



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

KENNEDY RIBEIRO DA SILVA

**METODOLOGIA PARA ESPACIALIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO:
APLICAÇÃO NO ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO PARA A
SERINGUEIRA NO ESPÍRITO SANTO**

**JERÔNIMO MONTEIRO - ES
MARÇO – 2010**

KENNEDY RIBEIRO DA SILVA

**METODOLOGIA PARA ESPACIALIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO:
APLICAÇÃO NO ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO PARA A
SERINGUEIRA NO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Área de concentração Ciências Florestais e Linha de pesquisa Manejo de Bacias Hidrográficas e Sensoriamento Remoto.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
Co-orientadores: Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier
Prof. Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
MARÇO – 2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S586m Silva, Kennedy Ribeiro da, 1983-
Metodologia para a espacialização do balanço hídrico: aplicação no zoneamento edafoclimático para a seringueira no Espírito Santo / Kennedy Ribeiro da Silva. – 2010.
77 f. : il.

Orientador: Roberto Avelino Cecílio.

Co-orientador: Alexandre Cândido Xavier e José Ricardo Macedo Pezzopane.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Interpolação. 2. Zonas climáticas. 3. Hévea. 4. Seringueira – Fatores climáticos – Espírito Santo (Estado). 5. Solo rural – Uso – Espírito Santo (Estado). I. Cecílio, Roberto Avelino. II. Xavier, Alexandre Cândido. III. Pezzopane, José Ricardo Macedo. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. III. Título.


CDU: 63

**METODOLOGIA PARA ESPACIALIZAÇÃO DO BALANÇO
HÍDRICO: APLICAÇÃO NO ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO
PARA A SERINGUEIRA NO ESPÍRITO SANTO**


Kennedy Ribeiro da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na área de concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 26 Março de 2010.



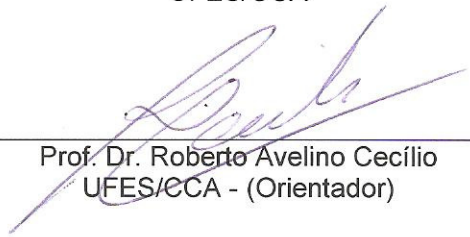
Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane
EMBRAPA Pecuária Sudeste - SP



Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier
UFES/CCA



Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia
UFES/CCA



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
UFES/CCA - (Orientador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao todo soberano Deus pelo dom da vida, bondade e fidelidade em todos os momentos.

Aos meus pais José Edson da Silva (in memorian) e Maria Antonia Ribeiro da Silva, não há gratidão pelo que fizeram por mim, essa vitória é nossa.

As minhas irmãs Juliana Ribeiro da Silva Lombard, Edna Ribeiro da Silva e Kesia Ribeiro de Oliveira, obrigado pelo apoio incondicional em todas as horas que precisei, pela confiança e convivência durante todos esses anos.

A minha esposa Andrea Kiil o meu muito obrigado pelas esperas e por compreender os momentos de ausência.

Obrigado ao Professor e também amigo Alexandre Cândido Xavier que sempre tem ajudado quando solicitado.

Aos amigos em Aracruz que sempre me deram uma força nos momentos de dificuldade Josiana Laportti, Oziel Fraga e Charlene Martins.

Agradeço ao professor Roberto Avelino pelos quatro anos de convivência, a confiança depositada e os ensinamentos que foram de suma importância para a conclusão desse trabalho, assim fica o meu muito obrigado.

Aos mais que amigos, Octávio Plaster (Pincel), Rafael Braz (Ipatinga) e Leonardo Pimentel (Gordim), obrigado pelos sete anos de convivência em harmonia e pelas ajudas.

Ao Centro de Ciências Agrárias e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, por todo aprendizado durante o mestrado.

A Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – FAPES pela concessão da bolsa que foi de grande ajuda para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

KENNEDY RIBEIRO DA SILVA, filho de José Edson da Silva e Maria Antônia Ribeiro da Silva, nasceu em Aracruz, Estado do Espírito Santo, no dia 18 de Março de 1983.

Em 2000, formou-se como técnico em Administração pela escola de 1º e 2º graus Monsenhor Guilherme Schimitz.

No ano de 2003, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Alegre, onde, durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica, graduando-se em fevereiro de 2008.

Em março de 2008, ingressou no programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais em nível de Mestrado no Centro de Ciências Agrárias da UFES, sendo bolsista da Fundação de Apoio a Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (FAPES), submetendo-se a defesa em março de 2010.

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	iv
BIOGRAFIA	v
LISTA DE EQUAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A CULTURA DA SERINGUEIRA	3
2.1.1. Exigências Climáticas para Desenvolvimento da Cultura da Seringueira	5
2.1.2. Condições Climáticas para Esporulação do Fungo <i>Microcyclus Ulei</i>	6
2.2. ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO	6
2.3. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO	8
2.4. INTERPOLADORES ESPACIAIS	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1. CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
3.2. BANCO DE DADOS	17
3.3. ESPACIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO CLIMA	19
3.3.1. Temperatura Média	19
3.3.2. Precipitação Mensal	24
3.4. ESPACIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO POR MEIO DE INTERPOLAÇÃO	26
3.5. METODOLOGIA DE ESPACIALIZAÇÃO PROPOSTA PARA ELABORAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO	30
3.6. AVALIAÇÃO DA ESPACIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO	32
3.7. ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO PARA A CULTURA DA SERINGUEIRA	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. UTILIZAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO DO PROJETO GTOPO30 PARA A ESPACIALIZAÇÃO DAS TEMPERATURAS MENSAIS E ANUAL	35
4.2. ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL	38
4.3.1. Evapotranspiração Potencial	47
4.3.2. Evapotranspiração Real	49
4.3.3. Deficiência Hídrica	50
4.3.4. Excedente Hídrico	52

4.3.5. Disponibilidade Hídrica.....	53
4.4. AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DA ESPACIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO	55
4.5. ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO	63
5. CONCLUSÃO	67
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTA DE EQUAÇÕES

	Página
Equação 1 - Definição CAD.....	9
Equação 2 - Definição CAD.....	9
Equação 3 - Evapotranspiração potencial	9
Equação 4 - Evapotranspiração potencial	9
Equação 5 - Índice que expressa o nível de calor disponível no local	9
Equação 6 - Índice térmico local.....	9
Equação 7 - Fotoperíodo	9
Equação 8 - Fator de correção da evapotranspiração	9
Equação 9 - Armazenamento.....	10
Equação 10 - Negativo acumulado.....	11
Equação 11 - Negativo acumulado.....	11
Equação 12 - Inverso da distância ponderada	13
Equação 13 - Definição semirariograma.....	14
Equação 14 - Modelo esférico $0 < h < a$	15
Equação 15 - Modelo esférico $h > a$	15
Equação 16 - Modelo exponencial	15
Equação 17 - Modelo gaussiano	16
Equação 18 - Modelo linear.....	16
Equação 19 - Modelo linear.....	16
Equação 20 - Estimadores temperatura do ar ES	19
Equação 21 - Estimadores temperatura do ar MG.....	20
Equação 22 - Estimadores temperatura do ar BA	20
Equação 23 - Estimadores temperatura do ar RJ.....	21
Equação 24 - Raiz do erro médio quadrático	24
Equação 25 - Índice de concordância	25

Equação 26 - Índice de eficiência	25
Equação 27 - Erro médio absoluto	26
Equação 28 - Erro médio percentual.....	26

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Coeficientes de regressão para estimativa das temperaturas mensais e anual para o estado do Espírito Santo.....	19
Tabela 2 Coeficientes de regressão para estimativa das temperaturas mensais e anual para o estado de Minas Gerais	20
Tabela 3- Coeficientes de regressão para estimativa das temperaturas mensais e anual para o estado da Bahia.....	21
Tabela 4 Coeficientes de regressão para estimativa das temperaturas mensais e anual para o estado do Rio de Janeiro.....	21
Tabela 5 - Análise de desempenho do modelo com base no índice de confiança Fonte: Camargo & Sentelhas (1997)	25
Tabela 6- Localização geográfica dos postos meteorológicos com diferentes CADs...27	
Tabela 7- Capacidade de água disponível para textura de solos	31
Tabela 8- Estações meteorológicas de temperatura e precipitação.....	32
Tabela 9 - Exigências climáticas para a cultura da seringueira	33
Tabela 10 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Janeiro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	39
Tabela 11 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Fevereiro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	39
Tabela 12 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Março para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	40
Tabela 13 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Abril para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização.....	40
Tabela 14 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Maio para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização.....	41
Tabela 15 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Junho para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	41
Tabela 16 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Julho para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	42

Tabela 17 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Agosto para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	42
Tabela 18 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Setembro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	43
Tabela 19 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Outubro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	43
Tabela 20 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Novembro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	44
Tabela 21 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Dezembro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização	44
Tabela 22 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da evapotranspiração potencial anual para o estado do Espírito Santo.....	48
Tabela 23 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da evapotranspiração real anual para o estado do Espírito Santo	49
Tabela 24 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da deficiência hídrica anual para o estado do Espírito Santo.....	50
Tabela 25 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa do excedente hídrico anual para o estado do Espírito Santo	52
Tabela 26 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da disponibilidade hídrica média anual para o estado do Espírito Santo	53
Tabela 27 - Índices estatísticos para análise do desempenho da metodologia de espacialização proposta e dos interpoladores espaciais propostos para estimativa da espacialização dos elementos do balanço hídrico no estado do Espírito Santo	55
Tabela 28 - Áreas (%) de aptidão para a implantação da Seringueira no estado do Espírito Santo.....	65

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Representação gráfica de um semivariograma e seus componentes.....	14
Figura 2 - Localização das estações meteorológicas na área de abrangência do estudo.....	18
Figura 3 - Modelo digital de elevação (MDE) GTOPO 30 utilizado para espacializar as temperaturas mensal e anual.....	23
Figura 4 - Classe de solos e CAD no estado do Espírito Santo.....	31
Figura 5 - Fluxograma das etapas necessárias para a realização do zoneamento edafoclimático.....	34
Figura 6 - Espacialização da temperatura média anual (T_a) para o estado do Espírito Santo com dados GTOPO 30, utilizando as equações de regressão desenvolvida por Castro (2008).....	35
Figura 7 - Espacialização da temperatura média dos meses mais frios (T_f) (junho e julho) para o estado do Espírito Santo com dados GTOPO 30, utilizando a equação de regressão desenvolvida por Castro (2008).....	36
Figura 8 - Espacialização das temperaturas médias mensais (C°) utilizadas no balanço hídrico climatológico para Estado do Espírito Santo.....	37
Figura 9 - Espacialização das precipitações mensais (mm) utilizadas no balanço hídrico climatológico no Estado do Espírito Santo.....	46
Figura 10 - Semivariograma experimental da variável evapotranspiração potencial anual (distâncias em graus).....	48
Figura 11 Semivariograma experimental da variável evapotranspiração real anual (distâncias em graus).....	50
Figura 12 - Semivariograma experimental da variável deficiência hídrica anual (distâncias em graus).....	51
Figura 13 - Semivariograma experimental da variável excedente hídrico anual (distâncias em graus).....	53
Figura 14 - Semivariograma experimental da variável disponibilidade hídrica anual (distâncias em graus).....	54
Figura 15 - Distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual (mm) no Espírito Santo pela MEP (a) e a IEP (b).....	57
Figura 16 - Distribuição espacial da evapotranspiração real anual (mm) no Espírito Santo pela MEP (a) e a IEP (b).....	58
Figura 17 - Distribuição espacial deficiência hídrica anual (mm) no Espírito Santo pela MEP (a) e a IEP (b).....	59

Figura 18 - Distribuição espacial do Excedente hídrico anual (mm) no Espírito Santo pela MEP (a) e a IEP (b).	61
Figura 19 - Distribuição espacial da disponibilidade hídrica anual no Espírito Santo pela rotina computacional (a) e por krigagem linear (b).....	62
Figura 20 - Zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira para o estado do Espírito Santo.....	66

RESUMO

SILVA, Kennedy Ribeiro da, M. Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, março de 2010. **Metodologia para espacialização do balanço hídrico: aplicação no zoneamento edafoclimático para a seringueira no Espírito Santo.** Orientador: Roberto Avelino Cecílio. Co-orientadores: Alexandre Cândido Xavier e José Ricardo Macedo Pezzopane.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método que produza estimativas e cartas de aptidão climáticas dos elementos do balanço hídrico para a elaboração de um zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira no Estado do Espírito Santo. Foram utilizados dados de 110 estações pluviométricas com período de medição entre os anos de 1977 a 2006. As temperaturas mensais foram espacializadas utilizando-se as equações desenvolvidas por Castro (2008) e dados do modelo digital de elevação GTOPO30. A espacialização da precipitação mensal se procedeu a partir da prévia seleção dos interpoladores espaciais de maior capacidade preditiva por meio da validação cruzada. Mediante os dados de temperatura e precipitação mensal, foi realizado o balanço hídrico de forma pontual para todos os 110 postos meteorológicos. As variáveis do balanço hídrico foram espacializadas a partir da seleção de interpoladores espaciais de maior capacidade preditiva por meio da validação cruzada. Foi desenvolvida uma metodologia de espacialização das variáveis do balanço hídrico, tendo como parâmetros de entrada mapas de temperatura mensal, precipitação mensal e solos com CADs de 90, 210 e 300 mm. O desempenho dos interpoladores espaciais e da metodologia de espacialização das variáveis do balanço hídrico, foi realizada com as 14 estações observadas, possibilitando assim uma comparação entre métodos de espacialização. Baseado nos mapas temáticos de temperatura média anual, temperatura do mês mais frio, deficiência hídrica (obtidos no melhor método de espacialização) e mapa de solos foi feita uma reclassificação de acordo com as exigências climáticas da espécie e em seguida a sobreposição dessas informações, obtendo assim um mapa de zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira. Os resultados mostraram que o interpolador krigagem foi o mais eficiente para a espacialização das precipitações mensais. A metodologia de espacialização proposta apresentou melhores índices estatísticos para as variáveis do balanço hídrico quando comparado com os métodos tradicionais de interpolação, sendo essa metodologia utilizada para a geração do mapa de deficiência hídrica no zoneamento. Maior parte do estado apresenta restrição térmica ao cultivo da seringueira, com condições favoráveis a esporulação do fungo *Microcyclus ulei*.

PALAVRA-CHAVE: *Hevea brasiliensis*, aptidão climática, *Microcyclus ulei*, interpoladores espaciais.

ABSTRACT

SILVA, Kennedy Ribeiro da, M. Sc., Federal University of Espírito Santo, March 2010. **Methodology for spatial water balance: application at edaphoclimatic zoning to rubber in Espírito Santo.** Supervisor: Roberto Avelino Cecílio. Co-advisors: Alexandre Cândido Xavier and José Ricardo Macedo Pezzopane.

The objective of this work was to develop a method to result on estimative and climate aptitude reports of the elements within the hydro balance for the preparation of an edaphoclimatic zoning for rubber tree's forestry in Espírito Santo State. It were analyzed the data from 110 pluviometric (weather) stations, considering the data collected between 1977 and 2006. The monthly temperatures were space contextualized using the equations developed by Castro (2008) and data from digital elevation model GTOPO30. The space contextualization of the monthly precipitation had happened starting from the prior selection of spatial interpolators of greater predictive capacity through cross-validation. Thorough the temperature data and monthly precipitation, it was performed the hydro balance in a timely manner for all 110 weather stations. The hydro balance variables were space contextualized by the selection of spatial interpolators of greater predictive capacity through cross-validation. It was developed a methodology for spatial contextualization of the hydro balance variables, taking as input the entry parameters maps of monthly temperature, monthly precipitation and soils with CADs ranging from 90, 210 to 300 mm. The performance of spatial interpolators and the methodology of spatial variables of the hydro balance was verified with 14 observed stations, allowing a comparison of spatial contextualization methods. Based on thematic maps of average annual temperature, temperature of the coldest month, hydro deficit (obtained through the best spatial contextualization method) and soils map, it was made a reclassification accordingly to the specie's climatic requirements and, then, beyond the information overlay, obtained that way an edaphoclimatic map for the rubber tree forestry. The results showed that Krigagem interpolator was the most efficient for the spatial contextualization of the monthly precipitation. The spatial contextualization methodology proposal had shown better statistical indexes for the hydro balance variables when compared with traditional methods of interpolation, being this methodology used to generate the hydro deficiency map on the zoning. The most geographical area of the State presents thermal restrictions for rubber tree forestry, with favorable conditions for spread of the *Microcylus Ulei* fungus.

KEYWORD: *Hevea brasiliensis*, fitness climate, *Microcylus ulei*, spatial interpolation.

1. INTRODUÇÃO

Embora a ocorrência natural da seringueira se dê na Amazônia, seu cultivo comercial estende-se desde as latitudes 24°N até 25°S, a sua importância está principalmente na produção de látex (MARTINS & ZIERI, 2003), matéria prima utilizada nas fábricas de pneumáticos e artefatos de utilidade humana (SOUZA, 2007). As perspectivas para o mercado da borracha no Brasil são as melhores possíveis (MACEDO et al. 2002). Porém, epidemias do “mal-das-folhas”, causado pelo fungo *Microcyclus ulei* (P. Henn) v. Arx. e a falta de políticas adequadas obrigam o Brasil a importar aproximadamente 2/3 das necessidades de látex de países do sudeste asiático, como Malásia, Tailândia e Indonésia, que juntamente com Índia, China, Vietnam, Libéria, Camarões e Nigéria, respondem por 98% da produção mundial (Morceli, 2004; Rosado et al., 2006).

Com essa problemática Almeida et al. (1987) e Macedo et al. (2002) apontam para a necessidade do plantio de seringais em “áreas de escape” com vista a minimizar o problema do mal-das-folhas. Essas “áreas de escape” são identificadas por meio de conhecimentos sobre o clima da região, o que torna de extrema importância o estudo dos elementos do clima e a realização do balanço hídrico climatológico (BHC).

O BHC é a contabilização da água no solo, sendo determinante o regime hídrico de um local. Para sua elaboração, há necessidade de se definir o armazenamento máximo de água no solo, a precipitação e a evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações básicas, o BHC permite calcular os componentes evapotranspiração real, deficiência hídrica e excedente hídrico para cada período de uma determinada localidade.

Os componentes do BHC são de extrema importância para o crescimento e o desenvolvimento das plantas sob diferentes formas e nas diversas fases do ciclo da cultura, pelo fato da água ser um dos fatores limitantes à obtenção de elevadas produtividades agrícola e florestal. Assim sendo o conhecimento da variabilidade espacial desses elementos é indispensável para estudos de caracterização da disponibilidade hídrica de uma região, caracterização de secas, planejamento de melhores épocas de

semeadura e zoneamento agroclimáticos, servindo de base para a elaboração de políticas públicas para o setor agrícola e florestal.

Todavia, a realização de estudos agrometeorológicos como o zoneamento agroclimático em grandes áreas, muitas vezes fica comprometida devido a pouca confiança existente na espacialização dos elementos do clima e principalmente do BHC.

A falta de métodos mais acurados para espacializar os componentes do balanço em trabalhos de zoneamento agroclimático, afeta de forma indireta pequenos, médios e grandes produtores que queiram investir na implantação de culturas agrícolas e florestais, devido à influência que o fator hídrico tem em limitar o desenvolvimento da cultura, tornando os custos de implantação do projeto mais onerosos e não conseguindo obter a produtividade esperada.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral, realizar um zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira no estado do Espírito Santo.

Objetivos específicos:

1. Avaliar interpoladores espaciais para a precipitação mensal;
2. Desenvolver e avaliar uma nova metodologia para espacializar os elementos do BHC.
3. Avaliar interpoladores espaciais para os elementos do BHC e comparar com a nova metodologia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A CULTURA DA SERINGUEIRA

A seringueira é classificada botanicamente na divisão das Angiospermae, classe dicotyledoneae, família Euphorbiaceae e gênero *Hevea* (ITIS, 2010), tendo ocorrência natural na Região Amazônica.

Segundo Pires (1973) o gênero *Hevea* é formado por onze espécies, entre essas apenas *H. brasiliensis*, *H. benthamiana* e *H. pauciflora* vêm sendo empregadas em programas de melhoramento para fins de produção (GONÇALVES et al., 1983). Destas, a *Hevea brasiliensis* [(Wild. ex. Adr. de Juss.) Muell. Arg.] se destaca por ser a mais explorada comercialmente e responsável por cerca de 99% de toda a borracha natural produzida no mundo (GOLDTHORP & TAN., 1996).

