliados. Estes critérios podem ser: fatores e restrições. A restrição é um critério limitador em consideração das alternativas em estudo e utiliza-se a lógica booleana para sua criação. Os fatores são algo que realça ou diminui a adequabilidade de uma alternativa em estudo, sendo aplicadas funções de pertinência *fuzzy* (BENDA, 2008).

As restrições possuem resultados binários 0 ou 1, ou seja, inapto ou apto. Porém é uma prática menos eficaz, não tendo uma classe gradual de adequabilidade (RIBEIRO et al, 2011).

Funções de pertinência *fuzzy* possuem uma escala gradual variando de 0 a 255, ocorrendo um aumento contínuo de adequabilidade. Segundo Zadeh (1965)

essa modelagem é ampla consistindo em uma codificação de conhecimentos inexatos.

Os graus de adequabilidade dos diferentes critérios para determinado objetivo são obtidos a partir de regras de decisão, que são procedimentos e formas para a escolha dos critérios e de como estes serão combinados (EASTMAN, 1997).

2.3 Lógica *fuzzy*

Zadeh (1965) propôs a modelagem *fuzzy*, que consiste em conhecimentos inexatos, de maneira que um número passa a ser representado por um conjunto de números, sendo largamente usada por basear-se na caracterização de classes que não possuem distinção (BURROUGH e MCDONELL,1998), indicada para lidar com ambigüidades.

Observa-se que esta modelagem gera resultados mais próximos da realidade, caracterizando resultados mais confiáveis e menos sujeito a erros (RIBEIRO, 2011).

O processo de padronização e análise dos critérios é semelhante ao processo de fuzzificação, sendo um conjunto de valores expressos em uma escala normalizada (0 – 255), podendo ser: Sigmoidal, J-Shaped, Linear e Complexa conforme a figura 1 (RAMOS e MENDES, 2001).

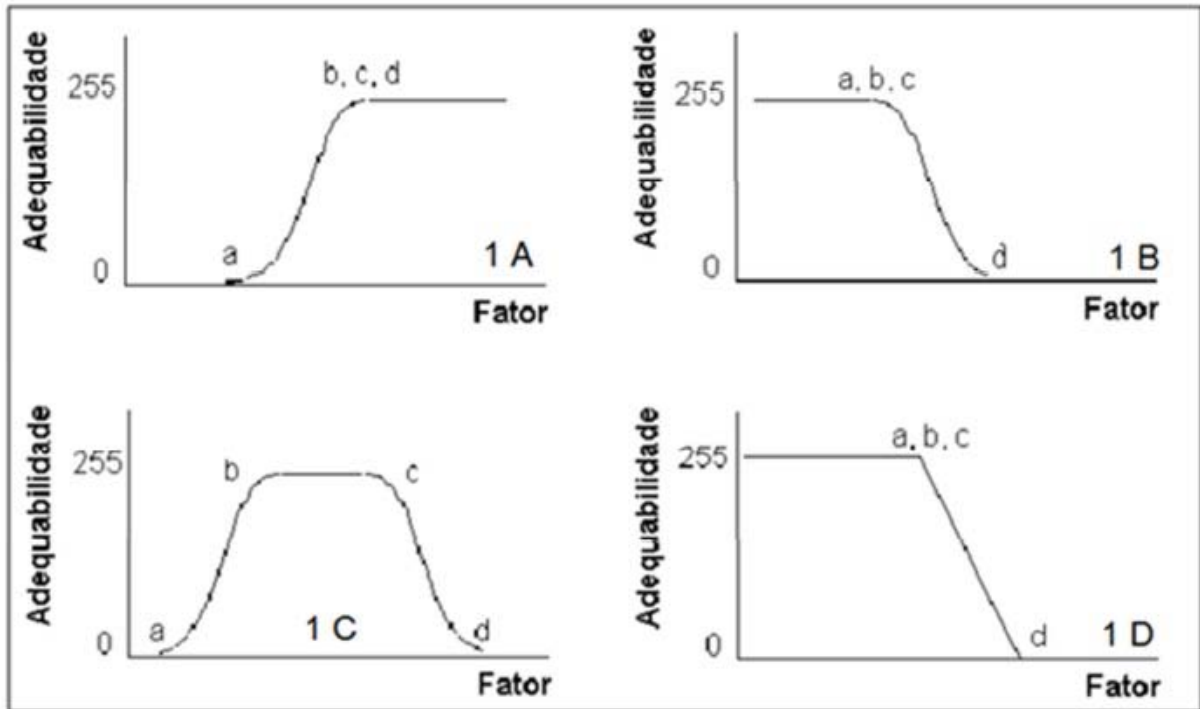


Figura 1. Funções de pertinência *fuzzy*: Sigmoidal crescente (1 A), Sigmoidal decrescente (1 B), Sigmoidal simétrica (1 C) e Linear decrescente (1 D).

Fonte: BENDA (2008).

2.4 Definição de pesos para os critérios

De acordo com Ramos (2000) pesos para critérios não ocorre de maneira consensual, podendo ser agrupados em escala de pontos, ordenação de critérios, em distribuição de pontos e comparação de critérios pareados.

O método utilizado no presente trabalho foi o de comparação par a par proposto por Saaty (1977), e baseia-se em uma matriz quadrada $n \times n$, onde n critérios são comparados de acordo com uma escala, normalizando as comparações (RAMOS, 2000), dentro de um contexto na decisão denominada AHP (Analytic Hierarchy Process).

2.5 Combinação linear ponderada (WLC)

O método da combinação linear ponderada (WLC) consiste em se multiplicar os mapas de cada fator por um determinado peso que é calculado à partir da comparação par-a-par e, posteriormente fazer o somatório de todos os mapas, obtendo-se o zoneamento (BENDA, 2008).

Consiste em uma técnica amplamente flexível permitindo resultados que vão ajudar na tomada de decisão, devido à utilização do WLC e os seus devidos pesos calculados pelo método AHP, juntamente com a integração do SIG (TAGLANI, 2003).