A participação da borracha natural no mercado de borracha subiu de 30% nos anos 80 para os atuais 40%. No Brasil entre 1992 e 2002 foram importados 1,2 milhões de toneladas de borracha natural, sendo que a produção interna foi de 693,5 mil toneladas. Isto significa que o Brasil gastou naquela década mais de US\$ 1 bilhão com a importação de borracha natural. Já em 2006 foram gastos US\$ 385 milhões, o que indica um aumento na produção interna, enquanto que em 2007 o valor das importações voltou a subir chegando a US\$ 489 milhões em novembro. Em 2002 o consumo foi de 250 mil toneladas e a produção interna, 95 mil toneladas; em 2004 o consumo foi de 287 mil toneladas e há uma previsão de que em 2010 o consumo atinja 500 mil toneladas. Se não houver um aumento no número de novos seringais plantados no Brasil, esta dependência de importação pode ser tornar mais crítica e maior, pois 72% da borracha consumida no mundo são destinadas à produção de pneus. Atualmente, 90% da produção mundial de borracha se encontram nos países do Sudeste Asiático. O Brasil é hoje o 9º produtor mundial de borracha natural, atrás de Tailândia, Indonésia, Malásia, Índia, China e Vietnã (RIPPEL & BRAGANÇA, 2009).

No Brasil a exploração tradicional da heveicultura estende-se pela Amazônia, Mato Grosso e Bahia, e as regiões consideradas não tradicionais, contemplam os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Pernambuco,

Maranhão, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais e São Paulo (AGRIDATA, 2004).

A importância da seringueira está principalmente na produção de látex (MARTINS & ZIERI, 2003), sendo essa matéria prima utilizada nas fabricas de pneumáticos e de centenas de artefatos de grande utilidade humana (SOUZA, 2007). A sangria dessa cultura propicia empregos e renda para agricultores sem alternativa econômica, promovendo a fixação do homem no campo e a melhoria na qualidade de vida dos pequenos e médios produtores de borracha.

A heveicultura possui um aspecto econômico de aptidão à reposição florestal, pois, no final do seu ciclo produtivo, sua madeira pode ser comercialmente explorada, e utilizada para diversos fins, como fabricação de móveis, caixote, utensílios de cozinha, construção civil e outras finalidades. É importante também mencionar que a seringueira é uma fonte renovável de matéria-prima, quando propagada por enxertia, a produção de látex (borracha) pode se prolongar por 30-35 anos (IAPAR, 2010).

No aspecto ambiental a cultura da seringueira, pelo fato de ser reflorestadora ajuda na preservação e conservação solo e da água, servindo também como área de refugio para a fauna (SOUZA, 2007), além do seqüestro de carbono, promovido pelo processo fotossintético, podendo reduzir dessa forma a concentração de CO₂ atmosférico, convertendo parte desse gás em biomassa vegetal, contribuindo, assim, para amenizar o efeito estufa (GONÇALVES, 2002).

A seringueira é susceptível a várias doenças e a mais grave é o mal das folhas também conhecida como queima sul-americana das folhas ou ainda "South American Leaf Blight" (SALB), que tem como agente etiológico o fungo *Microcyclus ulei*. Essa doença ocorre em condições favoráveis ao desenvolvimento do fungo, que são umidade relativa do ar superior a 95% por 10 h consecutivas, e temperatura média diária também elevada, cujo ótimo está entre 24° e 26°C. Quando a umidade atmosférica é elevada, as condições favorecem a presença de água líquida (orvalho) nas folhas, fato que favorece a germinação dos esporos e a infecção da planta (CAMARGO et al., 1967). Segundo Medeiros (1976) regiões com períodos prolongados de orvalho, neblina ou chuvas leves, como áreas de baixadas úmidas também favoreceram a infecção do fungo.

Com essas condições climáticas, a cultura da seringueira se torna altamente suscetível a infecção do patógeno, principalmente nos folíolos mais jovens, causando lesões que crescem até chegar ao desfolhamento sucessivo, ocasionando o secamento de terminais de hastes e de galhos e, conseqüentemente, morte das plantas (GASPAROTTO et al., 1997).

O Brasil possui ocorrência do mal-das-folhas em todos os Estados onde a seringueira é cultivada, com danos significativos na Região Norte, Sudeste da Bahia e no Estado do Mato Grosso (GASPAROTTO & FERREIRA, 1989), Espírito Santo (GASPAROTTO et al., 1997), e no Estado de São Paulo, abrangendo principalmente a região do Vale do Ribeira.

2.1.1. Exigências Climáticas para Desenvolvimento da Cultura da Seringueira

O cultivo da heveicultura é condicionado aos elementos climáticos para a delimitação de áreas onde a cultura possa expressar a máxima produção (CHANG, 1981; PEREIRA, 1982; RAO et al., 1993).

Segundo Shangphu (1986) e Shuochang & Yagang (1990) a temperatura média diária entre 18°C e 24°C é ideal ao fluxo de látex, obtendo-se a máxima taxa fotossintética com temperatura entre 27°C e 33°C e fechamento estomático quando a temperatura passa de 35°C (RAO et al. 1990). Como forma de inserção dessa característica no zoneamento (Pilau et al. 2007) sugerem limitar as áreas aptas ao cultivo da seringueira apenas às regiões com temperatura médias do ar entre 15°C e 25°C.

Quanto à condição hídrica, Camargo (1963) delimitou inicialmente áreas com deficiência anual máxima de 150 mm, acima da qual o cultivo comercial da seringueira não seria economicamente viável. Posteriormente, Camargo (1976), pela percepção da elevada resistência que a cultura apresenta à estiagem, elevou a delimitação por deficiência hídrica para 200 mm no ano.

Mendes et al. (1992) demonstra que a heveicultura é capaz de suportar deficiências hídricas ainda maiores, pela presença de duas regiões de concentração radicular, uma camada superficial, de zero a 30cm, com grande volume de raízes aproveitando todas as chuvas, mesmo que pequenas, e outra, profunda, com volume radicular apreciável, abaixo de 120 cm de

profundidade, chegando aos 270 cm ou mais e garantindo o suprimento de água nas épocas mais secas necessário para manter boas produções de látex. Nos seringais ao norte e nordeste do Estado de São Paulo e Açailândia no Maranhão, foi observado que a deficiência hídrica anual supera 300 mm (ORTOLANI, 1980, 1982; ORTOLANI et al., 1983; PINHEIRO, 1981). Camargo (1976, 1977), Camargo et al. (2003) e Campanharo et al. (2008) empregaram o limite de deficiência hídrica anual de 300 mm, em trabalhos de zoneamento agroclimático para a seringueira.

Frente as constatações de um sistema radicular profundo, capaz de tolerar longos períodos de estiagem, ao realizarem os zoneamentos agroclimáticos para as regiões sudeste e leste da Bahia, Almeida et al., (1987) e Cecílio et al. (2006), adotaram limites máximos de deficiência hídrica anual de 50 mm a 200 mm.

2.1.2. Condições Climáticas para Esporulação do Fungo *Microcyclus Ulei*

Os fatores climáticos, principalmente a temperatura e a umidade, interferem no ciclo de vida de *M. ulei* (Holliday, 1970; Chee & Holliday, 1986; Gasparotto et al., 1989) e devem ser considerados para o manejo do mal das folhas (MDF). A temperatura afeta a formação, germinação e liberação de esporos (Chee, 1976; Gasparotto et al., 1989), bem como a infecção e desenvolvimento de *M. ulei* (Gasparotto et al., 1989). A esporulação é mais abundante entre 23° e 25°C, mas pode ocorrer mesmo abaixo de 20°C, com intensidade variável, dependendo da combinação clone–isolado (Gasparotto et al., 1989). Por essa razão, um dos critérios considerados como limitante ao desenvolvimento do *M. ulei* é a temperatura mínima média. Plantas inoculadas a 16°C, ao retornarem a 24°C, apresentam sintomas da doença (Junqueira et al., 1985). Pillau et al. (2007) sugere limitar a esporulação do fungo em áreas com temperatura mínima 21 °C para a região Sudeste e Centro-Oeste.

2.2. ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO

As condições ambientais do clima e do solo controlam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, no entanto esses elementos devem ser

adequadamente avaliados antes de se implantar qualquer atividade agrícola ou silvicultural. O primeiro e mais decisivo passo em qualquer planejamento deve ser a identificação de áreas com alto potencial de produção, isto é, áreas onde o clima seja adequado para a cultura (PEREIRA et al, 2002).

De acordo com Ometto (1981) e Ferreira (1997), o zoneamento agroclimático consiste essencialmente na delimitação de áreas com aptidão (regiões climaticamente homogêneas) para o cultivo de determinada cultura, na qual estão estabelecidas as condições hídricas e térmicas ideais para o seu desenvolvimento e produtividade.

A partir da escolha da espécie, com o zoneamento agroclimático é possível determinar o potencial agrícola de uma região, proporcionar aos produtores rurais a época de semeadura, como também a adoção de técnicas de manejo mais adequadas (WALDHEIM et al., 2006).

O estudo de caracterização do ambiente agroclimático fundamenta-se em dois principais elementos climáticos: pluviosidade e temperatura. Essas variáveis afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, uma vez que, a temperatura do ar está diretamente relacionada com os processos de fotossíntese e de evapotranspiração; e a precipitação, por outro lado, é quem fornece a água envolvida em tais processos. A partir da precipitação e da temperatura é possível realizar o BHC, fundamental para o zoneamento agroclimático.

Reis (1974), Ortolani (1985), Almeida et al. (1987), Camargo (2003), Marin (2005), Cecílio et al. (2006), Pilau (2007) e Campanharo et al. (2008), desenvolveram trabalhos relevantes no âmbito nacional de zoneamento agroclimático para a heveicultura, levando-se em consideração o risco de ocorrência do “mal-das-folhas”, tendo como base dados de precipitação, temperatura do ar e os elementos do balanço hídrico.

Como ferramenta de tomada de decisão, o zoneamento agroclimático não é definitivo e deve ser constantemente atualizado, sendo passível a incorporação de novas metodologias de estudo, visando maiores informações sobre as condições climáticas das culturas selecionadas e, sobretudo proporcionar um maior retorno dos investimentos a médio e longo prazo (SEDIYAMA et al., 2001).

2.3. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

O balanço hídrico climatológico (BHC) consiste na contabilização da água que entra e sai de determinado volume de solo em um dado intervalo de tempo, sendo resultado do princípio de conservação de massa em um volume de solo vegetado (ZAKIA, 1987; PEREIRA et al., 2002; REICHARDT & TIMM, 2004).

Essa contabilização pode ser feita tanto através do balanço hídrico medido diretamente no campo ou através de balanço hídrico climatológico, que se baseiam principalmente na medida de elementos do clima como a temperatura e precipitação, o que permite calcular os elementos: P-ETP, negativo acumulado (NEG ACUM), armazenamento de água no solo (ARM), alteração de água no solo (ALT), evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC).

1. P-ETP – Diferença entre a precipitação (P) e evapotranspiração potencial, mantendo-se o sinal negativo ou positivo. Nos meses chuvosos os valores de P-ETP são positivos, enquanto que nos meses secos P-EP são negativos, representando perda potencial de água nesse caso.

2. NEG ACUM – É o somatório da seqüência de valores negativos de P-ETP;

3. ARM – Armazenamento de água no solo;

4. ALT – Representa a alteração do armazenamento no solo;

5. ETR – É a quantidade de água realmente utilizada por uma superfície vegetal com grama, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo, porém, com ou sem disponibilidade hídrica;

6. DEF – Representa a falta de água no solo;

7. EXC – É a quantidade de água que sobra no período chuvoso e se perde por percolação (drenagem profunda).

O roteiro de elaboração do BHC foi proposto por Thornthwaite e Mather (1955) e difundido no Brasil por Camargo (1962). O primeiro passo é a seleção da capacidade de água disponível (CAD).

A CAD pode ser determinada pelas equações 1 ou 2, tendo como variável as propriedades físico-hídricas do solo e a profundidade efetiva (Z) do sistema radicular das plantas sob cultivo.

$$CAD = 0,01 * (CC - PMP) * D * Z \quad (1)$$

$$CAD = D * Z \quad (2)$$

Em que:

CC= capacidade de campo (%);

PMP= ponto de murcha permanente (%);

D= densidade do volume de solo (kg/m³); e

Z= profundidade efetiva (m).

A ETP pode ser calculada por vários métodos empíricos, na qual é dependente das condições climáticas (clima seco ou úmido) e dos parâmetros do local.

O método empírico desenvolvido por Thornthwaite (1948) foi desenvolvido para regiões de clima úmido, sendo baseada em parâmetros de fácil obtenção como temperatura mensal (Tn) e latitude do local. A estimativa da ETP segundo Thornthwaite (1948) é descrita nas equações de 3 a 9.

$$ETP = 16 * \left(\frac{10 * T_n}{I} \right)^a * COR \quad 0 \leq T_n < 26,5 \quad (3)$$

$$ETP = (-415,85 + 32,24 * T_n - 0,43 * T_n^2) * COR \quad T_n \geq 26,5^\circ C \quad (4)$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 * T_n)^{1,514} \quad (5)$$

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 1,7912 * 10^{-2} * I + 0,49239 \quad (6)$$

$$N = \frac{2 * h_n}{15} \quad (7)$$

$$COR = \left(\frac{ND}{30} \right) * \left(\frac{N}{12} \right) \quad (8)$$

Em que:

Tn = temperatura média do mês (°C);

I = índice que expressa o nível de calor disponível no local;

a = índice térmico local;
ND = número dia do ano;
 θ = latitude do local;
N = fotoperíodo e (horas);
COR = fator de correção da evapotranspiração.

O passo seguinte é obter os elementos P-ETP. Essa variável representa a diferença entre os valores da precipitação mensal (P) pela evapotranspiração potencial mensal (ETP) que mantém sinal positivo ou negativo.

O próximo passo é calcular os valores de negativo acumulado (NEG ACUM) e armazenamento (ARM), mas antes da realização do mesmo é necessário saber se o BHC será realizado em estação úmida ou seca, resultando em dois casos.

Caso 1: quando a soma anual de $P - ETP \geq 0$. Isto significa que a soma dos valores positivos (M) de P-ETP é igual ou maior que a soma dos valores negativos (N). Nessa situação, no fim do período chuvoso, o solo está plenamente abastecido de água, isto é, o armazenamento (ARM) se iguala à capacidade de água disponível (CAD).

Então se inicia o cálculo do BHC de forma simultânea de NEG ACUM e ARM, repetindo o valor de P-ETP para o primeiro mês em que aparecer o valor de P-ETP negativo, o ARM do mês em questão é calculado pela equação 9.

$$ARM = CAD * EXP \left[\frac{NEG \text{ ACUM}}{CAD} \right] \quad (9)$$

O NEG ACUM do mês seguinte continua sendo calculada pela soma do NEG ACUM do mês anterior pelo P-ETP do mês em questão e o ARM do mês em questão pela equação 9. Essa seqüência se repete até o fim do período seco, quando aparecer um mês com valor positivo de P-ETP, o ARM desse mês será igual à soma do valor positivo P-ETP do mês em questão ao ARM do mês anterior. Conhecendo-se o ARM do mês em questão, utiliza-se a equação 10 para calcular o NEG ACUM desse mês.

$$\text{NEG ACUM} = \text{CAD} * \ln \left[\frac{\text{ARM}}{\text{CAD}} \right] \quad (10)$$

Caso 2: soma anual de P-ETP < 0, essa é uma característica de regiões onde as chuvas geralmente se concentram em poucos meses. Mesmo nessa situação, se a CAD adotada for menor que o somatório dos valores positivos (M) de P-ETP, isto é, $\text{CAD} \leq M$, o cálculo funciona como se a soma anual de P-ETP ≥ 0 (conforme descrito acima). No entanto, se a $\text{CAD} > M$ ou $M/\text{CAD} < [1 - \exp(-N/\text{CAD})]$, então ARM nunca será igual à CAD, mesmo no fim do período chuvoso. Portanto, os valores iniciais de ARM e NEG ACUM serão desconhecidos, sendo necessárias algumas manipulações algébricas propostas por de Mendonça (1958).

Nessa situação também se inicia o cálculo de BHC de forma simultânea de NEG ACUM e ARM, calculando o valor de NEG ACUM utilizando a equação 11 para o primeiro mês em que aparecer o valor de P-ETP positivo, o ARM do mês em questão é calculado pela equação 9.

$$\text{NEG ACUM} = \text{CAD} * \ln \left[\frac{M/\text{CAD}}{1 - e^{-\frac{N}{\text{CAD}}}} \right] \quad (11)$$

O NEG ACUM do mês seguinte continua sendo calculada pela equação 11 e o ARM do mês em questão pela equação 9. Essa seqüência se repete até o fim do período chuvoso, quando aparecer um mês com valor negativo de P-ETP, o NEG ACUM do mês em questão é calculada pela soma do NEG ACUM do mês anterior pelo P-ETP do mês em questão, e o ARM do mês em questão pela equação 9.

A alteração do armazenamento de água no solo (ALT) é obtida pela diferença entre o ARM do mês em questão pelo ARM do mês anterior.

A evapotranspiração real (ETR) é calculada sob duas condições:

1. $P\text{-ETP} \geq 0$ $\text{ETR} = \text{ETP}$;
2. $P\text{-ETP} < 0$ $\text{ETR} = P + |\text{ALT}|$.

A deficiência hídrica (DEF) de um mês é a diferença entre ETP e ETR, aparecendo sempre que o solo não estiver plenamente abastecido.

O excedente hídrico (EXC) é calculado sob duas condições:

1. $ARM < 0$ $EXC=0$;
2. $ARM = CAD$ $EXC= (P-ETP) - ALT$.

Conhecer profundamente os processos de perda de água e os componentes que atuam de forma efetiva no BHC, é de grande importância para trabalhos de zoneamento agroclimático, permitindo assim, conhecer o potencial de diferentes regiões e as práticas de manejo adequado para cada circunstância. Tornando-se assim de grande importância aprofundar os conhecimentos e aprimorar métodos mais precisos para estimar e espacializar os elementos do BHC.

2.4. INTERPOLADORES ESPACIAIS

A definição mais simples de interpolação envolve o processo de determinar valores desconhecidos, ou não amostrados, de um atributo contínuo usando valores conhecidos ou amostrados. Esse processo é constituído de duas partes: 1) a definição de um relacionamento de vizinhança – saber quais pontos são os vizinhos apropriados; 2) a definição de métodos que calcularão os valores desconhecidos (Miranda, 2005).

De acordo com a ESRI (2001), os interpoladores espaciais podem ser divididos em dois grupos: determinísticos e geoestatísticos. Os interpoladores determinísticos são aqueles que geram estimativas a partir de pontos medidos e se baseiam na configuração espacial da amostra. Esses interpoladores não reconhecem agrupamentos de pontos, sendo os pesos proporcionais ao inverso da distância (Yamamoto, 2001). A redundância de informação dos pontos amostrados não é considerada por esses interpoladores.

Segundo Landim (1998), o interpolador determinístico mais utilizado é o Inverso da Distância Ponderada (IDW) (equação 12). Para se estimar valores em locais não amostrados, o interpolador IDW utiliza valores que circundam o local a ser estimado, isto é, os pontos amostrados vizinhos. Esse interpolador

assume a hipótese de que coisas próximas são mais parecidas entre si do que coisas distantes, assim, valores medidos próximos ao local não amostrado terão mais influência para predizer que outros distantes, e sua influência local diminuem com a distância.

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{d_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p} \right)} \quad (12)$$

Em que:

x_i = valores da amostras;

d_i = distância de cada amostra;

p = potência da distância.

O interpolador geoestatístico denominado krigagem foi desenvolvido por Matheron (1963), mas foi Krige (1951) que primeiro utilizou esse método com dados de concentração de ouro no Sul da África.

A krigagem é um interpolador geoestatístico que estima valores em pontos não amostrados a partir de informações dos pontos amostrados, considerando a estrutura de dependência espacial da característica em estudo. Segundo Isaaks & Srivastava (1989), existem vários tipos de krigagem: pontual, simples, ordinária, preditiva, universal, de blocos.

Segundo Zimback (2003), a krigagem, tem como características usar a distância e a geometria entre todas as unidades amostrais; levar em conta a minimização do erro da variância (estimativas sem tendências com erro mínimo); determinar os pesos a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma.

O semivariograma é considerado como uma ferramenta básica de suporte às técnicas de Krigagem, permitindo avaliar o grau de variabilidade espacial entre as amostras dentro de um campo experimental, representando quantitativamente a variação desse fenômeno, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados (SALVIANO, 1996; CAMARGO et al., 2004).

Segundo Isaaks & Srivastava (1989), a dependência espacial é dada pela medida da variância das diferenças dos valores amostrais em todos os

pontos, separados por uma distancia h, podendo ser verificada pela função semivariograma (equação 13).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (13)$$

O semivariograma deve ser ajustado por meio dos interpoladores krigagem com a finalidade de estimar valores para locais não amostrados.

Uma forma comum de ajustar o semivariograma é determinar os parâmetros envolvidos no modelo, efeito pepita (C_0) (nugget effect), patamar (C_0+C) (sill) e alcance (a) (range) (Vieira, 1998), como podem ser visto na Figura 1.