Os fatores são padronizados para uma escala numérica comum, recebendo pesos. Estes são combinados por meio de uma média ponderada (VOOGD, 1983), resultando em um mapa de prioridades.

2.6 Balanço Hídrico Climatológico

O balanço hídrico climatológico consiste na quantidade de água que entra e a quantidade de água que sai do solo. Através desse conceito, são realizados estudos dos recursos hídricos e das florestas (HEWLETT, 1982), estimando evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, deficiência hídrica e exedente hídrico, além das fases de retirada e reposição de água do solo (ALFONSI et al., 1995), permitindo uma avaliação de sua disponibilidade hídrica.

2.6.1 Relações Hídricas

O conhecimento da distribuição das chuvas é uma característica de grande importância devido à orientação nas decisões e na estimativa da produção agrícola, por exemplo, planejamento do uso do solo, adaptação de culturas, monitoramento e previsão de safras, controle de pragas, o que visa diminuir os danos das irregularidades das chuvas (PICCININI, 1993 e CAMARGO et al., 1999).

Na agricultura o conhecimento do início dos períodos chuvosos é muito importante devido ao crescimento das plantas que são altamente dependentes da chuva (MACHADO et al., 1996).

Dessa forma, a produtividade agrícola e florestal é influenciada pela disponibilidade de água no solo. Levit (1980) salienta a importância de analisar as respostas das plantas e seus mecanismos de defesa ao déficit hídrico no solo. Entretanto, as quantificações do impacto da disponibilidade de água no solo sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal são poucos estudados.

2.6.2 Temperatura do ar

A adaptação de determinadas culturas em certas regiões esta diretamente ligada a temperatura do ar, que afeta os processos fisiológicos das plantas, tornando-se de fundamental importância para o planejamento agrícola, porém esta variável é obtida através de equações de regressão, devido à má distribuição e o pequeno número de estações meteorológicas existentes (MEDEIROS et al., 2005).

Em zoneamentos climáticos, a variável temperatura é um fator imprescindível tornando o estudo realizado mais detalhado (SEDIYAMA e MELO JÚNIOR, 1998).

2.7 Seringueira

A seringueira é uma planta de origem amazônica, pertencente ao gênero *Hevea*, de ciclo perene, semidecídua, heliófila ou esciófito. Ocorre preferencialmente em solos argilosos e férteis de beira de rio e várzeas (LORENZI, 2000), sendo cultivada e utilizada de modo extrativista, com finalidade principalmente de produção de borracha natural (CAMPELO JUNIOR, 2000).

É uma espécie de grande importância comercial, sendo seus subprodutos utilizados em diversos setores como: transporte, indústria e material bélico. A borracha natural é obtida através do látex, que é um fluido citoplasmático, extraído continuamente dos vasos laticíferos, situados na casca das árvores. Possui como características principais: resiliência, elasticidade, plasticidade, resistência ao desgaste e ao impacto, propriedades isolantes de eletricidade, e impermeabilidade para líquidos e gases (IAC, 2011).

O insucesso da heveicultura em zonas tropicais-equatoriais, pode ser consequência da incidência do fungo *Microcyclus ulei* (P. Henn) v. Arx, originado da Amazônia, que hoje é o principal obstáculo para implantação da heveicultura no Brasil. Devido a sua ocorrência, houve um aumento de pesquisas e trabalhos sobre

M. ulei no Brasil, após a destruição de grande parte das plantações pertencentes ao grupo FORD, em Manaus, na década de 50 (GONÇALVES, 1986).

Atualmente a produção brasileira de látex é de 100 mil toneladas anuais, o que corresponde a 1,3% da produção mundial de 5,7 milhões de toneladas por ano (EBC, 2004). E por este motivo, necessita-se de aumento no número de novos seringais plantados no Brasil, pois a dependência de importação pode ser tornar mais crítica e maior no futuro.

Apesar do ataque dos fungos, o governo do Estado possui um programa de expansão da heveicultura capixaba (PROBORES), visando aumentar o número de 10 mil hectares plantados para 75 mil hectares até o ano de 2020, além da geração de 20 mil empregos (SEAG, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

A área contemplada no presente estudo é o Estado do Espírito Santo com área total de 46.184,1 km². Situa-se geograficamente entre os meridianos 39° 38' e 41° 50' de longitude oeste e entre os paralelos 17° 52' e 21°19' de latitude sul (Figura 2).

A classificação climatológica, segundo Köppen, é do tipo A e C, que identificam clima úmido. Com subtipos Aw (clima tropical com estação seca de inverno), Am (clima de monção), Cf (clima oceânico) e Cw (clima temperado úmido com inverno seco) (SIQUEIRA et al., 2004).



Figura 2. Localização do Estado do Espírito Santo.

Fonte: Ribeiro (2011).

3.2 Materiais utilizados

O software utilizado neste trabalho foi o ArcGIS 10.0, ©Environmental Systems Research Institute, Inc.

Utilizou-se o banco de dados de balanço hídrico climatológico proposto por Castro (2008), com série histórica de 30 anos (1977-2006), onde foram utilizados 110 pontos de medição de precipitação e de temperatura de vários órgãos, como Instituto Capixaba de Pesquisas e Extensão Rural (INCAPER), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Nacional das Águas (ANA), localizados dentro e fora do Estado do Espírito Santo.

3.3 Metodologia

O software ArcGIS 10.0 foi utilizado para espacializar os fatores temperatura média anual, precipitação anual e deficiência hídrica, dando origem aos mapas temáticos de cada fator.

Foram identificadas as funções de pertinência *fuzzy* que melhor se adequavam para cada fator, normalizando as faixas de aptidão em uma escala variando de 0 – 255.