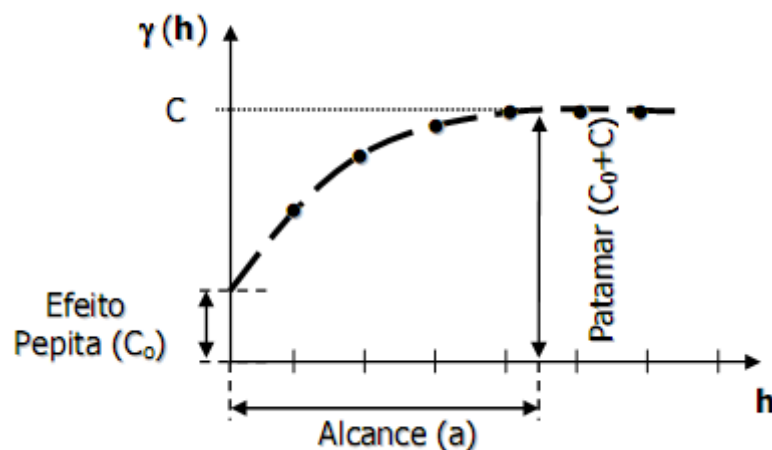


Figura 1 - Representação gráfica de um semivariograma e seus componentes.

Segundo Vieira (2000), o efeito pepita (C_0) (*nugget*) é a variação aleatória ou não estruturada do fenômeno estudado. Quanto menor o efeito pepita, melhor será a estimativa no processo de inferência.

O alcance (a) (*range*) é a distância na qual o semivariograma atinge um valor de estabilidade, o limite da dependência espacial ou zona de influência de uma amostra. Ele marca a distância a partir da qual a amostra não mais influencia a amostra vizinha, início da região de independência.

O patamar ($C+C_0$) (*sill partial*) é a distância na qual o semivariograma atinge um valor de estabilidade, aproximando-se da variabilidade total dos

valores amostrados, representa o valor da variância total da variável em estudo, em que, C (contribuição) é a variância de dispersão espacial e representa as diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos por distâncias cada vez maiores.

Os modelos básicos mais comuns classificam-se segundo as seguintes categorias: modelos com patamar e sem patamar.

- Modelo esférico (com patamar);

$$\gamma(h) = C + C_0 \left[1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad \text{Se } 0 < h < a \quad (14)$$

$$\gamma(h) = C + C_0 \quad \text{Se } h > a \quad (15)$$

O modelo esférico é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita (C_0) e do patamar ($C_0 + C$), depois passando uma reta que intercepte o eixo y em C_0 e seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h=0$. Esta reta cruzará o patamar à distância $a' = 2/3a$. Assim, o alcance (a) será $a = 3a'/2$. Como definido, o modelo esférico é aproximadamente linear até cerca de $1/3 a$, conforme Vieira (2000).

- Modelo exponencial (com patamar);

$$\gamma(h) = C + C_0 \left[1 - \text{EXP} \left(\frac{-3h}{a} \right) \right] \quad 0 < h < d \quad (16)$$

O d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido. Uma diferença fundamental entre o modelo exponencial e o esférico é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente, enquanto que o modelo esférico o atinge no valor do alcance. Os parâmetros C_0 e C para os modelos exponencial e gaussiano são determinados da mesma maneira que para o esférico.

- Modelo gaussiano (com patamar);

$$\gamma(h) = C + C_0 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right) \right] \quad (17)$$

- Modelo Linear (com patamar);

$$\gamma(h) = C_0 + \left(\frac{C}{a}\right) * h \quad (18)$$

$$\gamma(h) = C + C_0 \quad (19)$$

A relação de C/a é o coeficiente angular para $0 < h < a$. Neste modelo, o patamar é determinado por inspeção; o coeficiente angular, C/a , é determinado pela inclinação da reta que passa pelos primeiros pontos de $\gamma(h)$, dando-se maior peso àqueles que correspondem à maior número de pares; o efeito pepita, C_0 , é determinado pela interseção da reta no eixo $\gamma(h)$; o alcance, a , é o valor de h correspondente ao cruzamento da reta inicial com o patamar; e $C = \text{patamar} - C_0$.

Os modelos sem patamar correspondem a fenômenos que têm uma capacidade infinita de dispersão, e por isto, não têm variância finita e a covariância não pode ser definida (VIEIRA, 2000). Os modelos sem patamar satisfazem apenas a hipótese intrínseca e os semivariogramas podem ser definidos, mas não se estabilizam em nenhum patamar.

Jakob (1999) afirma que a função semivariância assume um papel importante na interpolação de valores através da técnica de Krigagem ordinária, que leva a erros mínimos na interpolação.

As ciências agrárias têm se favorecido na investigação científica com os interpoladores geoestatísticos, em especial nas pesquisas sobre zoneamento. Cardim (2001), Castro (2008), Ribeiro (2009) estudando as variáveis climatológicas básicas como temperaturas, pluviosidade e os elementos do balanço hídrico, mostram como sua variabilidade pode ser expressa em termos de semivariograma.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudos compreende o estado do Espírito Santo, que integra juntamente com os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo a chamada faixa de desenvolvimento da Região Sudeste, com uma área territorial de 45.597 km², localizados entre os paralelos 17°53'29" e 21°18'03" sul e meridianos 39°41'18" e 41°52'45" a oeste de Greenwich.

No estado predominam os tipos climáticos A e C (clima úmido), com os subtipos Aw, Am, Cf, Cw e as variações Cfa, Cfb e Cwa pela classificação de Köppen (Siqueira et al., 2004).

3.2. BANCO DE DADOS

No presente trabalho foram utilizadas séries históricas mensais de precipitação e temperatura média do ar, considerando um período de 30 anos de dados (1977-2006).

Os dados de precipitação foram obtidos de 110 postos pluviométricos (Figura 2), sendo 11 pertencentes à rede de estações do Instituto Capixaba de Pesquisas e Extensão Rural (INCAPER), 3 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e 80 da Agência Nacional de Águas (ANA), todos localizados no estado do Espírito Santo. Adotaram-se ainda outros 16 postos pluviométricos também pertencentes à ANA localizados fora do estado, tendo como objetivo minimizar o efeito de borda no processo de interpolação.

Os dados referentes às temperaturas mensais foram obtidos de 14 estações meteorológicas, sendo 11 pertencentes ao INCAPER e 3 ao INMET.

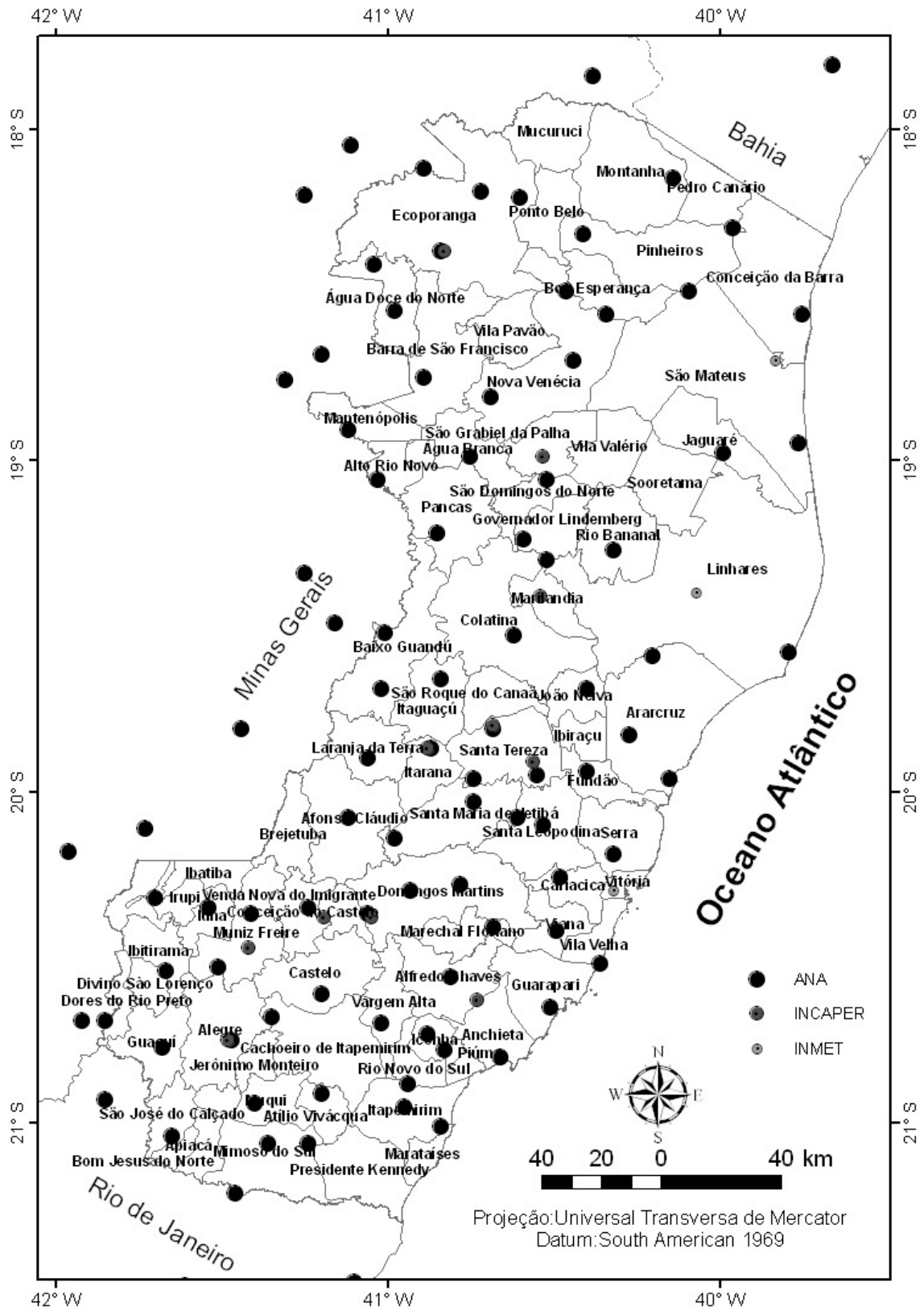


Figura 2 - Localização das estações meteorológicas na área de abrangência do estudo.

3.3. ESPACIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO CLIMA

3.3.1. Temperatura Média

Devido à ausência de dados consistentes de temperatura provenientes das estações da ANA, a temperatura mensal e anual, foram estimados com base em suas coordenadas geográficas e altitude, utilizando as equações 20, 21, 23 e 24 com seus respectivos coeficientes (Tabela 1, 2, 3 e 4) propostos por Castro (2008), Assad et al. (2001), Sedyama & Melo Júnior (1998) e Afonsi et al. (2007), para os estados do Espírito Santo, Bahia, Minas Gerais e Rio de Janeiro, respectivamente.

$$y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 * ALT + \hat{\beta}_2 * LAT + \hat{\beta}_3 * LONG + \varepsilon_i \quad (20)$$

Em que:

y_i = temperaturas mensais ($i=1, 2, \dots, 12$) e anual ($i=13$) em °C;

ALT = altitude, m;

LAT = latitude, em graus e décimos (negativo);

LONG = longitude em graus e décimos (negativo); e

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e β_3 = parâmetros de regressão.

Tabela 1- Coeficientes de regressão para estimativa das temperaturas mensais e anual para o estado do Espírito Santo

Mês	Coeficiente (β_0)	Altitude (β_1)	Latitude (β_2)	Longitude (β_3)
Janeiro	-11,7915	-0,0067	ns	-0,9718
Fevereiro	-10,2517	-0,0070	ns	-0,9458
Março	27,6025	-0,0064	ns	ns
Abril	-3,4176	-0,0070	0,4854	-0,9669
Maio	24,6425	-0,0071	ns	ns
Junho	23,2446	-0,0074	ns	ns
Julho	22,7931	-0,0073	ns	ns
Agosto	-14,8756	-0,0078	ns	-0,9410
Setembro	-26,3387	-0,0071	0,5999	-1,5304
Outubro	-29,9065	-0,0069	0,6815	-1,6918
Novembro	-20,9442	-0,0065	0,5549	-1,4274
Dezembro	-10,3282	-0,0064	0,4060	-1,1145
Anual	-12,9848	-0,0071	0,4690	-1,1761

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 * ALT + \alpha_2 * LAT + \alpha_3 * LONG + \varepsilon_i \quad (21)$$

Em que:

y_i = temperaturas mensais (i=1, 2,..., 12) e anual (i=13) em °C;

ALT = altitude, m;

LAT = latitude, em graus e décimos (negativo);

LONG = longitude em graus e décimos (negativo); e

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ e α_3 = parâmetros de regressão.

Tabela 2- Coeficientes de regressão para estimativa das temperaturas mensais e anual para o estado de Minas Gerais

Mês	Coeficiente (α_0)	Altitude (α_1)	Latitude (α_2)	Longitude (α_3)	R ²
Janeiro	27,72	-0,00581	-0,1638	0,0594	0,91
Fevereiro	26,93	-0,00592	-0,1366	0,072	0,86
Março	28,72	-0,00604	-0,2872	0,0931	0,91
Abril	28,1	-0,0057	-0,437	0,1345	0,9
Maio	33,13	-0,00467	-0,6588	0,0621	0,79
Junho	29,81	-0,00513	-0,6378	0,0977	0,87
Julho	28,3	-0,00538	-0,6783	0,1452	0,88
Agosto	22,18	-0,00536	-0,6818	0,3732	0,88
Setembro	22,14	-0,0055	-0,7198	0,3732	0,88
Outubro	22,99	-0,00562	-0,5654	0,3139	0,9
Novembro	23,55	-0,00559	-0,4048	0,2371	0,87
Dezembro	24,75	-0,00543	-0,2718	0,1538	0,83
Anual	26,62	-0,00551	-0,4695	0,1695	0,92

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * LAT + \beta_2 * ALT + \varepsilon_i \quad (22)$$

Em que:

y_i = temperaturas mensais (i=1, 2,..., 12) e anual (i=13)

em °C;

ALT = altitude, m;

LAT = latitude, em graus e décimos (positivo);

β_0, β_1 e β_2 = parâmetros de regressão.

Tabela 3- Coeficientes de regressão para estimativa das temperaturas mensais e anual para o estado da Bahia

Mês	Coeficiente (β_0)	Latitude (β_1)	Altitude (β_2)	R ²
Janeiro	31,23	-0,23	-0,01	0,94
Fevereiro	31,51	-0,22	-0,01	0,89
Março	30,62	-0,16	-0,01	0,88
Abril	30,82	-0,21	-0,01	0,87
Mai	30,39	-0,23	-0,01	0,83
Junho	30,79	-0,35	-0,01	0,74
Julho	29,08	-0,25	-0,01	0,68
Agosto	29,26	-0,17	-0,01	0,66
Setembro	30,29	-0,16	-0,01	0,55
Outubro	31,14	-0,21	-0,01	0,58
Novembro	31,05	-0,22	-0,01	0,72
Dezembro	30,41	-0,2	-0,01	0,82
Anual	30,66	-0,23	-0,01	0,84

$$y_i = a + b \cdot \text{LAT} + c \cdot \text{ALT} + \varepsilon_i \quad (23)$$

Em que

y_i = temperaturas mensais ($i=1, 2, \dots, 12$) e anual ($i=13$) em °C;

ALT = altitude, m;

LAT = latitude, em graus e décimos (positivo);

a, b e c = parâmetros de regressão.

Tabela 4- Coeficientes de regressão para estimativa das temperaturas mensais e anual para o estado do Rio de Janeiro

Mês	Coeficiente (a)	Latitude (b)	Altitude (c)	R ²
Janeiro	31,8	0,2118	-0,00597	0,9017
Fevereiro	29,41	0,0854	-0,00607	0,906
Março	32,03	0,2415	-0,00608	0,9146
Abril	32,63	0,3436	-0,00631	0,9231
Mai	24,41	0,0674	-0,0065	0,9291
Junho	18,25	-0,1399	-0,00673	0,8837
Julho	19,14	-0,0885	-0,00675	0,9071
Agosto	27,22	0,2407	-0,00635	0,9205
Setembro	38,61	0,7227	-0,0059	0,9129
Outubro	41,18	0,7809	-0,00551	0,8728
Novembro	35,53	0,4788	-0,00545	0,8644
Dezembro	31,97	0,2621	-0,00599	0,9008
Ano	29,49	0,2352	-0,00635	0,9275

Por meio das equações de regressão, foram gerados mapas digitais das condições térmicas mensais para todo o Estado do Espírito Santo, utilizando os coeficientes ajustados, mapas de latitude, longitude e altitude.

As informações referentes à altitude foram obtidas do projeto GTOPO30 (Figura 3), tendo sido desenvolvido em escala mundial pelo United States Geological Survey (USGS). O sistema de coordenadas horizontal é graus decimais de latitude e longitude referenciados para WGS 84 com resolução espacial de 0,0083 graus (1 km).

Pelo fato do estado do Espírito Santo estar localizado na América do Sul e os demais dados como limite político estarem projetados para o sistema geodésico da América do Sul, os dados referentes à altitude foram convertidos para o datum SAD-69 (*South American Datum 1969*).

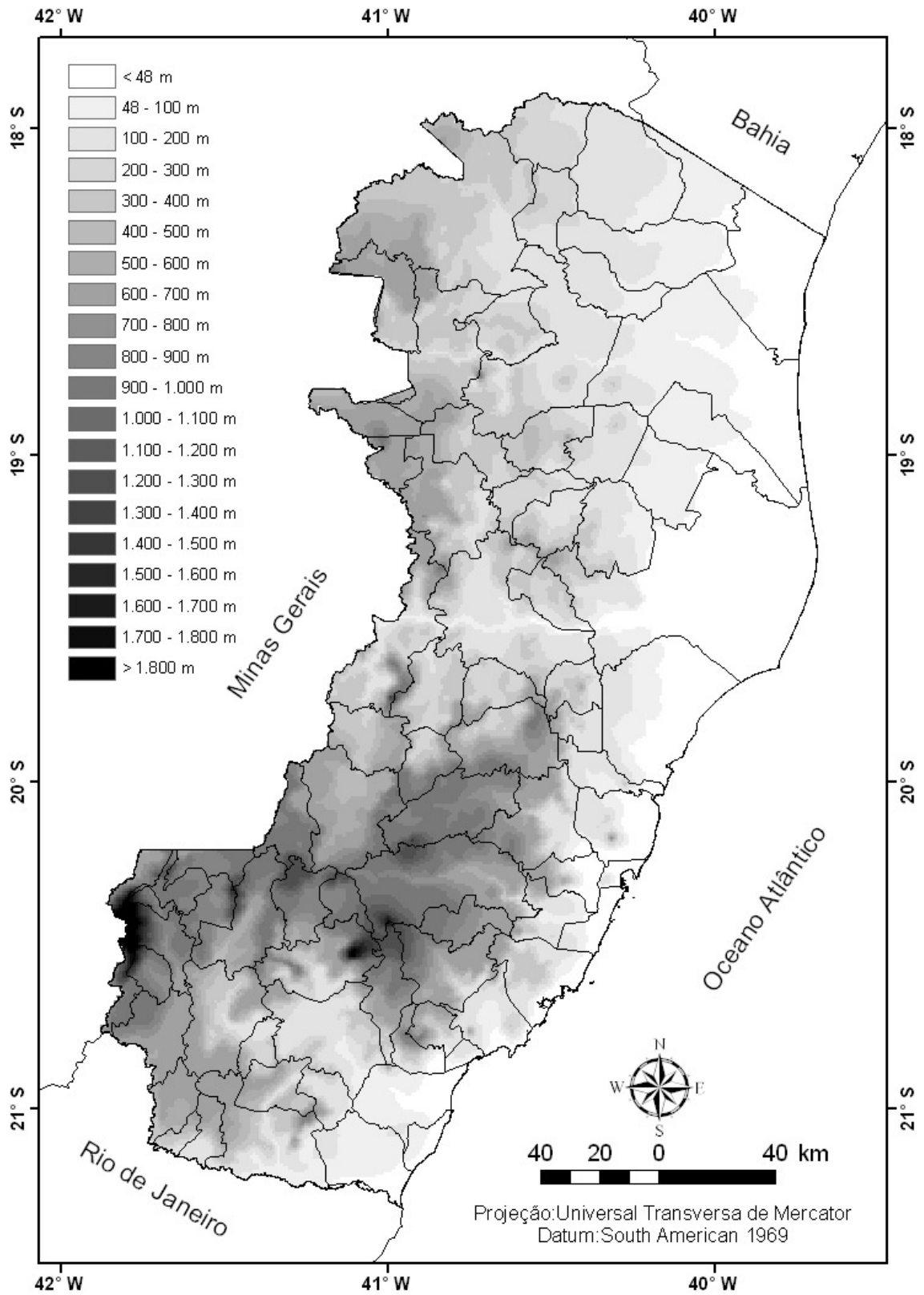


Figura 3 - Modelo digital de elevação (MDE) GTOPO 30 utilizado para espacializar as temperaturas mensal e anual.

3.3.2. Precipitação Mensal

Para a espacialização das precipitações mensais, avaliaram se os seguintes métodos de interpolação: Inverso de Potência da Distância, com as potências de 2 a 6; e a Krigagem ordinária utilizando os modelos linear, esférico, exponencial e gaussiano.