Utilizou-se a escala de Saaty para fazer a comparação par-a-par, onde foram calculados os pesos de cada fator, de acordo com a ordem de importância pré-determinada. Agrupo-se os fatores fuzzyficados através da combinação linear ponderada, multiplicando-se cada fator por seu respectivo peso e obtendo-se o mapa de zoneamento para a seringueira, considerando áreas de escape ao mal-das-folhas para o Estado do Espírito Santo.

3.4 Definição dos fatores e das funções de pertinência *fuzzy*

Os fatores estão relacionados ao grau de aptidão de determinada área ao cultivo da seringueira, levando em consideração sua importância e adequabilidade.

Utilizou-se como fatores a temperatura adequada ao crescimento da cultura, a temperatura propícia ao desenvolvimento do fungo, a deficiência hídrica máxima suportada pela cultura e a faixa de precipitação considerada ótima ao crescimento da seringueira.

A aptidão exigida pela espécie para o seu melhor desenvolvimento em relação aos fatores utilizados na análise é apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Faixa de aptidão climática da cultura e do fungo.

Espécie	Aspectos climáticos		
	Ta (°C)	DEF (mm)	P (mm)
<i>Hevea brasiliensis</i>	$18^{(d)} \geq Ta \leq 25^{(d)}$	$\leq 150^{(b)}$	1300 a 3000 ^(a)
<i>Microcyclus ulei</i>	$20 \geq Ta \leq 28^{(c)}$	-	-

Fonte: Adaptado pelo autor de ^(a) HEVEABRASIL (2007); ^(b) CIIAGRO (2009); ^(c) (LANGFORD et al, 1945); ^(d) (PILAU et al., 2007).

Estes fatores foram reclassificados a partir de funções *fuzzy* de acordo com o quadro 1.

Quadro1. Funções *fuzzy* utilizadas.

ID	Fator	Função <i>fuzzy</i>
F1	Temperatura do ar para a seringueira	Sigmoidal simétrica
F2	Temperatura do ar para o fungo	Sigmoidal monotônica decrescente
F3	Deficiência hídrica	Sigmoidal monotônica decrescente
F4	Precipitação	Sigmoidal monotônica crescente

Fonte: Autor (2011).

Os pontos de controle das funções de pertinência *fuzzy* são descritos na tabela 2.

Tabela 2. Pontos de controle das funções *fuzzy*.

Fatores	Pontos de controle			
	A	B	C	D
Temperatura do ar para a seringueira	0	18	25	26
Temperatura do ar para o fungo	20	20	20	28
Deficiência hídrica	150	150	150	360
Precipitação	0	1300	3000	3000

Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2011).

3.5 Ponderação dos fatores

Foram estimados pesos para cada fator, através da comparação pareada, que se baseia na elaboração de uma matriz de comparação entre os fatores de acordo com sua importância (ESTMAN, 2001), utilizando a escala de SAATY (1977), conforme mostrado na tabela 3.

Tabela 3. Escala de Saaty para comparativo.

Valores	Importância mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: SANTOS (2007)

A matriz de comparação utilizada é mostrada na tabela 4 abaixo.

Tabela 4. Matriz de comparação.

	Temp. do ar para Seringueira	Temp. do ar para o Fungo	Deficiência hídrica	Precipitação
Temp. do ar para Seringueira	1	-	-	-
Temp. do ar para o Fungo	1	1	-	-
Deficiência hídrica	3	3	1	-
Precipitação	5	5	3	1

Fonte: Autor, 2011.

Após realizada a comparação par-a-par, a razão de consistência deverá ser menor que 0,1 para ser aceitável.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Reclassificação dos fatores climáticos

O processo de fuzzificação foi realizado por meio das exigências climáticas da seringueira e do fungo.

Para o fator temperatura do ar para seringueira, utilizou-se a função *fuzzy* sigmoidal simétrica, conforme pode-se observar na figura 3, tendo como pontos de controle os valores de 0, 18, 25 e 26, onde considera-se que a adequabilidade aumenta de 0° a 18°, se mantém máxima de 18° a 25° e decresce de 25° a 26°.

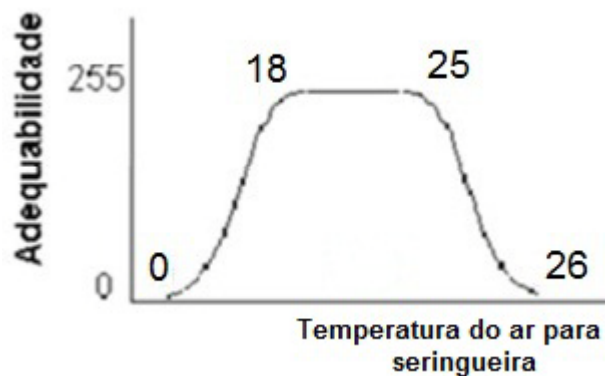


Figura 3. Função sigmoidal simétrica utilizada para o fator temperatura do ar para a seringueira.

Fonte: Eastman (1997).

Para o fator temperatura do ar para o fungo, utilizou-se a função *fuzzy* sigmoidal monotônica decrescente, conforme pode-se observar na figura 4, tendo como pontos de controles os valores de 20 e 28, onde considera-se que a adequabilidade é máxima abaixo de 20°C e decresce à partir deste, atingindo o valor mínimo em 28°C.

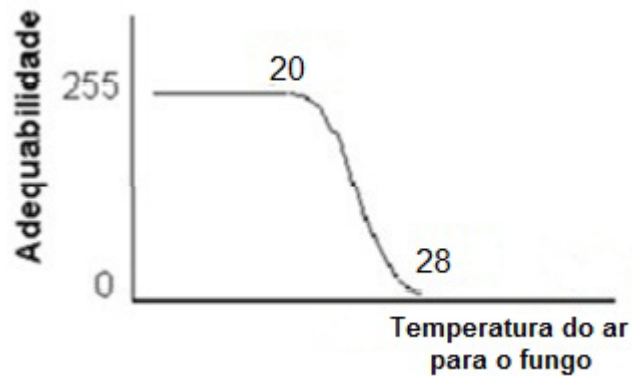


Figura 4. Função sigmoidal simétrica utilizada para o fator temperatura do ar para a seringueira.