A verificação da acurácia dos interpoladores foi realizada por meio da metodologia de validação cruzada, descrita por Caruso & Quarta (1998) e Robinson & Metternicht (2006), em que, para a realização da interpolação, um posto especificado é extraído, assim é possível obter o valor estimado (E) do posto retirado e posteriormente compará-lo com o valor observado (O) da variável. Estes procedimentos de interpolação foram realizados separadamente para cada um dos 110 postos localizados na área de estudos.

A avaliação e seleção dos interpoladores foram feitas a partir do cálculo de índices estatísticos utilizando valores observados (O) e estimados (E) para as precipitações em cada um dos 110 postos. Os índices estatísticos calculados foram: raiz do erro médio quadrático, índice de confiança, índice de eficiência ajustado, erro médio absoluto e erro médio percentual.

A raiz do erro médio quadrático (REMQ), conforme Phillips et al. (1992), Addink & Stein, (1999) e Legates & McCabe Jr. (1999) encontra-se definido na equação 24. Segundo Robertson (1998) e Guimarães (2004) a utilização do (REMQ) na seleção do modelo é o preferido, por ser este mais sensível e mais robusto quando comparado somente com o coeficiente de determinação (R^2).

$$\text{REMQ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^J (O_i - E_i)^2}{J}} \quad (24)$$

Em que:

J = número de observações;

O = valor observado experimentalmente; e

E = valor estimado pelo método.

O índice de confiança (c), proposto por Camargo & Sentelhas (1997), permite analisar conjuntamente a precisão e a exatidão dos resultados (Tabela 5), sendo calculado pelo produto do coeficiente de correlação (r) e do índice de concordância (d) (equação 25), proposto por Willmott (1981).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^J (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^J (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (25)$$

Em que:

\bar{O} = média dos valores observados.

Tabela 5 - Análise de desempenho do modelo com base no índice de confiança
Fonte: Camargo & Sentelhas (1997)

Valor de c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

O índice de eficiência ajustado (E') é um importante índice que vem sendo bastante utilizados para a avaliação de vários modelos hidrológicos, alguns pesquisadores (WILCOX et al., 1990; RISSE et al., 1995; YU, 1999). Legates & McCabe Jr. (1999) definem que esse índice varia nos intervalos de $-\infty$ a 1, o critério de decisão desse índice indica melhor performance para valores mais próximos de 1 (Equação 26).

$$E' = 1 - \frac{\sum_{i=1}^J |O_i - E_i|}{\sum_{i=1}^J |O_i - \bar{O}|} \quad (26)$$

O erro médio absoluto (EMA) é definido pela Equação (27).

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^J |O_i - E_i|}{J} \quad (27)$$

Chong et al. (1982) utiliza o erro médio percentual (EMP), expresso pela Equação 28.

$$EMP = \frac{\sum_{i=1}^J \frac{|O_i - E_i|}{O_i}}{J} * 100 \quad (28)$$

Após a comparação do desempenho dos métodos de interpolação para as estimativas das precipitações mensais, utilizaram-se, para cada mês, os métodos com menores valores de REMQ e maiores valores de c para a espacialização das precipitações mensais. A espacialização dessas variáveis procedera-se com o conjunto de resultados obtidos na construção do semivariograma para o efeito pepita (C_0), alcance (a) e patamar ($C+C_0$).

3.4. ESPACIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO POR MEIO DE INTERPOLAÇÃO

Mediante os dados de temperatura e precipitação mensal para todas as localidades, foram realizados os cálculos do balanço hídrico conforme Thornthwaite e Mather (1955) de forma pontual para todos os 110 postos meteorológicos.

A capacidade de água disponível no solo (CAD) foi assumida de acordo com a característica física do solo de cada posto meteorológico, adotando critérios aproximados por Doorenbos & Kassam (1994), esses valores foram encontrados por meio de sobreposição de mapas (postos meteorológicos com mapa de solo), assumindo-se CADs de 90, 210 ou 300 mm conforme a Tabela 6.

Os parâmetros do balanço hídrico calculados foram evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e disponibilidade hídrica (ETP/ETR).

Para a espacialização dos elementos do balanço hídrico, avaliaram se os seguintes métodos de interpolação: Inverso de Potência da Distância, com

as potências de 2 a 6; e a Krigagem ordinária utilizando os modelos linear, esférico, exponencial e gaussiano.

A verificação da acurácia dos interpoladores foi realizada por meio da metodologia de validação cruzada, descrita por Caruso & Quarta (1998) e Robinson & Metternicht (2006), em que, para a realização da interpolação, um posto especificado é extraído, assim é possível obter o valor estimado (E) do posto retirado e posteriormente compará-lo com o valor observado (O) da variável. Estes procedimentos de interpolação foram realizados separadamente para cada um dos 110 postos localizados na área de estudos.

A avaliação e seleção dos interpoladores foram feitas a partir do cálculo de índices estatísticos utilizando valores observados (O) e estimados (E) para os elementos do balanço hídrico em cada um dos 110 postos, conforme descrito anteriormente nas equações de 24 a 28.

Tabela 6 - Localização geográfica dos postos meteorológicos com diferentes CADs

Estação	Coordenação	Municípios	Latitude	Longitude	CADs
1839000	ANA	Pedro Canário	-18,30	-39,96	90
1839001	ANA	Conceição da Barra	-18,56	-39,75	90
1839006	ANA	São Mateus	-18,95	-39,76	90
1840000	ANA	Águia Branca	-18,99	-40,75	90
1840003	ANA	São Mateus	-18,49	-40,09	90
1840004	ANA	Barra De São Francisco	-18,75	-40,89	90
1840007	ANA	Água Doce do Norte	-18,55	-40,98	90
1840008	ANA	Jaguareé	-18,98	-39,99	210
1840009	ANA	Ecoporanga	-18,12	-40,89	90
1840010	ANA	Nova Venécia	-18,81	-40,69	90
1840011	ANA	Ecoporanga	-18,19	-40,72	90
1840012	ANA	Montanha	-18,15	-40,14	210
1840013	ANA	Ecoporanga	-18,37	-40,84	90
1840015	ANA	Ecoporanga	-18,21	-40,60	90
1840016	ANA	Nova Venécia	-18,49	-40,46	90
1840017	ANA	Pinheiros	-18,32	-40,41	210
1840019	ANA	Nova Venécia	-18,70	-40,44	90
1840020	ANA	Boa Esperança	-18,56	-40,34	90
1841009	ANA	Mantenópolis	-18,91	-41,12	300
1841010	ANA	Água Doce do Norte	-18,41	-41,04	90
1939002	ANA	Linhares	-19,58	-39,79	90
1940000	ANA	Itarana	-19,87	-40,87	90

1940001	ANA	Santa Tereza	-19,81	-40,68	90
1940002	ANA	Aracruz	-19,96	-40,15	210
1940005	ANA	João Neiva	-19,69	-40,40	90
1940006	ANA	Colatina	-19,53	-40,62	90
1940007	ANA	Fundão	-19,94	-40,40	90
1940009	ANA	Pancas	-19,22	-40,85	90
1940010	ANA	Santa Tereza	-19,95	-40,55	300
1940012	ANA	Itaguaçu	-19,66	-40,84	90
1940013	ANA	Governador Lindemberg	-19,24	-40,59	90
1940016	ANA	São Domingos do Norte	-19,06	-40,52	90
1940020	ANA	Santa Tereza	-19,96	-40,74	300
1940021	ANA	Aracruz	-19,83	-40,27	210
1940022	ANA	Aracruz	-19,59	-40,20	210
1940023	ANA	Rio Bananal	-19,27	-40,32	90
1940025	ANA	Governador Lindemberg	-19,30	-40,52	210
1941003	ANA	Baixo Guandu	-19,52	-41,01	300
1941008	ANA	Laranja da Terra	-19,90	-41,06	210
1941009	ANA	Baixo Guandu	-19,69	-41,02	300
1941012	ANA	Alto Rio Novo	-19,06	-41,03	90
2040001	ANA	Viana	-20,42	-40,49	210
2040003	ANA	Serra	-20,19	-40,32	300
2040004	ANA	Guarapari	-20,65	-40,51	210
2040005	ANA	Iconha	-20,78	-40,83	300
2040006	ANA	Itapemirim	-20,95	-40,95	90
2040007	ANA	Santa Maria de Jetibá	-20,03	-40,74	300
2040008	ANA	Santa Maria de Jetibá	-20,14	-40,98	90
2040009	ANA	Anchieta	-20,80	-40,66	300
2040010	ANA	Santa Leopoldina	-20,10	-40,53	300
2040011	ANA	Alfredo Chaves	-20,56	-40,81	90
2040012	ANA	Marechal Floriano	-20,41	-40,68	90
2040013	ANA	Rio Novo do Sul	-20,88	-40,94	90
2040014	ANA	Cariacica	-20,26	-40,48	300
2040015	ANA	Domingos Martins	-20,28	-40,78	90
2040017	ANA	Iconha	-20,73	-40,88	300
2040018	ANA	Santa Maria de Jetibá	-20,08	-40,61	300
2040022	ANA	Vila Velha	-20,52	-40,36	300
2040023	ANA	Domingos Martins	-20,30	-40,93	90
2041000	ANA	Átilio Vivacqua	-20,91	-41,20	90
2041001	ANA	Guaçui	-20,77	-41,68	90
2041002	ANA	Castelo	-20,61	-41,20	210
2041003	ANA	Alegre	-20,75	-41,47	90
2041010	ANA	Vargem Alta	-20,70	-41,02	300
2041011	ANA	Conceição do Castelo	-20,35	-41,24	90
2041013	ANA	Íluna	-20,35	-41,54	210

2041014	ANA	Dores do Rio Preto	-20,69	-41,85	300
2041015	ANA	Muqui	-20,94	-41,40	210
2041016	ANA	Ibitirama	-20,54	-41,67	300
2041017	ANA	Irupi	-20,32	-41,70	300
2041018	ANA	Muniz Freire	-20,37	-41,41	210
2041019	ANA	Muniz Freire	-20,53	-41,51	210
2041020	ANA	Domingos Martins	-20,37	-41,06	90
2041021	ANA	Cachoeiro de Itapemirim	-20,68	-41,35	90
2041023	ANA	Afonso Cláudio	-20,08	-41,12	90
2140000	ANA	Itapemirim	-21,01	-40,84	210
2141014	ANA	Mimoso do Sul	-21,21	-41,46	300
2141015	ANA	Mimoso do Sul	-21,06	-41,36	90
2141016	ANA	São José do Calçado	-21,04	-41,65	210
2141017	ANA	Mimoso do Sul	-21,06	-41,24	300
-	INCAPER	Alegre	-20,75	-41,48	210
-	INCAPER	Alfredo Chaves	-20,63	-40,73	90
-	INCAPER	Domingos Martins	-20,38	-41,05	90
-	INCAPER	Ecoporanga	-18,37	-40,83	90
-	INCAPER	Faz. Exp.Venda Nova	-20,38	-41,19	90
-	INCAPER	Itarana	-19,87	-40,88	90
-	INMET	Linhares	-19,40	-40,07	210
-	INCAPER	Marilândia	-19,41	-40,54	90
-	INCAPER	Muniz Freire	-20,47	-41,42	90
-	INCAPER	Santa Tereza	-19,91	-40,56	300
-	INCAPER	São Gabriel da Palha	-18,99	-40,53	210
-	INCAPER	São João de Petrópolis	-19,80	-40,68	90
-	INMET	São Mateus	-18,70	-39,83	300
-	INMET	Vitória	-20,30	-40,32	210
MG_1740000	ANA	Carlos Chagas (MG)	-17,70	-40,76	300
MG_1740001	ANA	Nanuque (MG)	-17,84	-40,38	300
MG_01841006	ANA	Mantena (MG)	-18,68	-41,20	300
MG_01841007	ANA	Ataléia (MG)	-18,20	-41,25	300
MG_01841008	ANA	Ataléia (MG)	-18,05	-41,11	300
MG_01841018	ANA	Central de Minas (MG)	-18,76	-41,31	300
MG_01941004	ANA	Resplendor (MG)	-19,34	-41,25	300
MG_01941010	ANA	Aimóres (MG)	-19,49	-41,16	300
MG_01941019	ANA	Mutum (MG)	-19,81	-41,44	300
MG_02041005	ANA	Caiana (MG)	-20,69	-41,92	300
MG_02041008	ANA	Manhuaçu (MG)	-20,11	-41,73	300
MG_02041048	ANA	Manhuaçu (MG)	-20,18	-41,96	300
RJ_02041046	ANA	Natividade (RJ)	-20,93	-41,85	300
RJ_02141001	ANA	São João da Barra (RJ)	-21,48	-41,10	300
RJ_02141003	ANA	Campos dos Goyt. (RJ)	-21,49	-41,61	300
BA_01739006	ANA	Nova Viçosa (BA)	-17,81	-39,66	300

3.5. METODOLOGIA DE ESPACIALIZAÇÃO PROPOSTA PARA ELABORAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO

Devido à maioria dos interpoladores apresentarem baixos índices estatísticos e não possuírem acurácia suficiente para serem aplicadas na distribuição espacial dos elementos do BHC (evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, excedente hídrico, déficit hídrico e disponibilidade hídrica), foi desenvolvido uma metodologia para calcular e espacializar os elementos do BHC a partir de mapas dos elementos do clima em ambiente MATLAB®.

O MATLAB® possui um sistema que compreende uma linguagem de programação e um ambiente de cálculos que utiliza matrizes de dimensões livres. Desta forma foi possível criar uma metodologia de cálculo do BHC baseado no método desenvolvido Thornthwaite e Mather (1955), tendo como dados de entrada: mapas de temperatura mensal, precipitação mensal, mapa de solos (diferentes CADs) e latitude.

Nessa metodologia foi acrescentado o método de Thornthwaite (1948) para cálculo da evapotranspiração potencial (ETP), baseado apenas na temperatura média do ar e nas coordenadas geográficas do local.

A capacidade de água disponível (CAD) foi determinada de acordo com as propriedades físicas e com a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura em estudo. As propriedades físicas dependem da textura do solo, na impossibilidade de obter esses dados para todo o estado, utilizou se critérios aproximados adotados por Doorenbos & Kassam (1994):

- Solos de textura pesada: 200 mm/m;
- Solos de textura média: 140 mm/m;
- Solos de textura grossa: 60 mm/m.

O valor médio da profundidade efetiva do sistema radicular (Z) foi determinado segundo Alfonsi et al (1990) com $Z=1500$ mm para essências florestais. De posse desses parâmetros pode se então determinar a CAD (Tabela 7) para as 3 texturas de solos por meio da multiplicação das texturas pelo valor de Z.

Tabela 7 - Capacidade de água disponível para textura de solos

Textura	CAD
Pesada	300 mm
Média	210 mm
Grossa	90 mm

Foi gerado um mapa de CAD (Figura 4b) na área em estudo utilizando a carta de classes de solos (Figura 4a) produzida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1981). Tomou-se CAD igual a 90 mm para os Neossolos Quartzarênico, Latossolos, Espodosolos e Neossolos Flúvico, considerados como solos com baixa capacidade de retenção (textura grossa), a CAD de 210 mm para os Neossolos Litólicos e Argissolo (textura média), e 300 mm para Cambissolos, Gleissolo e Chernossolo (ATLAS, 2008).

Os parâmetros do balanço hídrico calculados foram evapotranspiração potencial (ETP) evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e a disponibilidade hídrica (ETR/ETP), conforme fluxograma mostrado na Figura 5.

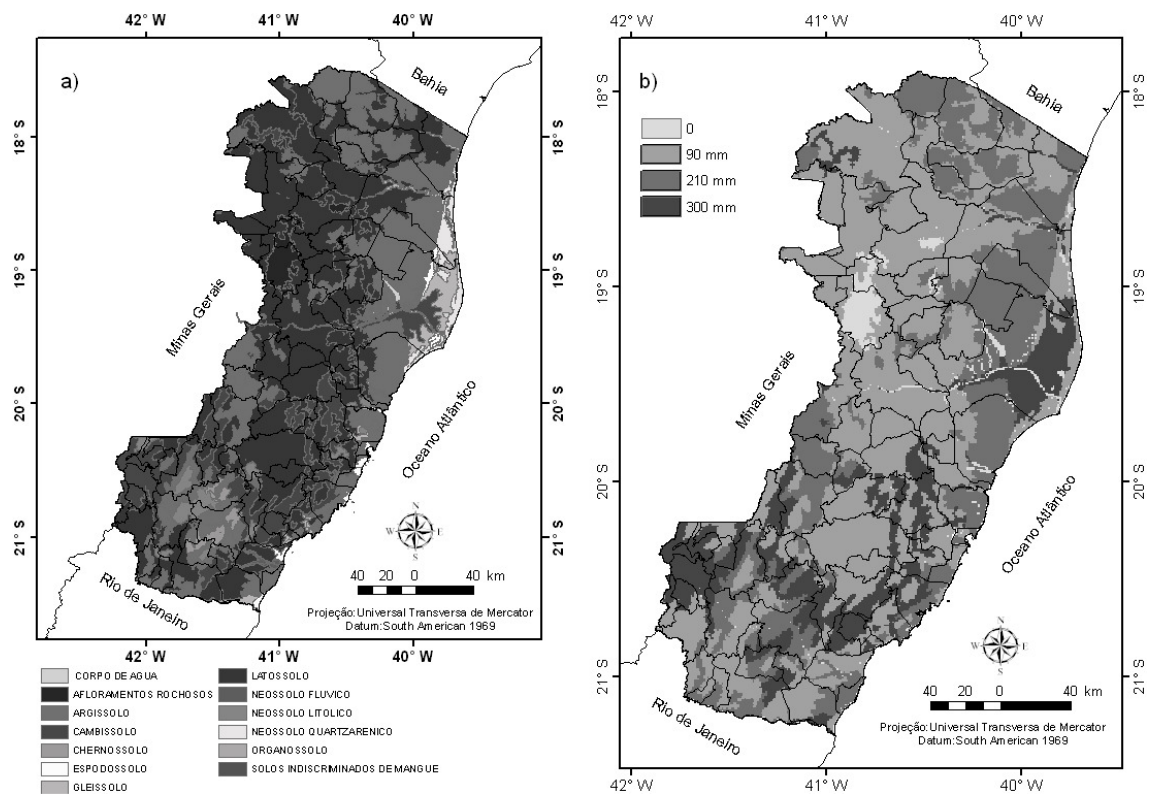


Figura 4 - Classe de solos e CAD no estado do Espírito Santo.

3.6. AVALIAÇÃO DA ESPACIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO

Para os elementos do balanço hídrico, avaliou e comparou a espacialização feita por meio da metodologia de espacialização proposta (MEP) com aquela feita por meio de interpoladores espaciais propostos (IEP).

A verificação da acurácia da MEP foi realizada com dados observados (O) derivados de dados reais de precipitações e temperaturas mensais de 14 postos meteorológicos (Tabela 8). Os elementos do balanço hídrico estimado (E) foram gerados a partir da mesma localização dos dados observados (O), com precipitações e temperaturas mensais estimados por meio de interpolação e equações de regressão de Castro (2008). Assim foi possível obter o valor estimado (E) e observado (O) com a mesma CAD para cada posto.

A avaliação da MEP foi realizada a partir do cálculo de índices estatísticos (equação 24 a 28) utilizando valores observados (O) e estimados (E) para as variáveis, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, déficit hídrico, excedente hídrico e ETP/ETR. Estes procedimentos foram realizados separadamente para cada um dos 14 postos da MEP e posteriormente comparados com os índices estatísticos gerados a partir dos mesmo 14 postos para a IEP.

Tabela 8 - Estações meteorológicas de temperatura e precipitação

Responsável	Município	Altitude	Latitude	Longitude
INCAPER	Alegre	138	-20,75	-41,48
INCAPER	Alfredo Chaves	35	-20,63	-40,73
INCAPER	Domingos Martins	950	-20,38	-41,05
INCAPER	Ecoporanga	250	-18,37	-40,83
INCAPER	Faz. Exp. Venda Nova	727	-20,38	-41,19
INCAPER	Itarana	245	-19,87	-40,88
INMET	Linhares	28	-19,40	-40,07
INCAPER	Marilândia	104	-19,41	-40,54
INCAPER	Muniz Freire	575	-20,47	-41,42
INCAPER	Santa Tereza	648	-19,91	-40,56
INCAPER	São Gabriel da Palha	120	-18,99	-40,53
INCAPER	São João de Petrópolis	150	-19,8	-40,68
INMET	São Mateus	25	-18,70	-39,83
INMET	Vitória	36	-20,3	-40,32

3.7. ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO PARA A CULTURA DA SERINGUEIRA

Considerando as exigências climáticas da seringueira (*hevea brasiliensi*) e do fungo (*Microcyclus ulei*), foram adotados os fatores térmicos, na execução do zoneamento, temperatura média do ar anual (Ta) e temperatura média do mês mais frio (Tf); e para o fator hídrico, deficiência hídrica anual (Da).