Fonte: Eastman (1997).

Para o fator deficiência hídrica, utilizou-se a função *fuzzy* sigmoidal monotônica decrescente, conforme pode-se observar na figura 5, tendo como pontos de controles os valores de 150 e 360 mm, onde considera-se que a adequabilidade é máxima abaixo de 150 mm e decresce à partir deste, atingindo o valor mínimo em 360 mm.

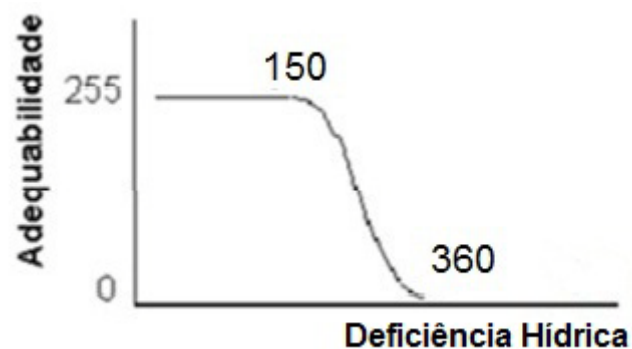


Figura 5. Função sigmoidal monotônica decrescente utilizada para o fator deficiência hídrica.

Fonte: Eastman (1997).

Para o fator precipitação, utilizou-se a função *fuzzy* sigmoidal monotônica crescente, conforme pode-se observar na figura 6, tendo como pontos de controle os valores de 0, 1300 e 3000 mm, onde considera-se que a adequabilidade é mínima de 0 a 1300 mm e cresce à partir deste, atingindo o valor máximo em 3000 mm.

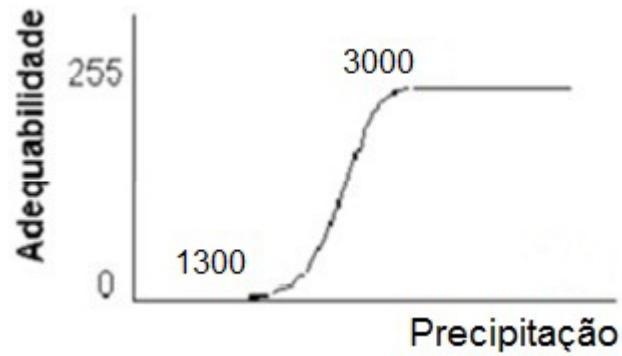


Figura 6. Função sigmoide monotônica crescente utilizada para o fator precipitação.
Fonte: Eastman (1997).

Os mapas que foram utilizados como base, bem como os mapas fuzzificados para cada fator, são mostrados nas figuras 7, 8 e 9. Observando-se estas figuras, temos que as regiões em azul são as áreas com menor adequabilidade ao plantio da seringueira, e as vermelhas as de maiores adequabilidades.

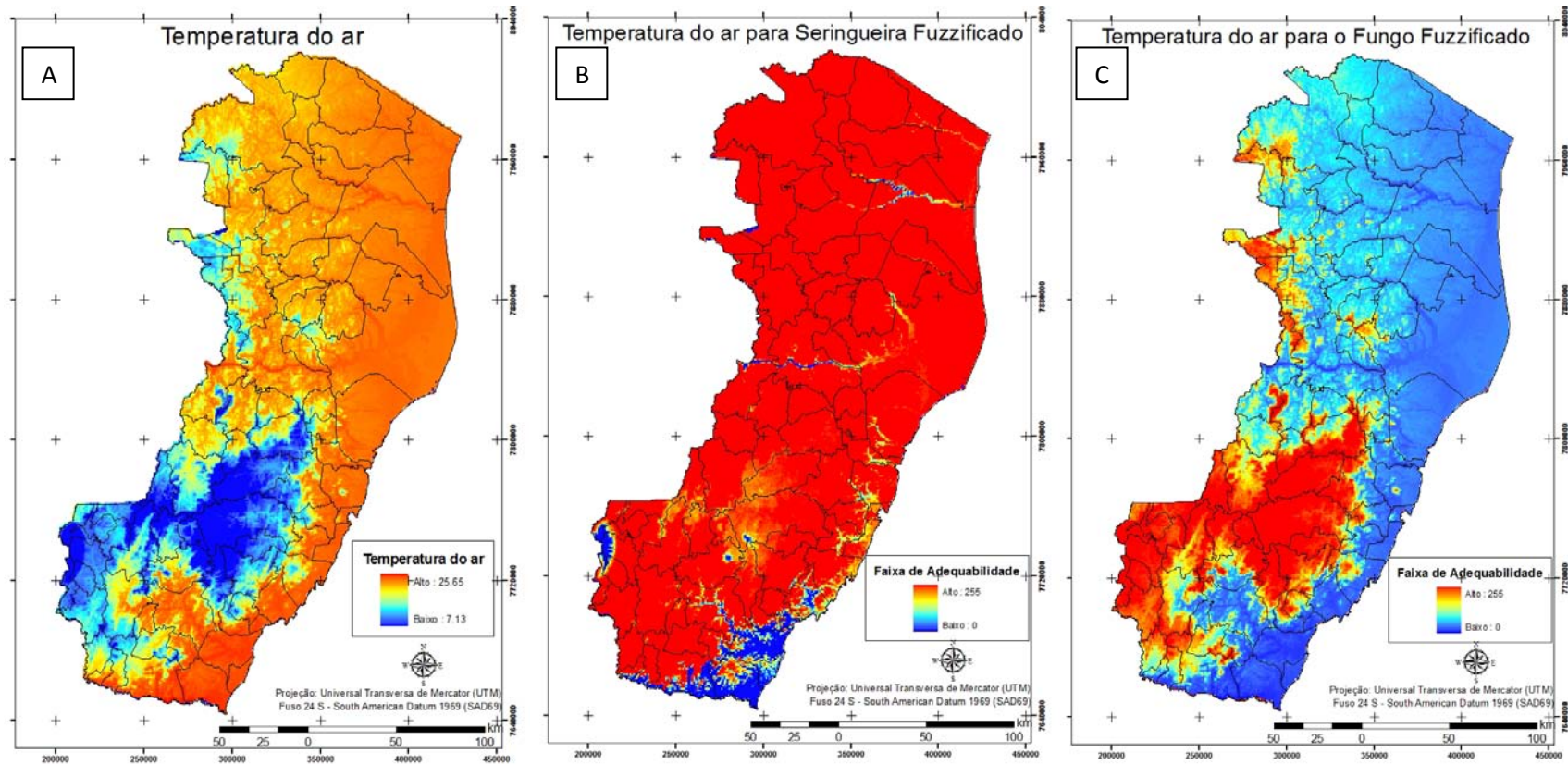


Figura 7. Mapa base de temperatura (A) e reclassificação *fuzzy* de temperatura do ar de acordo com as exigências da seringueira (B) e do fungo (C).

Fonte: Autor (2011)

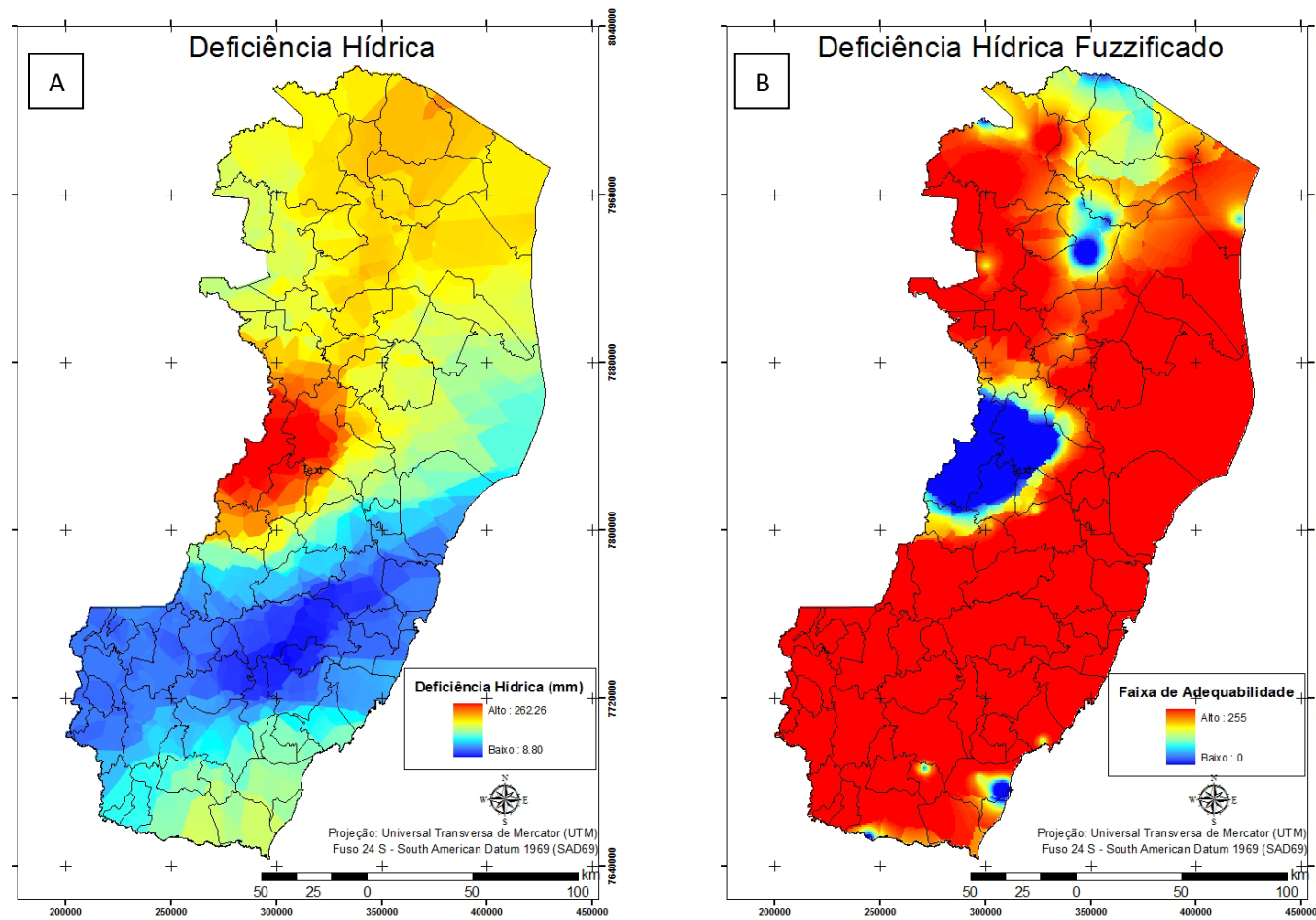


Figura 8. Mapa base de deficiência hídrica (A) e reclassificação *fuzzy* de deficiência hídrica de acordo com as exigências da seringueira (B).

Fonte: Autor (2011).