Os fatores térmicos e hídricos exigidos para desenvolvimento da cultura foram classificados de acordo com base em estudos desenvolvidos por Pilau et.al., (2007) na região Sudeste e Centro-Oeste, dividindo-se em 4 classes de aptidão: (A) apta, (B) restrita, (C) restrita e (D) inapta, como segue a Tabela 9:

Tabela 9 - Exigências climáticas para a cultura da seringueira

Classe	Aptidão	Descrição
A	Apta	Ta > 18°C; Tf ≥ 15°C e ≤ 21°C; Da ≥ 20 mm e ≤ 200 mm. Condições climáticas adequadas à seringueira e impróprias a esporulação do <i>Microcyclus ulei</i> .
B	Restrita por excesso de umidade	Ta > 18°C; Tf ≥ 15°C e ≤ 21°C; Da < 20 mm. Boa condição climática à cultura, porém pelo excesso de umidade a probabilidade de incidência do “mal-das-folhas” é acentuada.
C	Restrita por excesso térmico	Tf ≥ 21°C; Da ≥ 20 mm e ≤ 200 mm. Condição térmica favorável a esporulação do <i>Microcyclus ulei</i> , com alta produção de inóculo.
D	Marginal (quente e seco)	Tf ≥ 21°C; Da > a 200 mm. Deficiência hídrica desfavorável à produção de látex e temperatura ideal para a esporulação do <i>Microcyclus ulei</i> .
E	Inapta	Ta ≤ 18°C; Tf ≤ 15°C. Impróprio ao cultivo por carência térmica e probabilidade de ocorrência de geadas. Áreas ocupadas por Neossolo Quartzarenio, Neossolos Litólicos, Espodossolos e Afloramentos Rochosos, além de áreas ocupadas por corpos de água e mangues.

Fonte: adaptado de Pilau et.al. (2007).

O zoneamento edafoclimático foi baseado na sobreposição de mapas que caracterizam a aptidão térmica, hídrica e edáfica favoráveis ao

desenvolvimento da cultura da seringueira para o estado do Espírito Santo. O esquema de todas as operações envolvidas no processo de manipulação e execução das etapas que culminaram no mapa final do zoneamento é mostrado na Figura 5.

Primeiramente com as imagens digitais de altitude, latitude, longitude e os coeficientes das equações de regressão ajustadas por Castro (2008) (Tabela 1), obtiveram-se os mapas digitais da espacialização das temperaturas média anual e do mês mais frio. De posse dos mapas, procedeu-se reclassificação dos mesmos considerando as faixas de aptidão conforme os índices térmicos estabelecidos para a cultura.

Com o mapa de deficiência hídrica do solo, obtidas por meio do melhor método de espacialização, procedeu a sua reclassificação considerando às faixas de aptidão hídricas estabelecidas para a cultura.

No mapa de classe de solo foram reclassificados como áreas restritas os temas, Neossolo Quartzarênico, Neossolos Litólicos, Espodossolos, Afloramentos Rochosos, além de áreas ocupadas por corpos de água e mangues.

A aptidão edafoclimática para a cultura da seringueira foi obtido através do cruzamento dos mapas reclassificado de temperatura média anual, temperatura mês mais frio, deficiência hídrica anual e classe de solos, gerando dessa forma as cinco classes de aptidão edafoclimática.

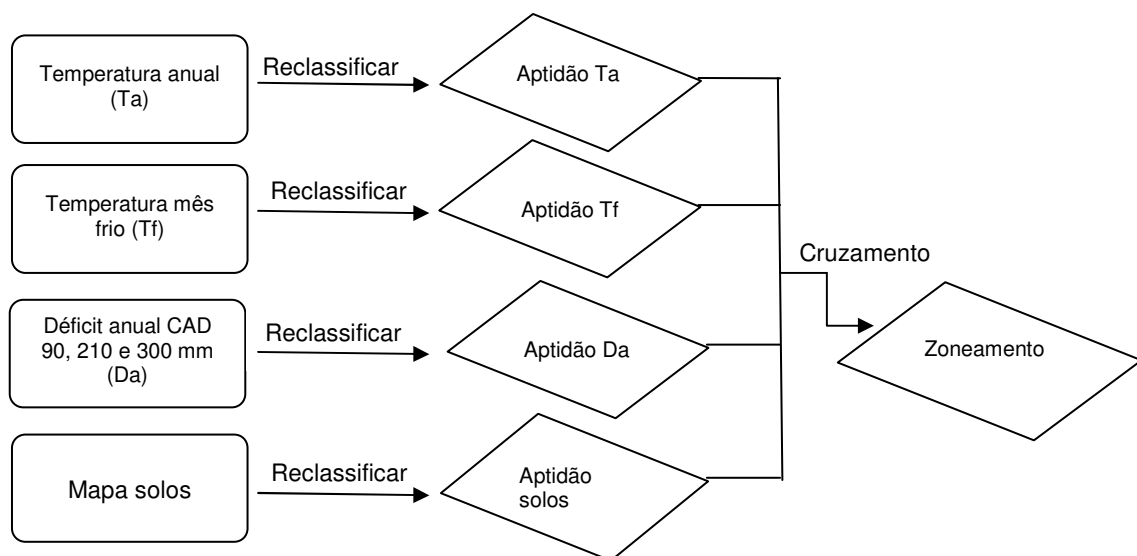


Figura 5 - Fluxograma das etapas necessárias para a realização do zoneamento edafoclimático.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. UTILIZAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO DO PROJETO GTOPO30 PARA A ESPACIALIZAÇÃO DAS TEMPERATURAS MENSAIS E ANUAL

As Figuras 6, 7 e 8 mostram a espacialização da temperatura média anual, mês mais frio e temperatura mensal do ar para todo o estado.

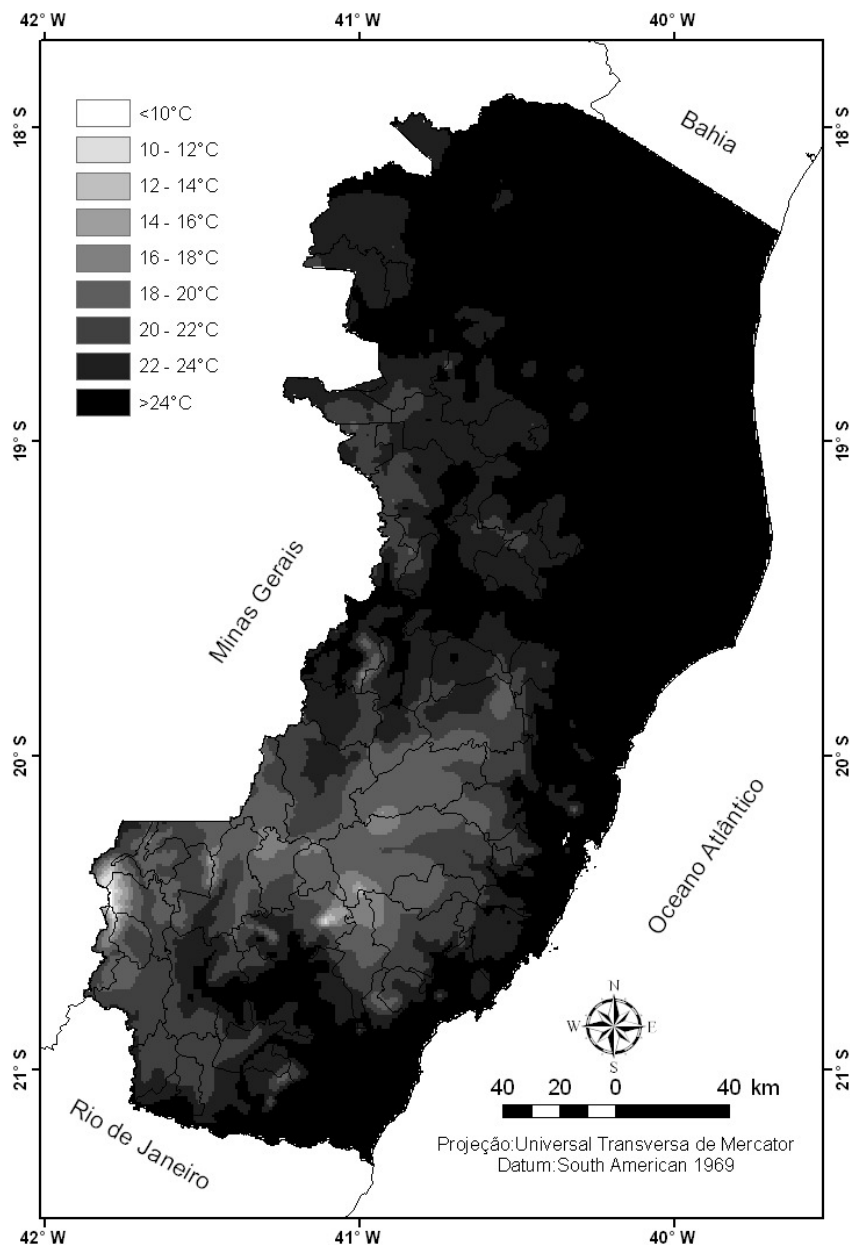


Figura 6 - Espacialização da temperatura média anual (T_a) para o estado do Espírito Santo com dados GTOPO 30, utilizando as equações de regressão desenvolvida por Castro (2008).

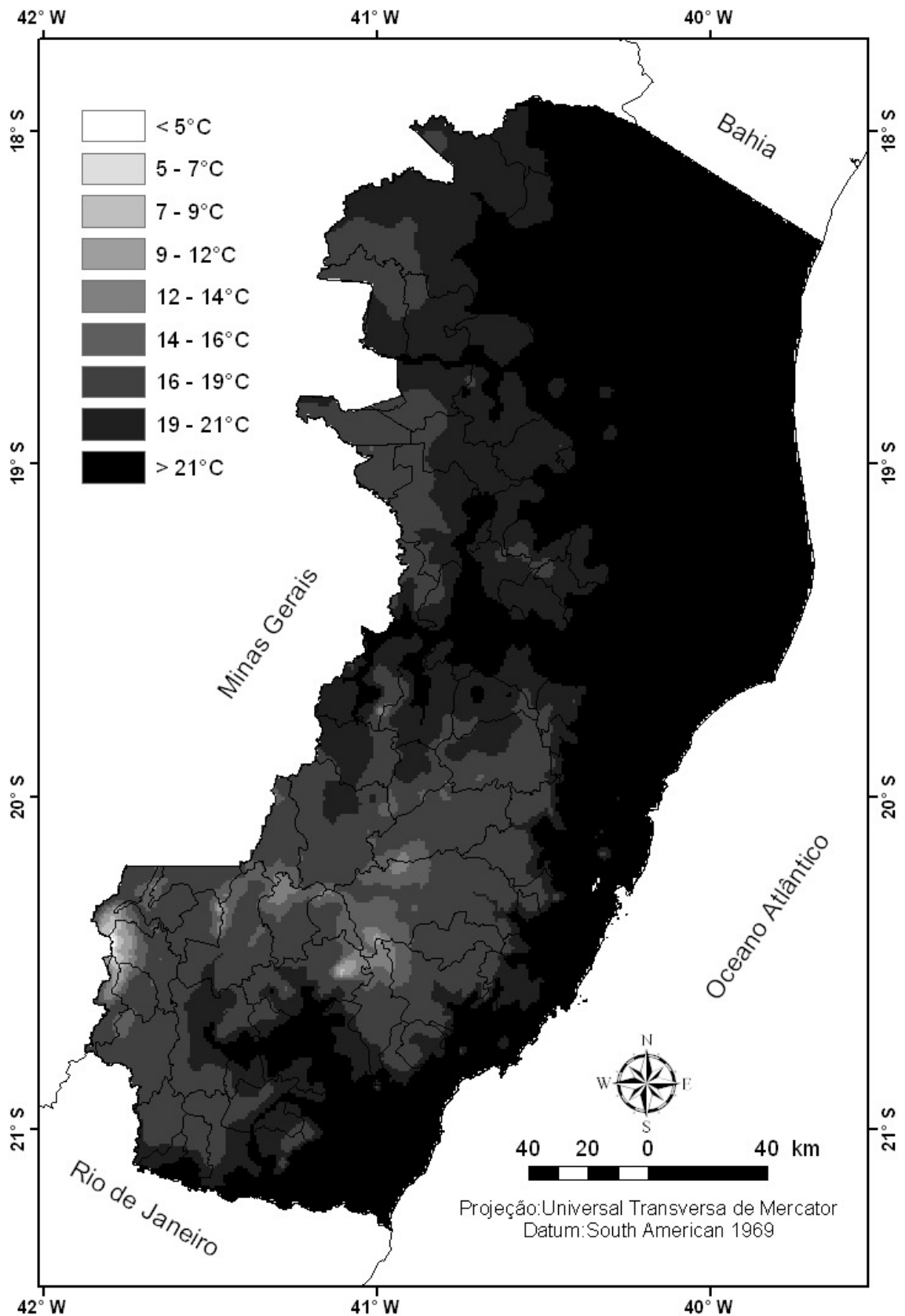


Figura 7 - Espacialização da temperatura média dos meses mais frios (T_f) (junho e julho) para o estado do Espírito Santo com dados GTOPO 30, utilizando a equação de regressão desenvolvida por Castro (2008).

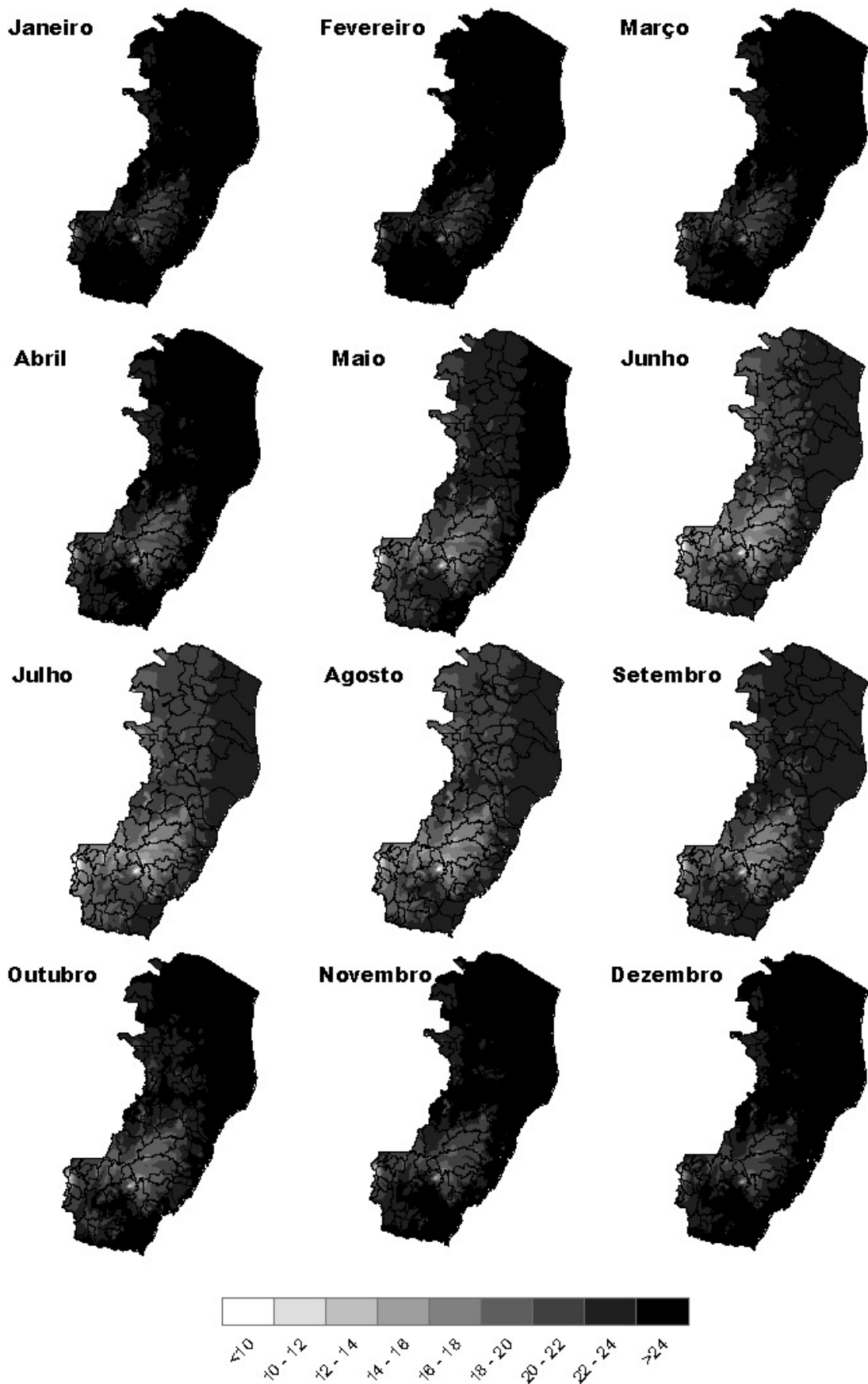


Figura 8 - Espacialização das temperaturas médias mensais (C°) utilizadas no balanço hídrico climatológico para Estado do Espírito Santo.

Convém ressaltar que não se utilizaram as técnicas de interpolações para a espacialização das temperaturas do ar, pelo fato destas técnicas não apresentarem estimativas satisfatórias e pela não consideração da altitude do terreno. Diversos pesquisadores (Sediyama et al., 2002; Pezzopane et al., 2004; Medeiros et al., 2005, Valadares et al., 2005, Castro et al., 2008, Cargnellut Filho et. al., 2008, Antonini et. al., 2009 e Bennie et. al., 2010) demonstram a importância de se considerar o fator geográfico na estimativa das temperaturas do ar.

Os mapas de temperaturas do ar mostram similaridade com os obtidos por Castro (2008), todavia vale ressaltar que esses mapas foram gerados com dados de altitude do projeto GTOPO 30, que auxiliaram no rápido processo da espacialização, porém com perda no nível de detalhe pela resolução espacial de 1 km.

4.2. ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL

Nas Tabelas de 10 a 21 apresentam-se, os índices estatísticos calculados para a avaliação do melhor método de interpolação da variável precipitação mensal. O modelo krigagem linear demonstrou-se mais eficiente para a estimativa das precipitações mensais no estado do Espírito Santo, exceto para os meses de junho, novembro e dezembro que apresentaram a krigagem exponencial e esférico respectivamente.

Os melhores métodos de interpolação mostram variação de E' de 0,5 a 0,9, indicando melhor desempenho dos modelos segundo LEGATES & McCABE JR., 1999.

O destaque desses resultados encontra-se nos meses mais secos (junho a setembro), apresentaram os maiores valores de E' (0,82 a 0,9), esses resultados podem ser advindos de uma distribuição de chuva mais uniforme para todo o Estado.

O desempenho dos índices de concordância foi considerado de “bom” a “ótimo” conforme Camargo & Sentelhas (1997), exceto para o mês de novembro que apresentou um desempenho “sofrível”.

Os resultados encontrados nesse trabalho evidenciam a forma como a precipitação anual tem sido espacialização conforme trabalho de Castro (2008) para o estado do Espírito Santo, demonstrando que os índices estatísticos calculados de forma mensal apresentaram uma maior acurácia quando comparados com a precipitação anual.