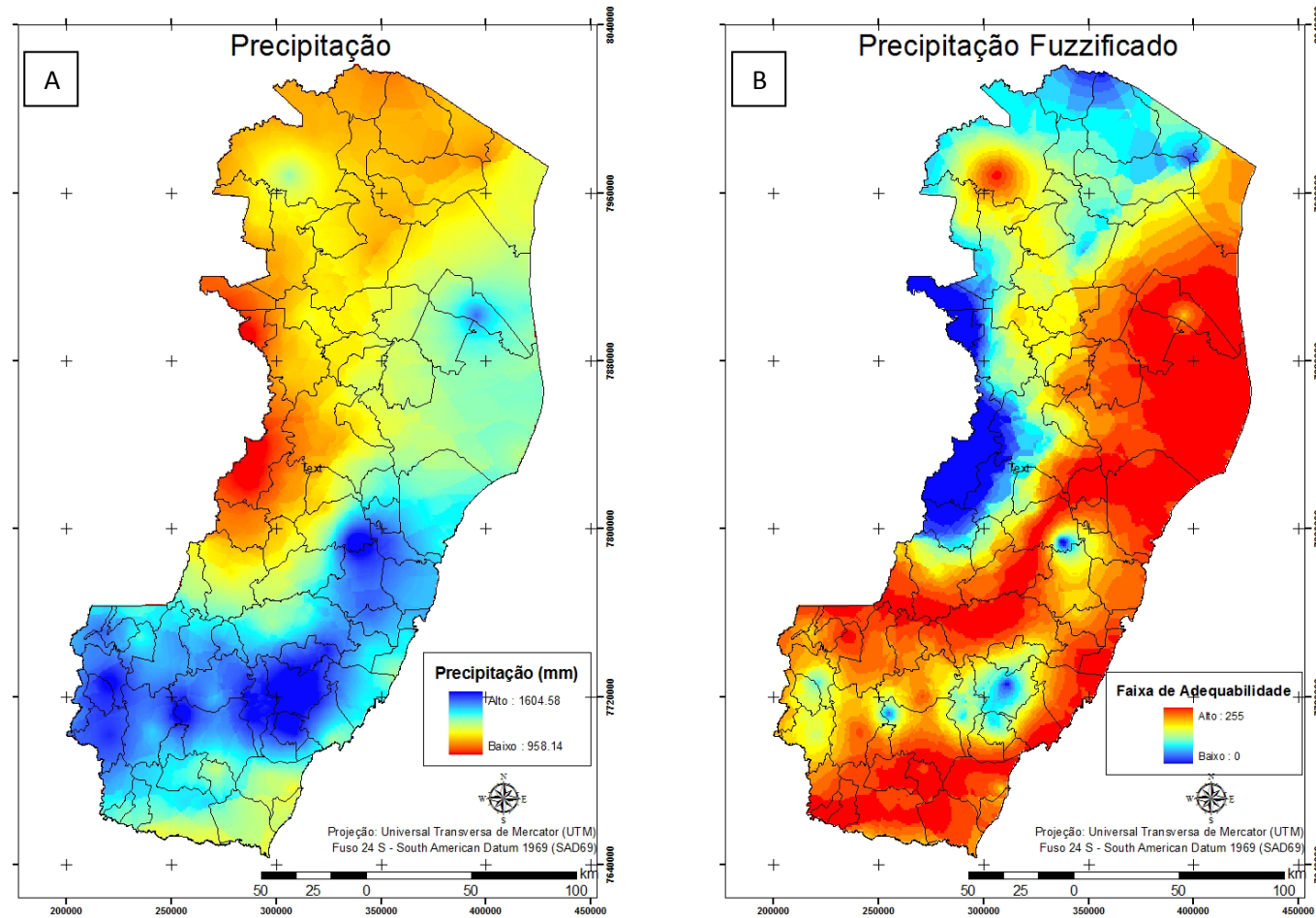


Figura 9. Mapa base de precipitação (A) e reclassificação *fuzzy* de precipitação de acordo com as exigências da seringueira (B).
Fonte: Autor (2011).

4.2 Ponderação dos fatores

Os pesos foram ponderados com base na escala proposta por Saaty (1977), tendo em vista o grau de importância de cada fator. Os pesos e a ordem de cada fator estão listados na tabela 5.

Tabela 5. Pesos calculados a partir da matriz de comparação par-a-par proposta por Saaty.

Fatores	Importância	Pesos
Temperatura da Seringueira	1	0,3899
Temperatura do fungo	1	0,3899
Deficiência Hídrica	3	0,1524
Precipitação	5	0.0679

* razão de consistência = 0,02.

Fonte: Autor (2011).

4.2.1 Justificativas das ponderações dos fatores

- **Fator temperatura do ar para seringueira e para o fungo: 1**

Esses fatores são de igual importância, pois foram considerados os principais fatores climáticos para o zoneamento em estudo.

- **Fator temperatura do ar para seringueira e deficiência hídrica: 3**

O fator temperatura do ar para a seringueira foi considerado moderadamente mais importante do que o fator deficiência hídrica, devido à deficiência ser influenciada mais pela precipitação. A planta sob condições de deficiência hídrica tem um menor crescimento quando comparada com uma planta em uma área de baixa precipitação.

- **Fator temperatura do ar para seringueira e precipitação: 5**

O fator temperatura do ar para a seringueira foi considerado fortemente mais importante que o fator precipitação, pois o efeito na ausência deste pode ser reduzido com a utilização da irrigação e, também, independe da precipitação para ser determinado.

- **Fator deficiência hídrica e precipitação: 3**

O fator deficiência hídrica foi considerado moderadamente mais importante que o fator precipitação, uma vez que exerce maior influência no desenvolvimento da planta.

4.3 Zoneamento climático

Observando a figura 10 e os fatores utilizados na análise (Figuras 7B e 7C, 8B e 9B), observa-se pequenas áreas com aptidão maior que 220 (áreas em amarelo e vermelho), isso se dá principalmente devido ao fator temperatura do fungo, que restringiu as áreas a temperaturas menores que 20°, além de ser um fator com peso elevado, assim as áreas com maior adequabilidade foram principalmente influenciadas pelo fator temperatura do fungo.

As áreas favoráveis a ocorrência do fungo *Microcyclus ulei*, considerando-se apenas a temperatura propícia a sua proliferação (Figura 7C), concentra-se nas regiões que possuem temperatura média anual entre 20° e 28° C, o que faz com que pequena parte do estado seja favorável ao cultivo da seringueira, assim as regiões montanhosas e a região do Caparaó possuem maior adequabilidade, por possuírem temperaturas menores que 20° C, o que corrobora com resultados mostrados por Camargo, Marin e Camargo (2003).