Tabela 10 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Janeiro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Janeiro											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	0,70	19,99	0,89	0,75	Bom	0,69	14,74	8,83	174,99	0,54	1357,13
Esférico	0,64	21,78	0,88	0,70	Bom	0,63	15,41	9,21	206,09	0,73	1088,64
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,73	18,69	0,91	0,78	Muito bom	0,73	13,86	8,09	285,57	1,00	1381,87
IPD 1	0,54	24,94	0,83	0,61	Mediano	0,51	19,15	11,39	-	-	-
IPD 2	0,53	25,26	0,83	0,61	Mediano	0,50	19,21	11,42	-	-	-
IPD 3	0,52	25,76	0,83	0,60	Sofrível	0,48	19,79	11,73	-	-	-
IPD 4	0,50	26,36	0,82	0,58	Sofrível	0,45	20,35	12,05	-	-	-
IPD 5	0,49	26,89	0,82	0,57	Sofrível	0,43	20,87	12,34	-	-	-
IPD 6	0,48	27,42	0,81	0,56	Sofrível	0,41	21,43	12,64	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 11 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Fevereiro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Fevereiro											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico	0,60	12,43	0,87	0,68	Bom	0,60	10,00	10,04	44,51	363,13	407,65
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,68	11,07	0,90	0,74	Bom	0,68	8,82	8,67	108,66	1,00	497,46
IPD 1	0,51	14,12	0,82	0,58	Sofrível	0,48	11,62	12,11	-	-	-
IPD 2	0,48	14,61	0,81	0,56	Sofrível	0,44	11,84	12,23	-	-	-
IPD 3	0,44	15,02	0,79	0,53	Sofrível	0,41	12,04	12,53	-	-	-
IPD 4	0,43	15,44	0,79	0,52	Sofrível	0,38	12,41	12,83	-	-	-
IPD 5	0,41	15,88	0,79	0,50	Mau	0,34	12,69	13,07	-	-	-
IPD 6	0,39	16,27	0,78	0,49	Mau	0,31	12,93	13,29	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de

confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 12 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Março para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Março											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico	0,57	17,30	0,85	0,64	Mediano	0,56	13,57	9,88	178,72	0,73	741,91
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,60	16,51	0,87	0,67	Bom	0,60	12,83	9,11	282,68	1,00	876,79
IPD 1	0,31	23,20	0,71	0,39	Péssimo	0,27	17,17	12,61	-	-	-
IPD 2	0,30	23,62	0,71	0,39	Péssimo	0,24	17,62	12,83	-	-	-
IPD 3	0,29	23,98	0,71	0,38	Péssimo	0,22	18,09	13,13	-	-	-
IPD 4	0,27	24,40	0,70	0,37	Péssimo	0,19	18,55	13,44	-	-	-
IPD 5	0,25	24,80	0,69	0,35	Péssimo	0,17	18,88	13,72	-	-	-
IPD 6	0,25	25,16	0,69	0,34	Péssimo	0,14	19,24	13,95	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 13 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Abril para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Abril											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico	0,76	13,24	0,93	0,81	Muito bom	0,76	9,73	11,51	24,69	0,73	690,08
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,77	12,60	0,93	0,82	Muito bom	0,77	9,10	10,74	127,04	1,00	869,52
IPD 1	0,57	17,83	0,86	0,65	Mediano	0,56	12,36	14,73	-	-	-
IPD 2	0,57	18,01	0,86	0,64	Mediano	0,55	12,41	14,72	-	-	-
IPD 3	0,57	18,08	0,86	0,65	Mediano	0,55	12,82	15,11	-	-	-
IPD 4	0,57	18,19	0,86	0,65	Mediano	0,54	13,07	15,34	-	-	-
IPD 5	0,57	18,32	0,86	0,65	Mediano	0,54	13,30	15,50	-	-	-
IPD 6	0,57	18,48	0,86	0,65	Mediano	0,53	13,47	15,63	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 14 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Maio para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Maio											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	0,69	8,06	0,91	0,75	Bom	0,69	5,79	11,86	4,34	0,46	236,95
Esférico	0,64	8,89	0,89	0,71	Bom	0,63	6,47	13,17	11,63	0,73	198,56
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,74	7,45	0,92	0,79	Muito bom	0,74	5,51	11,34	35,96	1,00	253,32
IPD 1	0,59	9,92	0,86	0,66	Bom	0,59	6,65	13,62	-	-	-
IPD 2	0,58	10,05	0,85	0,65	Mediano	0,57	6,83	13,92	-	-	-
IPD 3	0,57	10,18	0,86	0,65	Mediano	0,56	6,86	13,86	-	-	-
IPD 4	0,56	10,36	0,86	0,64	Mediano	0,55	7,00	14,01	-	-	-
IPD 5	0,55	10,54	0,85	0,63	Mediano	0,53	7,17	14,30	-	-	-
IPD 6	0,54	10,70	0,85	0,63	Mediano	0,52	7,32	14,56	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 15 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Junho para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Junho											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial*	0,89	4,55	0,97	0,91	Ótimo	0,89	3,42	11,97	0,00	0,49	219,11
Esférico	0,83	5,86	0,95	0,87	Ótimo	0,83	4,32	15,13	0,00	0,48	182,66
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear	0,87	5,17	0,96	0,90	Ótimo	0,87	3,74	12,63	12,27	1,00	242,66
IPD 1	0,69	8,29	0,89	0,74	Bom	0,68	5,49	18,58	-	-	-
IPD 2	0,67	8,49	0,89	0,72	Bom	0,67	5,63	18,71	-	-	-
IPD 3	0,65	8,66	0,88	0,71	Bom	0,65	5,77	18,83	-	-	-
IPD 4	0,64	8,85	0,88	0,70	Bom	0,64	5,96	19,11	-	-	-
IPD 5	0,62	9,03	0,88	0,69	Bom	0,62	6,13	19,50	-	-	-
IPD 6	0,61	9,18	0,88	0,68	Bom	0,61	6,29	19,99	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 16 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Julho para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Julho											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico	0,84	8,00	0,96	0,88	Ótimo	0,83	6,12	19,79	0,00	0,73	408,51
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,90	6,03	0,97	0,93	Ótimo	0,90	4,70	14,57	54,17	1,00	523,03
IPD 1	0,71	11,05	0,90	0,76	Muito bom	0,71	7,86	26,04	-	-	-
IPD 2	0,69	11,37	0,90	0,75	Bom	0,69	7,99	26,17	-	-	-
IPD 3	0,68	11,61	0,90	0,74	Bom	0,68	8,08	26,04	-	-	-
IPD 4	0,66	11,91	0,89	0,73	Bom	0,66	8,22	25,92	-	-	-
IPD 5	0,65	12,19	0,89	0,72	Bom	0,64	8,36	26,03	-	-	-
IPD 6	0,64	12,40	0,89	0,71	Bom	0,63	8,51	26,25	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 17 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Agosto para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Agosto											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico	0,82	6,49	0,95	0,86	Ótimo	0,79	5,15	15,45	45,49	0,73	243,90
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,85	5,56	0,96	0,88	Ótimo	0,85	4,26	12,50	77,67	1,00	295,79
IPD 1	0,59	9,98	0,87	0,66	Bom	0,57	6,99	20,74	-	-	-
IPD 2	0,55	10,36	0,85	0,63	Mediano	0,54	7,19	21,06	-	-	-
IPD 3	0,54	10,59	0,85	0,63	Mediano	0,52	7,21	20,76	-	-	-
IPD 4	0,53	10,88	0,85	0,62	Mediano	0,49	7,33	20,84	-	-	-
IPD 5	0,52	11,12	0,85	0,61	Mediano	0,47	7,47	21,06	-	-	-
IPD 6	0,51	11,29	0,84	0,60	Sofrível	0,45	7,57	21,28	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 18 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Setembro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Setembro											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico	0,82	9,77	0,95	0,86	Ótimo	0,81	7,47	13,02	82,57	0,73	502,61
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,82	9,54	0,95	0,86	Ótimo	0,82	7,29	12,03	154,92	1,00	608,30
IPD 1	0,67	13,36	0,90	0,74	Bom	0,67	9,92	17,97	-	-	-
IPD 2	0,67	13,54	0,90	0,74	Bom	0,66	10,01	17,93	-	-	-
IPD 3	0,66	13,57	0,90	0,73	Bom	0,66	10,07	17,96	-	-	-
IPD 4	0,66	13,91	0,90	0,73	Bom	0,64	10,24	17,97	-	-	-
IPD 5	0,65	14,31	0,90	0,72	Bom	0,62	10,47	18,06	-	-	-
IPD 6	0,64	14,65	0,89	0,72	Bom	0,60	10,66	18,23	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 19 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Outubro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Outubro											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	0,56	12,70	0,85	0,63	Mediano	0,55	9,47	9,36	115,26	0,42	367,15
Esférico*	0,60	12,12	0,87	0,67	Bom	0,59	9,10	9,12	126,97	0,73	331,87
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear	0,57	12,63	0,86	0,65	Mediano	0,56	9,45	9,43	158,05	1,00	387,54
IPD 1	0,44	14,84	0,79	0,52	Sofrível	0,40	11,74	11,80	-	-	-
IPD 2	0,43	14,98	0,79	0,52	Sofrível	0,39	11,84	11,86	-	-	-
IPD 3	0,41	15,17	0,78	0,50	Mau	0,37	11,96	11,96	-	-	-
IPD 4	0,41	15,46	0,79	0,50	Mau	0,35	12,24	12,17	-	-	-
IPD 5	0,41	15,76	0,79	0,51	Sofrível	0,32	12,53	12,39	-	-	-
IPD 6	0,40	16,01	0,79	0,50	Mau	0,30	12,74	12,55	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 20 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Novembro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Novembro											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico*	0,50	18,83	0,82	0,58	Sofrível	0,50	15,08	7,78	459,83	0,73	623,19
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear	0,49	19,10	0,82	0,57	Sofrível	0,48	15,33	7,83	487,95	1,00	664,29
IPD 1	0,26	24,10	0,69	0,35	Péssimo	0,17	18,26	9,50	-	-	-
IPD 2	0,24	24,91	0,68	0,34	Péssimo	0,12	18,90	9,80	-	-	-
IPD 3	0,23	25,47	0,68	0,33	Péssimo	0,08	19,43	10,06	-	-	-
IPD 4	0,22	25,97	0,67	0,32	Péssimo	0,04	19,96	10,32	-	-	-
IPD 5	0,22	26,40	0,67	0,31	Péssimo	0,01	20,47	10,57	-	-	-
IPD 6	0,21	26,75	0,66	0,30	Péssimo	-0,02	20,87	10,76	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Tabela 21 - Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da precipitação de Dezembro para o estado do Espírito Santo e os valores do semivariograma experimental para a espacialização

Dezembro											
Modelos	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP	C ₀	a	C ₀ +C
Exponencial	0,57	23,71	0,84	0,64	Mediano	0,57	17,97	8,45	422,07	0,53	1374,10
Esférico	0,56	24,23	0,85	0,63	Mediano	0,56	17,86	8,38	449,50	0,73	1158,7
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,61	22,71	0,87	0,68	Bom	0,61	17,25	7,96	519,12	1,00	1388,76
IPD 1	0,26	32,98	0,65	0,33	Péssimo	0,24	25,56	12,04	-	-	-
IPD 2	0,24	33,80	0,66	0,33	Péssimo	0,20	25,90	12,09	-	-	-
IPD 3	0,24	34,36	0,68	0,33	Péssimo	0,17	25,96	12,06	-	-	-
IPD 4	0,24	34,93	0,69	0,34	Péssimo	0,15	26,22	12,14	-	-	-
IPD 5	0,24	35,44	0,69	0,34	Péssimo	0,12	26,45	12,21	-	-	-
IPD 6	0,23	35,88	0,69	0,34	Péssimo	0,10	26,76	12,32	-	-	-

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

C₀ - efeito pepita; C+C₀ - patamar e a – alcance (distâncias em graus).

Baú et al., 2006 e Siqueira et al., 2003, analisando os modelos de interpolação espacial para a variável precipitação mensal, constataram a superioridade do método da krigagem quando comparado com os

interpoladores inverso do quadrado da distância, corroborando com o trabalho desenvolvido aqui.

A Figura 9 apresenta os mapas da espacialização da precipitação mensal, para o estado do Espírito Santo, obtidos a partir dos modelos selecionados, com os parâmetros do semivariograma C_0 , $C+C_0$ e a , apresentados nas de Tabela 10 a 21.

Os mapas (Figura 10) mostram a variabilidade espacial e temporal da precipitação mensal no estado. As regiões Serrana e Serra do Caparaó apresentaram as maiores precipitações médias mensais para janeiro, novembro e dezembro, variando de 120 a 280 mm/mês.

Os altos valores da precipitação para essas regiões justificam se por essas porções se encontrarem nas partes mais elevada do estado, com a entrada de massa de ar quente de origem marítima essas região ficam sendo influenciada fortemente pela orografia (montanhas) dessas regiões (Roe, 2005).

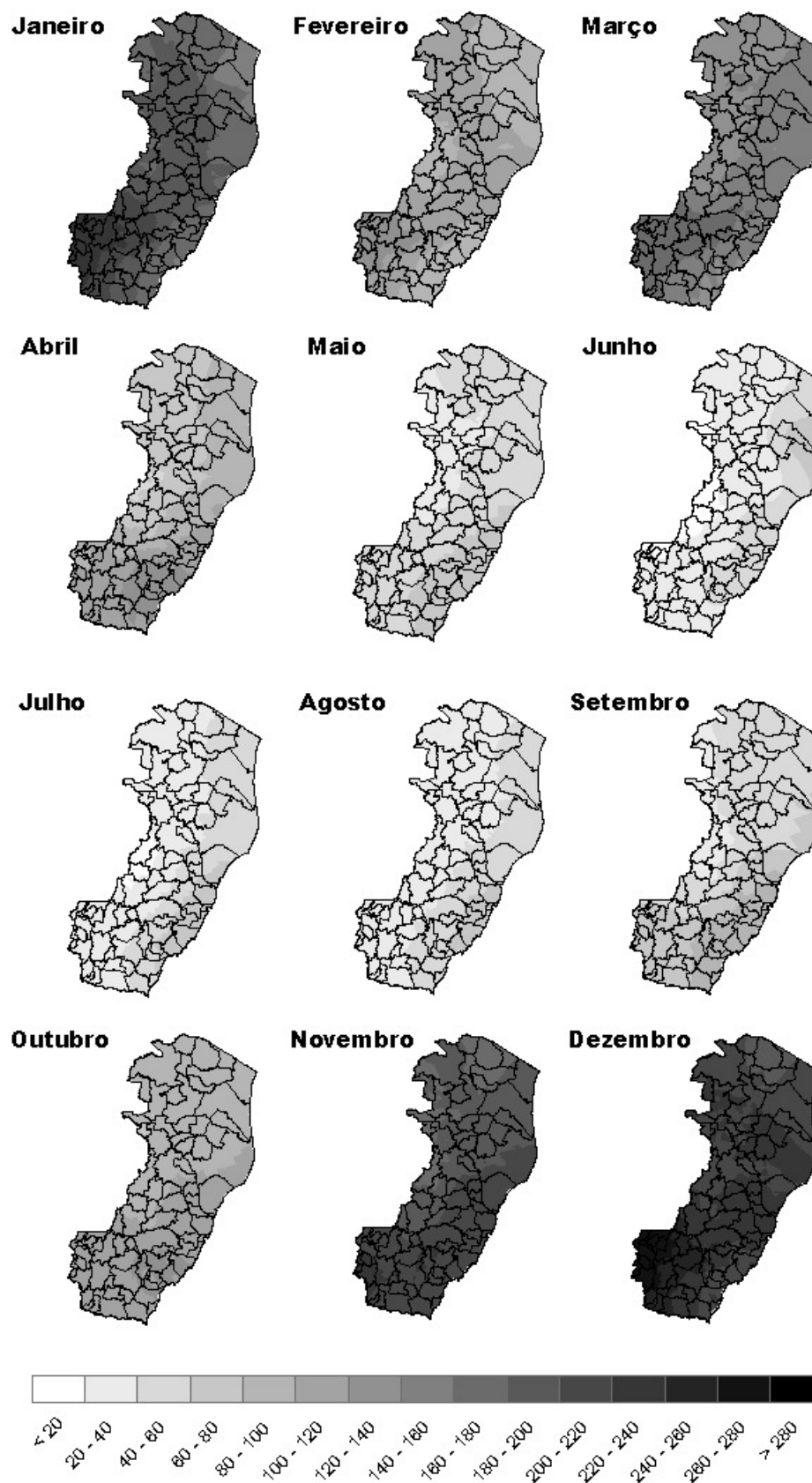


Figura 9 - Espacialização das precipitações mensais (mm) utilizadas no balanço hídrico climatológico no Estado do Espírito Santo.

4.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO DOS ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO

Com base na validação cruzada dos dados, as Tabelas 22 a 26 apresentam os índices estatísticos calculados, para análise dos interpoladores, visando à espacialização das variáveis: evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC) e disponibilidade hídrica (ER/ETP).

4.3.1. Evapotranspiração Potencial

A Tabela 22 apresenta os índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para a espacialização da evapotranspiração potencial anual no estado do Espírito Santo.

Observa-se na Tabela 22, que o modelo esférico e linear da técnica da krigagem obteve desempenho semelhante, apresentando melhor acurácia quando comparados aos interpoladores IPD com qualquer potência.

Ainda na Tabela 22, os valores do erro médio percentual (EMP) mostram uma pequena variação entre 5,43% e 5,48%. Em média o erro médio percentual (EMP) do melhor interpolador é muito baixo em se tratando de dados de evapotranspiração potencial, pelo fato dessa variável estar relacionada com a temperatura que sabidamente apresenta variação espacial, pois o fator relevo é determinante para isso.

Apesar de dois interpoladores apresentarem um desempenho “muito bom”, o melhor interpolador foi baseado no menor valor de REMQ (88,29), adotando, o modelo krigagem esférico para a estimativa desse parâmetro.

Os resultados para a evapotranspiração potencial apresentados nesse trabalho apresentaram maior acurácia quando comparados com os resultados encontrados por Castro (2008) e Ribeiro (2009), que ao estimarem a evapotranspiração potencial de cada posto meteorológico só utilizaram a equação para localidades com temperatura média mensal menor ou igual a 26,5°C.

Tabela 22 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da evapotranspiração potencial anual para o estado do Espírito Santo

Modelo	ETP							
	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP (%)
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico*	0,72	88,29	0,91	0,77	Muito Bom	0,72	65,65	5,43
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear	0,71	89,03	0,91	0,77	Muito Bom	0,71	66,12	5,48
IPD 1	0,45	123,18	0,78	0,52	Sufrível	0,45	93,90	7,89
IPD 2	0,43	127,01	0,78	0,51	Sufrível	0,41	94,58	7,93
IPD 3	0,41	130,22	0,79	0,51	Sufrível	0,38	95,34	8,00
IPD 4	0,40	134,02	0,79	0,50	Mau	0,35	97,08	8,15
IPD 5	0,39	137,53	0,79	0,49	Mau	0,31	98,13	8,23
IPD 6	0,38	140,32	0,79	0,49	Mau	0,28	99,16	8,32

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

A Figura 10 mostra o semivariograma experimental do modelo krigagem esférico, modelo que melhor se ajustou aos dados da variável evapotranspiração potencial.

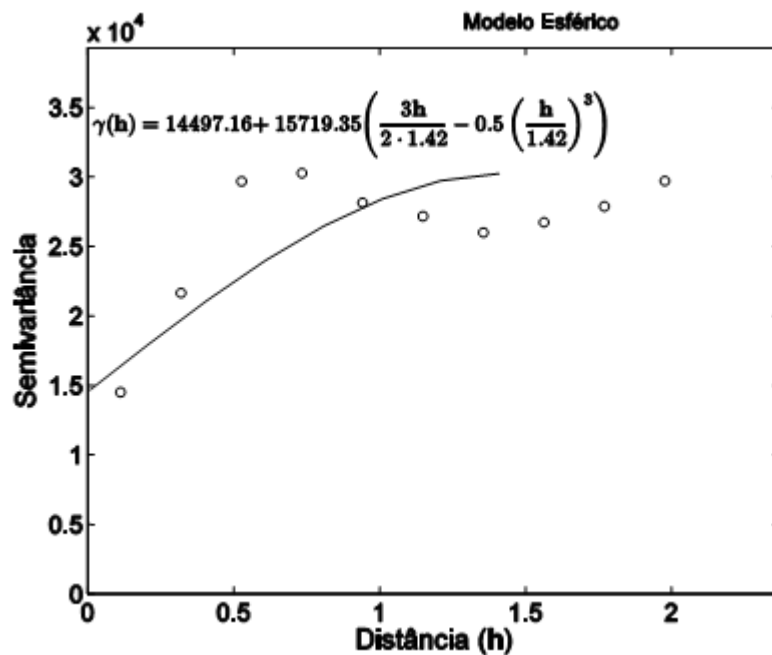


Figura 10 - Semivariograma experimental da variável evapotranspiração potencial anual (distâncias em graus).

4.3.2. Evapotranspiração Real

A Tabela 23 apresenta os índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para a espacialização da evapotranspiração real anual no estado do Espírito Santo.

Tabela 23 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da evapotranspiração real anual para o estado do Espírito Santo

Modelo	ETR							
	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP (%)
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico*	0,73	71,01	0,92	0,79	Muito Bom	0,73	56,50	5,50
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear	0,72	71,76	0,92	0,78	Muito Bom	0,72	56,85	5,53
IPD 1	0,53	96,62	0,82	0,59	Sofrível	0,52	75,21	7,43
IPD 2	0,51	98,56	0,82	0,59	Sofrível	0,51	75,29	7,40
IPD 3	0,49	100,62	0,80	0,56	Sofrível	0,48	77,74	7,63
IPD 4	0,47	103,09	0,81	0,56	Sofrível	0,46	78,73	7,73
IPD 5	0,46	105,74	0,81	0,55	Sofrível	0,43	79,65	7,82
IPD 6	0,45	107,74	0,81	0,55	Sofrível	0,41	80,47	7,89

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

O modelo que melhor se ajustou foi o esférico, pois todos os coeficientes estatísticos apontam nessa direção, apresentando um índice de concordância “muito bom” de acordo com o critério de Camargo & Sentelhas (1997), diferente de Castro (2008) que encontrou um desempenho de “sofrível” e Ribeiro (2009) com “péssimo”.

Para o inverso de uma potência da distância (IPD) o desempenho encontrado foi classificado como “sofrível” para todas as potências.

A Figura 11 apresenta o semivariograma experimental do modelo que melhor se ajustou aos dados da evapotranspiração real (krigagem esférico).

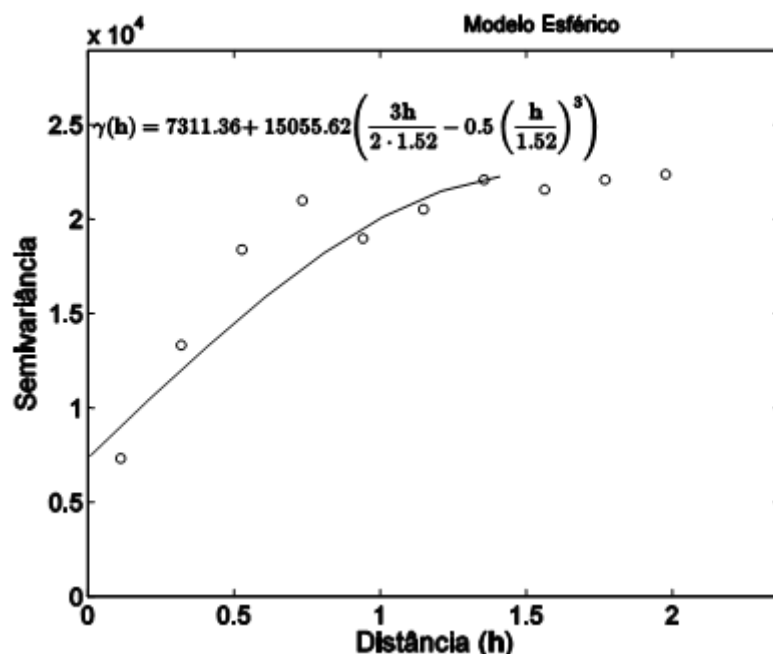


Figura 11 Semivariograma experimental da variável evapotranspiração real anual (distâncias em graus).

4.3.3. Deficiência Hídrica

A Tabela 24 apresenta os índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para a variável deficiência hídrica anual.

Tabela 24 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da deficiência hídrica anual para o estado do Espírito Santo

Modelo	DEF							
	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP (%)
Exponencial	-	-	-	-	-	-	-	-
Esférico*	0,74	65,87	0,92	0,79	Muito Bom	0,74	51,22	65535,00
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear	0,74	66,28	0,92	0,79	Muito Bom	0,74	51,43	65535,00
IPD 1	0,43	98,90	0,78	0,51	Sofrível	0,41	78,02	65535,00
IPD 2	0,41	102,58	0,79	0,50	Mau	0,37	77,76	65535,00
IPD 3	0,40	104,39	0,79	0,50	Mau	0,34	78,13	65535,00
IPD 4	0,40	106,18	0,79	0,50	Mau	0,32	79,38	65535,00
IPD 5	0,39	107,85	0,79	0,49	Mau	0,30	80,74	65535,00
IPD 6	0,38	109,26	0,79	0,49	Mau	0,28	81,58	65535,00

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

Para a deficiência hídrica o modelo de melhor desempenho foi a krigagem esférica, pois apresentou um desempenho classificado como “muito bom” segundo o critério de Camargo & Sentelhas (1997) e um REQM de 65,87. A superioridade da krigagem esférica para a estimativa da deficiência hídrica também foi evidenciada por Castro (2008), contudo ressalta-se que o balanço hídrico foi desenvolvido com CAD de 300 mm para o estado do Espírito Santo.

A Tabela 24 mostra que os interpoladores IPD com todas as potências obtiveram um desempenho considerado “sofrível” e “mau”, indicando ineficiência desse método para a variável deficiência hídrica anual.

Os altos valores do erro médio percentual (EMP) para a deficiência hídrica devem-se ao grande número de valores reais muito próximos a zero que levam a altos erros percentuais quando calculado.

A Figura 12 mostra o semivariograma experimental para o modelo krigagem esférico o que melhor se ajusta aos dados da variável estudada.

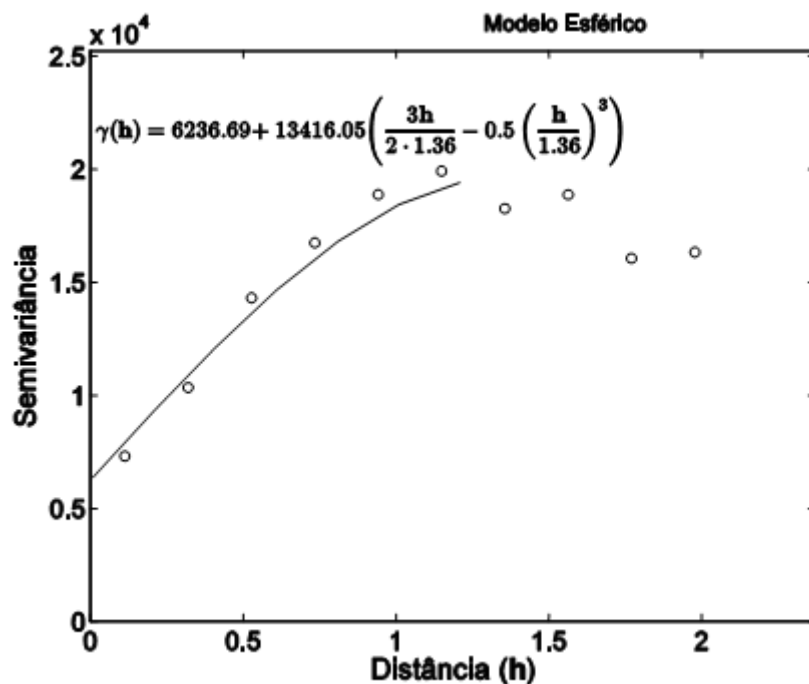


Figura 12 - Semivariograma experimental da variável deficiência hídrica anual (distâncias em graus).

4.3.4. Excedente Hídrico

A Tabela 25 apresenta os índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores para o excedente hídrico anual no estado do Espírito Santo.

Tabela 25 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa do excedente hídrico anual para o estado do Espírito Santo

Modelo	EXC							
	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP (%)
Exponencial	0,65	106,97	0,88	0,71	Bom	0,65	73,07	65535,00
Esférico*	0,65	106,55	0,88	0,71	Bom	0,65	72,09	65535,00
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear	0,64	107,46	0,88	0,70	Bom	0,64	73,26	50,97
IPD 1	0,38	143,73	0,74	0,46	Mau	0,36	104,40	65535,00
IPD 2	0,37	147,81	0,75	0,46	Mau	0,33	105,51	65535,00
IPD 3	0,36	151,67	0,75	0,45	Mau	0,29	107,68	65535,00
IPD 4	0,34	156,48	0,75	0,43	Mau	0,25	110,65	65535,00
IPD 5	0,32	160,68	0,74	0,42	Mau	0,21	112,67	65535,00
IPD 6	0,31	163,90	0,74	0,41	Mau	0,17	114,11	65535,00

*Melhor modelo; R² - coeficiente de determinação da validação cruzada; REQM - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

O modelo que melhor se adaptou aos dados foi a krigagem esférico, com desempenho do índice de confiança “bom” e REQM de 106,55.

A variável excedente hídrico apresenta comportamento parecido com a deficiência hídrica, apresentando altos valores do erro médio percentual (EMP), demonstrando que o zero é um limite físico que não é atendido pelo critério matemático da interpolação, podendo ocorrer até mesmo estimativa de valores inferiores a zero.

Silva et al. (2007), avaliando interpoladores para o excedente hídrico na bacia do Rio Itapemirim-ES, constatou o método krigagem esférico como o melhor para a estimativa dessa variável, contudo ressalta-se que foi utilizado somente o índice estatístico REQM na validação cruzada.

A Figura 13 apresenta o semivariograma experimental para o modelo krigagem esférico para variável excedente hídrico.

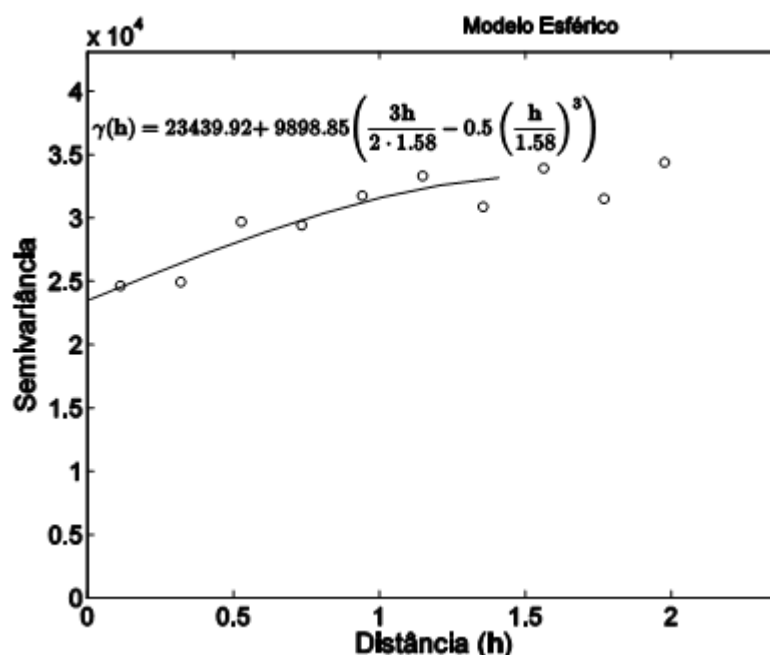


Figura 13 - Semivariograma experimental da variável excedente hídrico anual (distâncias em graus).

4.3.5. Disponibilidade Hídrica

De acordo com a Tabela 26 os modelos de krigagem linear, exponencial e esférico possuíram os melhores índices estatísticos para a disponibilidade hídrica anual no estado do Espírito Santo. Para krigagem gaussiano não houve correlação espacial entre os dados.

Tabela 26 - Índices estatísticos para análise do desempenho dos interpoladores para estimativa da disponibilidade hídrica média anual para o estado do Espírito Santo

Modelo	ETP/ETR							
	R ²	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP (%)
Exponencial*	0,74	0,06	0,92	0,79	Muito Bom	0,74	0,04	5,77
Esférico*	0,74	0,06	0,92	0,79	Muito Bom	0,74	0,04	5,74
Gaussiano	-	-	-	-	-	-	-	-
Linear*	0,74	0,06	0,92	0,80	Muito Bom	0,74	0,04	5,69
IPD 1	0,47	0,08	0,81	0,55	Sofrível	0,45	0,06	8,62
IPD 2	0,44	0,09	0,81	0,54	Sofrível	0,41	0,06	8,58
IPD 3	0,43	0,09	0,81	0,53	Sofrível	0,39	0,06	8,60
IPD 4	0,43	0,09	0,81	0,53	Sofrível	0,36	0,07	8,70
IPD 5	0,42	0,09	0,81	0,53	Sofrível	0,34	0,07	8,84
IPD 6	0,42	0,09	0,80	0,52	Sofrível	0,32	0,07	8,97

*Melhor modelo; R^2 - coeficiente de determinação da validação cruzada; REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

De acordo com critério de Camargo & Sentelhas (1997), o índice de confiança (c) para o desempenho dos modelos de krigagem foram considerado “muito bom”. Para o método inverso de uma potência da distância (com todas as potências) o desempenho é considerado “sofrível”.

Ribeiro (2009), analisando dados dessa variável para o Norte do Espírito Santo, constatou o método krigagem como sendo o melhor estimador, porém, o balanço hídrico foi calculado de forma seqüencial e com CAD de 300 mm.

O valor de E' de 0,74 apresentados para os modelos krigagem selecionados, demonstram eficiência conforme Legates e McCabe Jr. (1999).

A Figura 14 apresenta o semivariograma experimental para o modelo krigagem linear para variável disponibilidade hídrica.

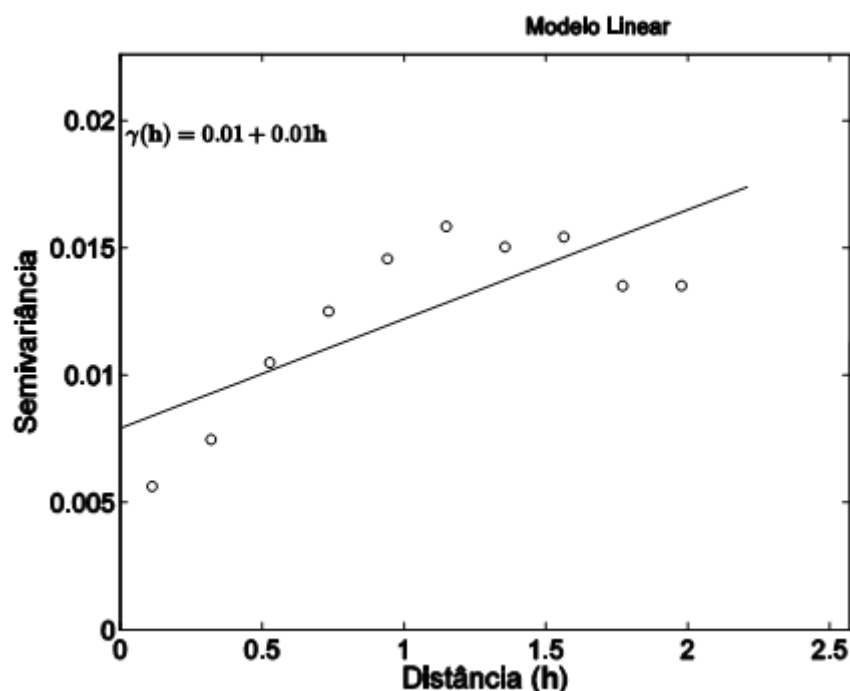


Figura 14 - Semivariograma experimental da variável disponibilidade hídrica anual (distâncias em graus).

Os resultados obtidos vêm constatar a superioridade do interpolador krigagem para a estimativa dos elementos do balanço hídrico no Espírito

Santo, segundo Vieira (2000) e Thompson (1992) isso é devido o método estar embasado na não-tendenciosidade do estimador e na variância mínima das estimativas.

4.4. AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DA ESPACIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DO BALANÇO HÍDRICO

Na Tabela 27 apresentam se o desempenho da metodologia de espacialização proposta (MEP) e os interpoladores espaciais propostos (IEP) para os elementos do balanço hídrico.

A metodologia de espacialização proposta (MEP) demonstrou-se mais eficiente para a estimativa de todos os elementos do balanço hídrico quando comparado com os intepoladores espaciais propostos (IEP). A MEP apresentou uma maior correlação entre os valores observados e estimados, baseado nos valores de REMQ, c e E'.

Tabela 27 - Índices estatísticos para análise do desempenho da metodologia de espacialização proposta e dos interpoladores espaciais propostos para estimativa da espacialização dos elementos do balanço hídrico no estado do Espírito Santo

MEP							
	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP (%)
ETP	41,44	0,99	0,96	Ótimo	0,80	30,43	2,42
ETR	36,77	0,98	0,96	Ótimo	0,78	26,31	2,29
DEF	32,91	0,96	0,91	Ótimo	0,75	19,50	24,57
EXC	100,49	0,93	0,88	Ótimo	0,59	57,66	41,88
ETR/ETP	0,02	0,98	0,95	Ótimo	0,77	0,02	2,00
IEP							
	REQM	d	c	Desempenho	E'	EMA	EMP (%)
ETP	64,68	0,96	0,90	Ótimo	0,67	51,14	3,82
ETR	99,42	0,86	0,78	Muito Bom	0,28	84,01	7,19
DEF	102,27	0,80	0,76	Muito Bom	-0,23	96,28	611,81
EXC	153,02	0,83	0,78	Muito Bom	0,02	138,97	39008,03
ETR/ETP	0,03	0,98	0,95	Ótimo	0,79	0,02	2,34

REMQ - raiz do erro médio quadrático; d - índice de concordância; c - índice de confiança; E' - coeficiente de eficiência ajustado; EMA - erro médio absoluto; e EMP (%) - erro médio percentual.

Analisando os dados da variável evapotranspiração potencial (Tabela 27), observa-se que a MEP se ajustou melhor aos dados quando comparados com o IEP. O desempenho da MEP é considerado “ótimo” mediante critério adotado por Camargo & Sentelhas (1997), todavia a alta magnitude dos valores de c (0,9) da IEP, ainda classifica-o como de desempenho “ótimo”.

Os dados da Tabela 27 mostram uma pequena variação da EMP com valores entre 2,42 a 3,82%, apresentando um EMP baixo para a MEP haja vista que a evapotranspiração potencial é uma variável que está relacionada com o fator relevo.

Com o intuito de interpolar valores de ETP a fim de gerar mapas de distribuição deste elemento do clima, Castro (2008) e Ribeiro (2009), utilizaram os métodos tradicionais de interpolação para o estado do Espírito Santo, demonstrando desempenho de “bom” e “suficiente” para os métodos avaliados.

A Figura 15 apresenta os mapas de distribuição espacial da evapotranspiração potencial no Espírito Santo utilizando-se a MEP (Figura 15a) e o IEP (Figura 15b). Nota-se diferença entre os mapas, principalmente nas áreas que abrangem a bacia do Rio Itapemirim e Serra do Caparaó.

A Figura 15a apresenta o mapa com a espacialização da evapotranspiração potencial anual acumulada para o estado do Espírito Santo, apresentando altos valores dessa variável no estado, indicando que a região é quente e caracterizada por uma elevada evapotranspiração potencial, principalmente nos municípios que abrangem a região norte e próximas do litoral, com valor superior a 1200 mm. A Figura 15b demonstra que na mesma região a evapotranspiração potencial também apresenta o mesmo comportamento.

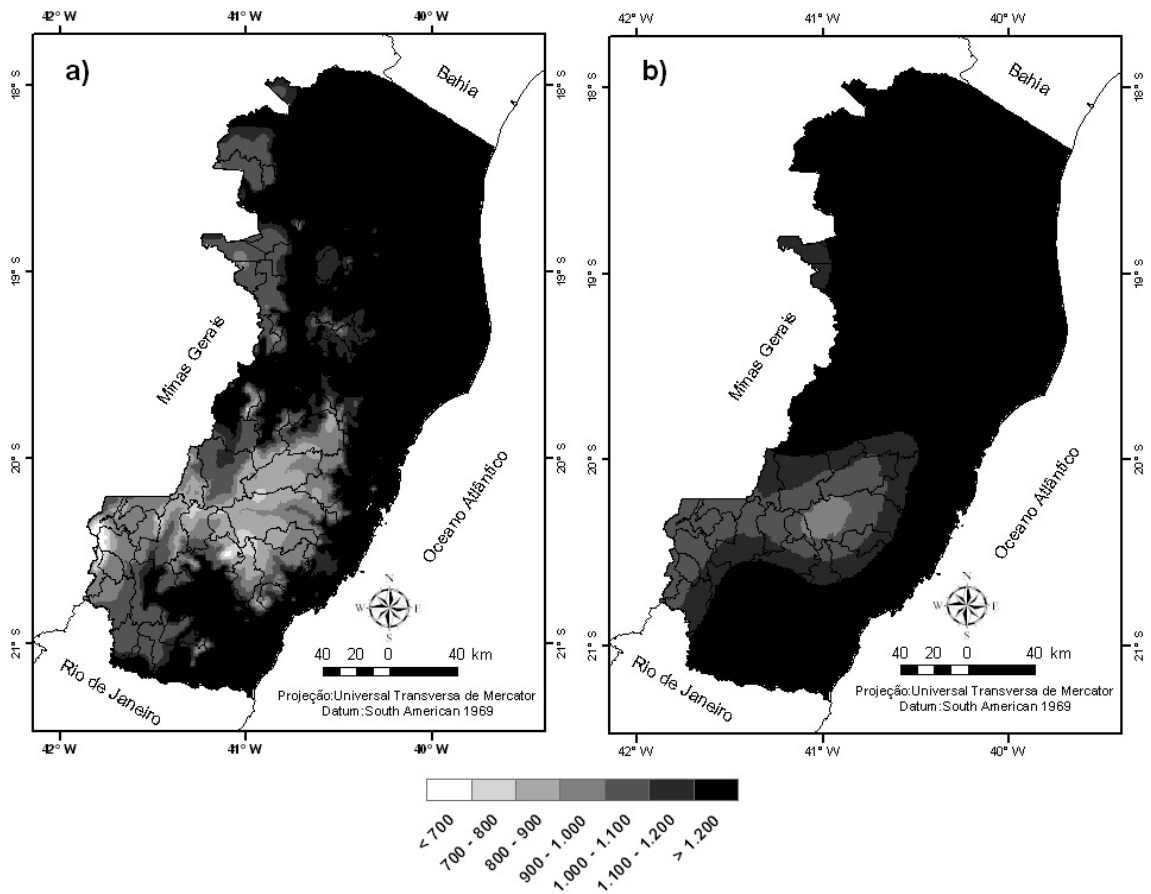


Figura 15 - Distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual (mm) no Espírito Santo pela MEP (a) e a IEP (b).

A variável evapotranspiração real desenvolvida na MEP apresentou REQM de 36,77 enquanto o IEP apresentou 99,42, com desempenho de “ótimo” e “muito bom” respectivamente para o índice c.