Para as áreas do sul com menor adequabilidade observou-se alguns municípios que fazem divisa com o Estado do Rio de Janeiro e a região litorânea, que sofreram, principalmente, influência da temperatura considerada para o fungo.

A região noroeste do estado, nos municípios de São Roque do Canaã, Colatina e Baixo Guandú, e uma parte de Nova Venécia possuem áreas inadequadas ao cultivo da seringueira, considerando os fatores utilizados, devido ao fato de serem regiões com pouca precipitação e alta deficiência hídrica, como já havia sido demonstrado por Pilau et al. (2007).

O pólo da heveicultura do Estado concentra-se em Guarapari, Serra, Sooretama e Linhares, situando-se em áreas de pequena adequabilidade à cultura da seringueira e grande adequabilidade à proliferação do fungo.

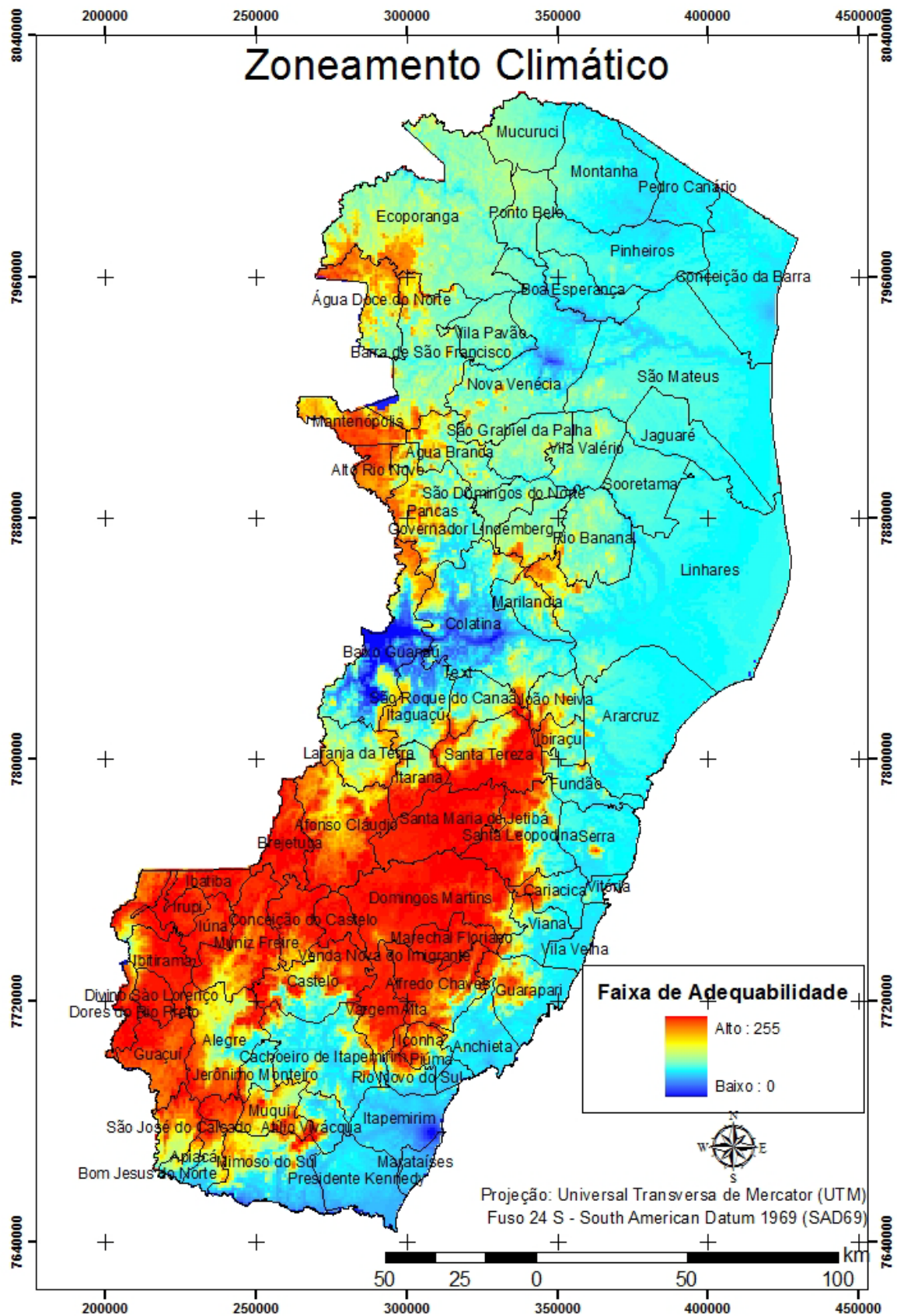


Figura 10. Zoneamento climático da seringueira.

Fonte: Autor (2011).

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que:

- A análise multicritério, associada à lógica *fuzzy*, mostra resultados próximos da realidade, devido à adequabilidade gradual assumida pelas funções de pertinência;

- A análise ficou muito restritiva devido ao fator temperatura do fungo;

- Considerando adequabilidades acima de 220, pequena parte do estado é considerada como apta à cultura da seringueira, para os fatores utilizados e os pesos calculados;

- Com relação ao fungo, considerou-se apenas o fator temperatura do fungo na análise. A análise poderia ser refinada com outros fatores referentes a este;

- A escolha dos fatores é de extrema importância, bem como a ordem de importância considerada e os pesos calculados, pois a mudança de qualquer um desses ocasiona mudança no resultado final;

- O zoneamento climático é uma análise prévia que auxilia na tomada de decisão, planejamento e manejo, porém se faz necessário que seja refinado;

- Menor favorabilidade não significa que a área é inapta, pois existem estudos de clones resistentes ao fungo, formas de diminuir a deficiência hídrica e a falta de precipitação, através da irrigação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R. et al. **Zoneamento agroclimático e probabilidade de atendimento hídrico para as culturas de soja, milho, arroz dessecado e feijão no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995.

BENDA, F. **Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando sistemas de informação geográfica**. 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2008.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographic information systems**. Oxford University Press. New York, 333 p. 1998.

CAMARGO, M. B. P. et al. Modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade para o cultivar de laranja Valência. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, 1999.

CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; CAMARGO, M. B. P. **Zoneamento climático da heveicultura no Brasil**. Campinas – SP, Embrapa Monitoramento por satélite. Documento 24, p. 19, 2003.

CAMPANHARO, W. A.; SPERANDIO, H.V.; CECILIO, R. A. **Zoneamento agroclimático da seringueira para o estado do Espírito Santo, com vistas à delimitação de áreas de escape contra o mal-das-folhas**. In: Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo/SP. XV CBMET, 2008.

CAMPELO JÚNIOR, J. R. Estimativa da transpiração em seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 35-42, 2000.

CASTRO, F. S. **Zoneamento agroclimáticos para a cultura do Pinus no estado do Espírito Santo**. Alegre, 2008. 101b f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

CECÍLIO, R. A. et al. **Zoneamento climático associado ao potencial de cultivo das culturas do café, cana-de-açúcar e amendoim nas sub-bacias do alto e médio São Francisco em Minas Gerais.** Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 39-45, 2003.

CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. **Zoneamento macro - Aptidão ecológica da cultura da seringueira. Governo do Estado de São Paulo.** 2009. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/znmt_macro_21.html>. Acesso em: 17 out. 2011.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Andes for Windows.** Version 15.0. Worcester-MA, Graduate School for Geography, Clark University, 1997. 192 p.

EASTMAN, J. R. **Decision support: decision strategy analysis.** Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v. 2, 22 p.

EBC - EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO. 2004. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2004-06-24/brasil-responde- apenas-por-13-a-producao-mundial-de-borracha>>. Acesso em: 01 nov. 2011.

FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais.** 158 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

GONÇALVES, P. S. **Melhoramento genético da seringueira (*Hevea spp*) Anais, Simpósio Sobre a Cultura da Seringueira no Estado de São Paulo.** Piracicaba, 1986. p. 95-123.

GONÇALVES, P. S. et al. Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 na região do planalto de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 132-138, fev. 2002.

HEVEABRASIL. **Hevea brasiliensis (Seringueira)**. 2007. Disponível em: <www.heveabrasil.com/noticias/hevea_brasiliensis_fotos.pdf>. Acesso em: 17 out. 2011.

HEWLETT, J. D. **Principles of Forest Hydrology**. Athens: The University of Georgia. Press, p. 183, 1982.

IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Programa Seringueira**. Disponível em: <<http://iac.impulsa.com.br/areasdepesquisa/seringueira/importancia.php>>. Acesso em: 12 set. 2011

LANGFORD, M. H. et al. **South American leaf blight of Hevea rubber trees**. Washington, D.C: USDA, 1945. 31 p. (USDA. Technical Bulletin, 882).

LEVIT, J. Responses of plants to environmental stresses. II. Water, radiation, salt and the other stress. New York, **Academic Press**, 1980. 606 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v.1, 3 ed. Nova Odessa. Editora Plantarum, 352 p., 2000.

MACEDO, R. L. G. et al. Introdução de clones de seringueira no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p.124-133, 2002.

MACHADO, M. A. de M. et al. Duração da estação chuvosa em função das datas de início do período chuvoso para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 2, p. 73-79, 1996.

MARQUES, J. R. et al. **O cultivo do cacaueteiro em sistemas agroflorestais com a seringueira**. In: Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueteiro. Gráfica e Editora Vital Ltda. Itabuna – Bahia, p. 272-290, 2007.

MEDEIROS, S. et al. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005.

NAPPO, M. E.; NAPPO, A. E.; PAIVA, H. N. Zoneamento Ecológico de Pequena Escala para Nove Espécies Arbóreas de Interesse Florestal no Estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. v.5. 14 p. 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PICCININI, M. R. D. **Distribuições de probabilidade de precipitação de intensidade máxima para Piracicaba, SP**. 1993. 81f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

PILAU, F.G. et al. Zoneamento Agroclimático da heveicultura para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 161-168, 2007.

RAMOS, R. A. R. **Localização Industrial: um modelo para o noroeste de Portugal**. Tese (doutorado) - Braga: Minho-Portugal, Universidade do Minho, In: RAMOS & RAMOS, 2000.

RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. **Revista Engenharia Civil**, Minho, Portugal, n. 10, Universidade do Minho, 2001. p. 7-29.

RIBEIRO, I. O. **Zoneamento edafoclimático de *Hevea brasiliensis*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Schizolobium amazonicum*, utilizando análise multicritério**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Alegre, 2011.

RIBEIRO, I. O. et al. **Zoneamento Agroclimático da Seringueira para o Estado do Espírito Santo aplicando a lógica fuzzy**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba-PR. *Anais...* INPE, 2011. p. 1851.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**. n. 15, p. 234-281, 1977.

SANTOS, A. R. **ArcGIS 9.1 total: aplicações para dados espaciais**. Ed 1, Vitória, ES: Fundagres, 2007.

SEAG/ES- Secretaria de Agricultura do Estado do Espírito Santo. **Silvicultura**. Disponível em: < <http://www.seag.es.gov.br/silvicultura.htm>>. Acesso em: 27 jul 2011.

SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 501-509, 2001.

SEDIYAMA, G. C.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, 6 (1): p. 57-61, 1998.

SIQUEIRA, J. D. P. et al. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do Estado do Espírito Santo. **Floresta**, Edição especial, nov. 2004, p. 3-67.

TAGLANI, C. R. A. **Técnicas para avaliação da vulnerabilidade de ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, MG. Anais em CD-ROM ... Belo Horizonte: INPE - SELPER, p. 1657-1664.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. 370 p.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets and systems. Systems theory.** New York, Brooklyn Institute, 1965. p. 29-39.