Poucos trabalhos se propuseram a espacializar a evapotranspiração real no Espírito Santo, Ribeiro (2009) aplicando técnicas de interpolação encontrou o modelo krigagem exponencial com melhor ajuste para seus dados, porém com índice de concordância “péssimo” para essa variável, demonstrando mais uma vez a superioridade de predição da MEP.

A Figura 16 mostra os mapas contendo a distribuição espacial da ETR no estado, utilizando a MEP e a IEP. Observa-se então que a MEP apresentou um mapa completamente diverso do obtido por meio da IEP quando aplicado no estado do Espírito Santo.

Na Figura 16a as regiões com maiores altitudes apresentam uma menor evapotranspiração real, isso se deve à baixa temperatura, apresentando

valores máximos de 1000 mm e menores que 700 mm na Serra do Caparaó. Existe uma faixa a oeste que abrange os municípios de Colatina e Baixo Guandu que também apresenta regiões com baixa evapotranspiração real, a condição dessa baixa demanda atmosférica esta sendo influenciada principalmente pela baixa disponibilidade hídrica dessa região, exceto para os municípios de Pancas e Água Branca.

A faixa litorânea que corta o estado de Norte a Sul e praticamente toda a região norte, são áreas que apresentam as maiores ETR, com mínimo de 1100 mm a maiores que 1200 mm, a Figura 16b apresenta valores de 1100 a 1200 mm para toda a faixa litorânea de Norte a Sul.

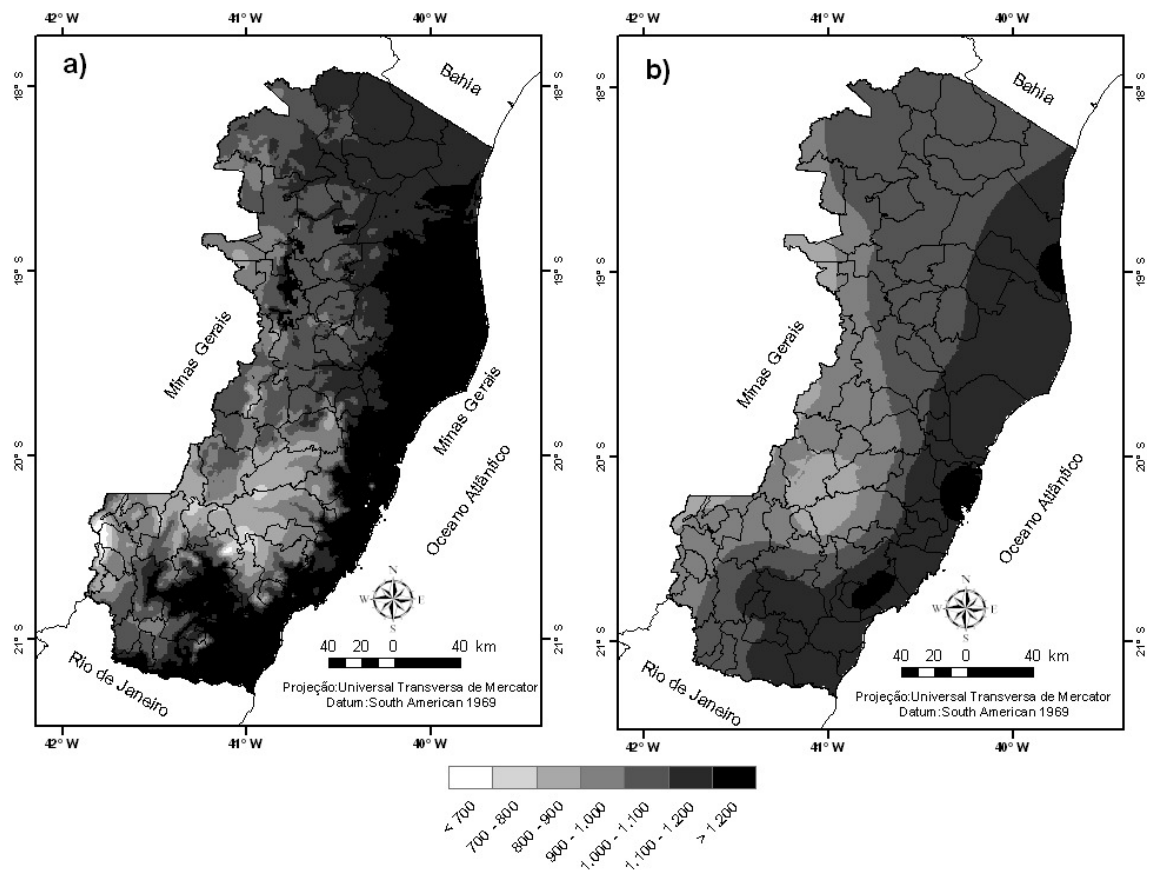


Figura 16 - Distribuição espacial da evapotranspiração real anual (mm) no Espírito Santo pela MEP (a) e a IEP (b).

Conforme a Tabela 27, a deficiência hídrica apresentou melhor desempenho para MEP, com REQM de 32,91, com alto valor de c (0,91) classificando o seu desempenho em “ótimo”. Embora a IEP tenha apresentado um desempenho de “muito bom”, esse método se mostra ineficiente com o

valor negativo indicado no índice de eficiência ajustado (E') conforme descrito por Legates & McCabe Jr. (1999).

Os altos valores do erro médio percentual (EMP) para a deficiência hídrica na IEP ocorrem devido ao grande número de valores reais muito próximos a zero que levam a altos erros percentuais quando calculado. O zero é considerado um limite físico não atendido na matemática pelo critério da interpolação, esse problema afeta a estimativa dessa variável, estimando até mesmo valores inferiores a zero que não existem fisicamente.

A Figura 17 mostra os mapas contendo a distribuição espacial da DEF no estado, utilizando a MEP e a IEP. Observa-se que a MEP apresentou uma maior influência nos resultados quando comparada com o IEP.

Com relação à deficiência hídrica (Figura 17a), a região oeste que abrange os municípios de Colatina e Baixo Guandu foram as que apresentaram os maiores valores de DEF com 300 mm. Esse fato pode ser explicado devido à baixa disponibilidade hídrica e alta evapotranspiração que é influenciada pela elevada temperatura nessa região.

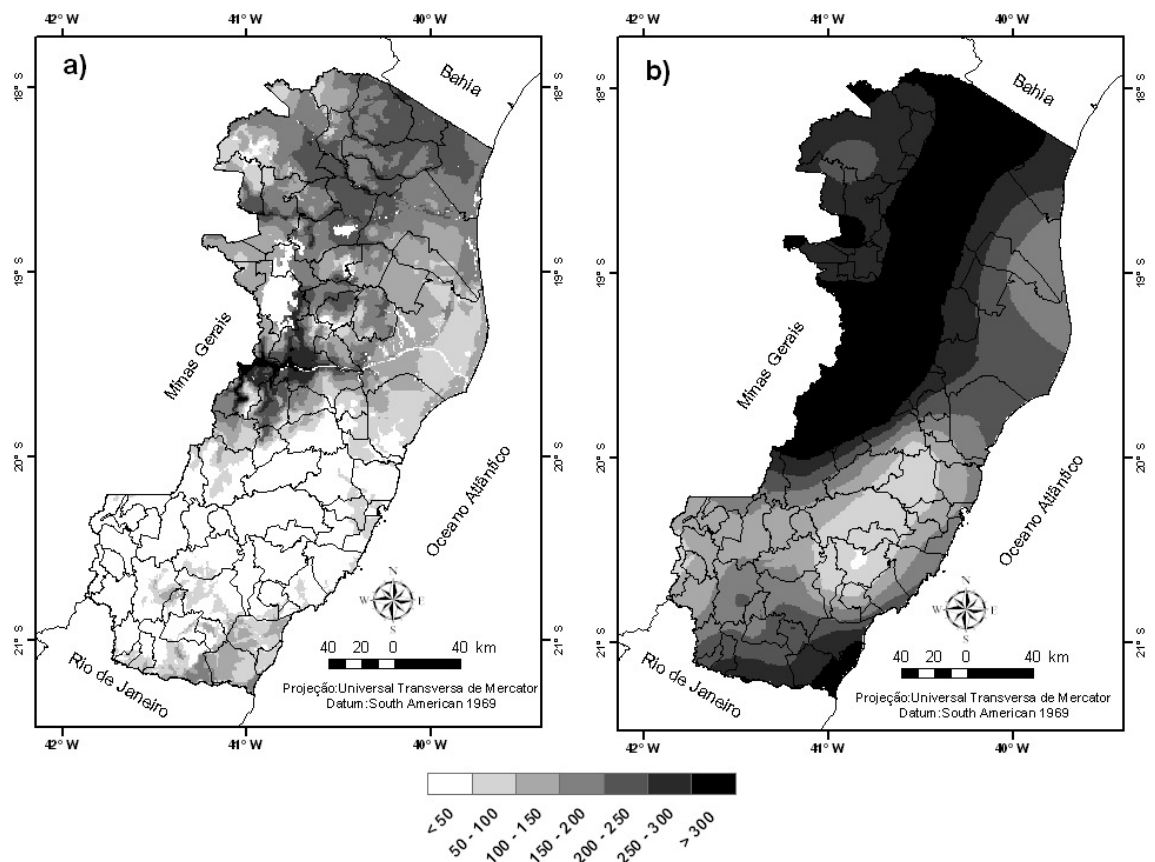


Figura 17 - Distribuição espacial deficiência hídrica anual (mm) no Espírito Santo pela MEP (a) e a IEP (b).

De acordo com Tabela 27, o excedente hídrico apresentou melhor desempenho para MEP, com REQM de 100,49, apresentando um desempenho “ótimo”.

O excedente hídrico na IEP tem apresentado altos valores de EMP, indicando que devido ao grande número de valores reais muito próximos a zero levam a altos erros percentuais quando calculado, conforme também detalhado para a variável deficiência hídrica.

Castro (2008), durante estudos realizados para o estado do Espírito Santo com alto erro médio percentual (EMP) para os métodos de interpolação, enquanto a MEP no presente trabalho apresentou um erro médio percentual (EMP) de 41,88%.

Embora o IEP tenha apresentado um desempenho de “muito bom”, esse método se mostra com baixa eficiência conforme o índice de eficiência ajustado (E') próximo a zero conforme Legates & McCabe Jr. (1999).

A Figura 18 mostra os mapas contendo a distribuição espacial do EXC no estado, utilizando a MEP e o IEP. Observa-se então que a MEP apresentou um mapa completamente diverso do obtido por meio do IEP.

O mapa de excedente hídrico Figura 18a demonstra que grande parte do estado apresenta um baixo excedente hídrico, indicando que a disponibilidade hídrica é menor e a demanda evaporativa maior, principalmente nas áreas acima do Município de Aracruz (norte do Estado), demonstrando que grande parte dos empreendimentos agrícolas do norte do estado necessita de complementação de água por meio de irrigação.

As regiões Serrana e Sul apresentaram os valores mais elevados do excedente hídrico, com valores superiores a 300 mm anuais, chegando a valores maiores que 700 mm nas regiões mais elevadas como a serra do Caparaó. A Figura 18b demonstra que essa mesma região apresenta valores máximos de excedente hídrico de 700 mm na Serra do Caparaó.

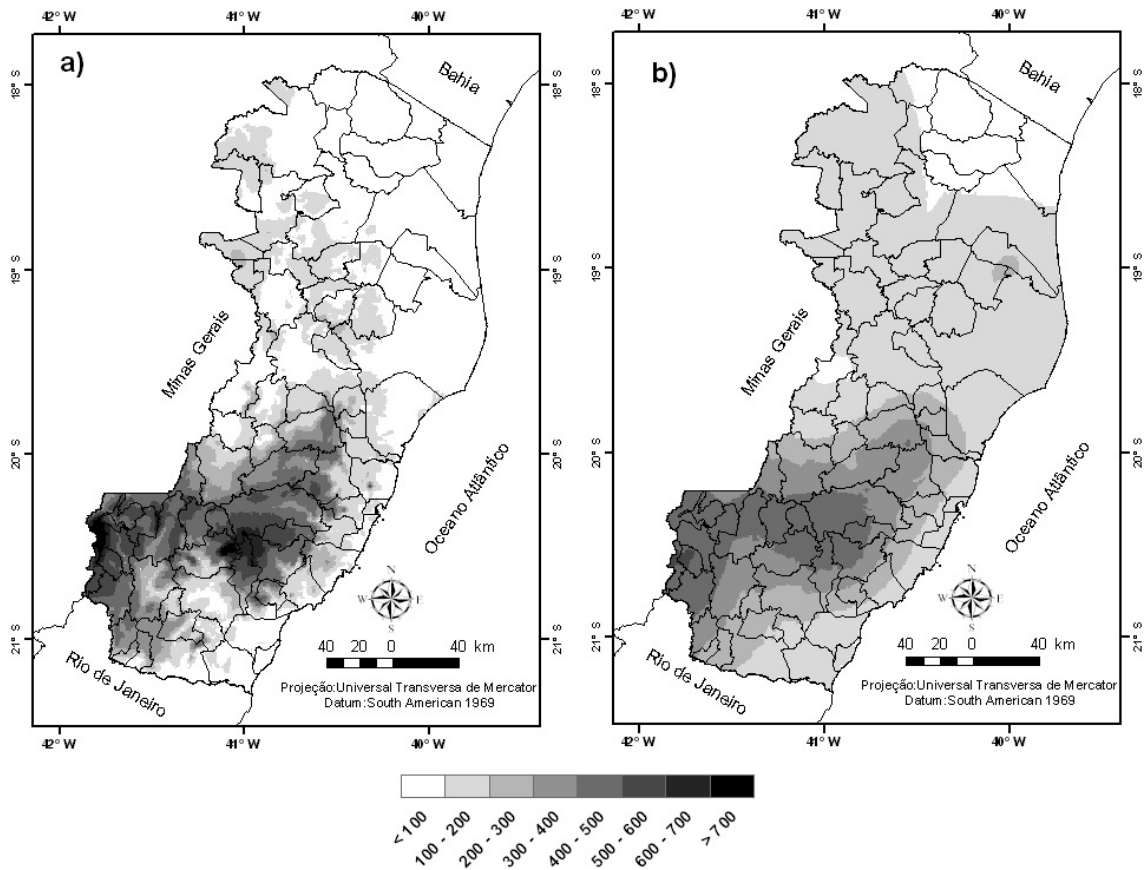


Figura 18 - Distribuição espacial do Excedente hídrico anual (mm) no Espírito Santo pela MEP (a) e a IEP (b).

Segundo o critério de Camargo & Sentelhas (1997), o índice de confiança (c) (Tabela 27) para o desempenho da MEP e do IEP são considerado “ótimo”.

Castro (2008) e Ribeiro (2009) analisando dados dessa variável para o estado do Espírito Santo e parte da Região Norte do Espírito Santo, encontraram índice de confiança (c) idêntico para cada método e com o mesmo desempenho também para cada método, corroborando com os resultados encontrados aqui.

Baseado no REQM e no erro médio percentual (EMP), a MEP possui os melhores índices estatísticos, apontando como o melhor método para a espacialização dessa variável, com REQM de 0,02 e EMP de 2%.

A Figura 19 mostra os mapas contendo a distribuição espacial da disponibilidade hídrica no estado, utilizando a MEP e a IEP.

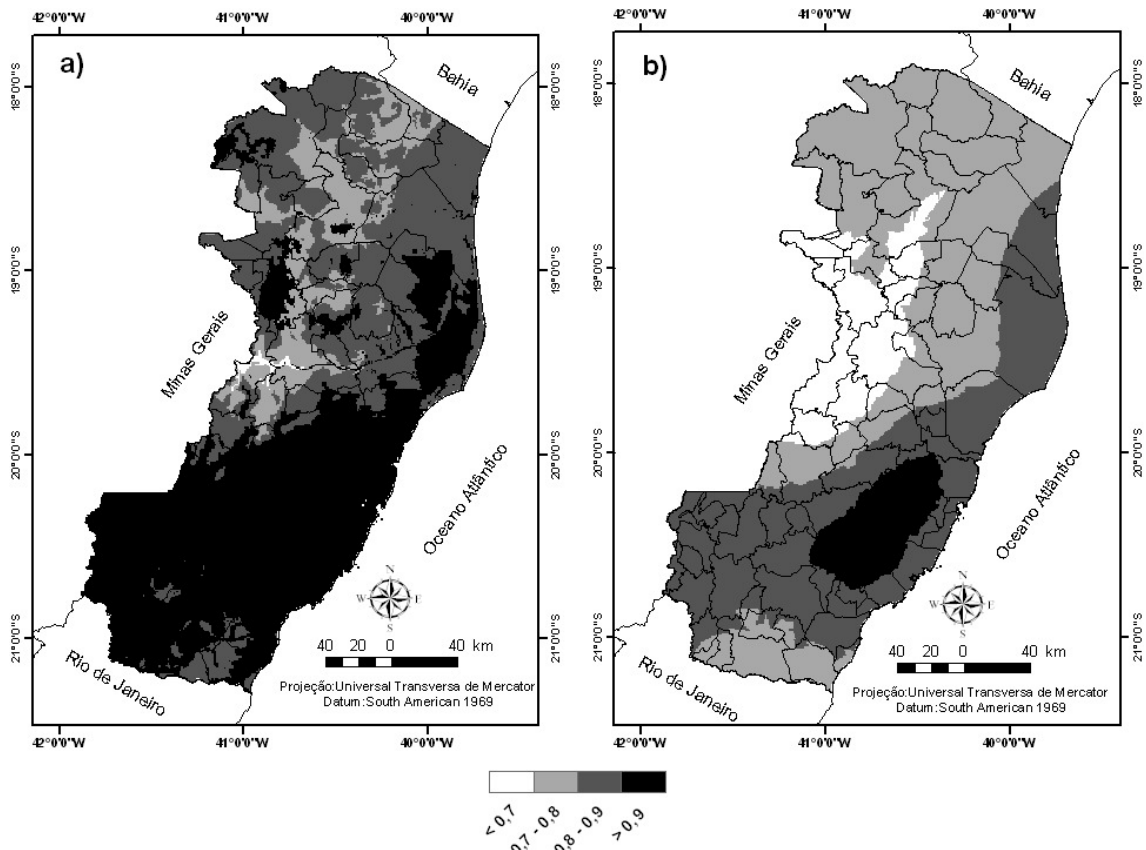


Figura 19 - Distribuição espacial da disponibilidade hídrica anual no Espírito Santo pela rotina computacional (a) e por krigagem linear (b).

A espacialização da relação ER/ETP (Figura 19a) apresenta uma tendência semelhante a da deficiência hídrica. As regiões com menor disponibilidade hídrica encontram-se no Norte, Noroeste e Oeste do estado, com valor mínimo de 0,7 a maior que 0,9.

No oeste do estado, o município de Pancas apresentou a maior disponibilidade hídrica, isso é devido ao grande afloramento rochoso encontrado nessa região, a técnica de interpolação (Figura 19b) não considera esse fator na espacialização da variável, desmontando que essa região possui um índice da disponibilidade hídrica menor que a 0,7.

As regiões Serrana e Sul apresentaram valores superiores a 0,9, indicando nessas áreas um baixo risco de não atendimento hídrico.

O fato de a MEP apresentar um melhor desempenho quando comparado com a IEP já era de se esperar, uma vê que a interpolação não leva em conta a influência dos fatores do clima (latitude, longitude e altitude) na distribuição espacial da variável interpolada.

O melhor desempenho da MEP para os elementos do balanço hídrico deve se ao fato de que estas, diferentemente da IEP, utilizam temperaturas estimativas de cada posto com a altitude local, pois a topografia é sabidamente fator de extrema influência na magnitude assumida por este elemento climático (Pereira et al., 2002). Além disso, as equações para estimar as temperaturas e os interpoladores ajustados para as precipitações apresentaram altos coeficientes de determinação (R^2), minimizando dessa forma o erro quadrático entre valores estimados e observados, ajudando a obter altos valores de c e baixos valores de REQM.

4.5. ZONEAMENTO EDAFOCLIMÁTICO

A Figura 20 apresenta o mapa do zoneamento edafoclimáticos da heveicultura para o estado do Espírito Santo, obtidos a partir do cruzamento das cartas digitais T_a , T_f e DEF gerados a partir da MEP, considerando as exigências climáticas da seringueira e do fungo *Microcyclus ulei*. O zoneamento gerado apresentou similaridade ao trabalho desenvolvido por Camargo et al. (2003) quanto às zonas de aptidão e risco climático para o estado do Espírito Santo. Comparando-se o mapa do zoneamento para o Espírito Santo com o trabalho desses autores, percebe-se claramente um aumento da precisão e do nível de detalhamento, conferidos pelo uso das equações de estimativa aliado a metodologia de espacialização dos elementos do balanço hídrico, atribuindo alteração da classe de aptidão em algumas áreas e modificações na abrangência das classes.

Conforme a Tabela 28, a classe de aptidão A compreende a segunda maior classe de aptidão do território (27,45%), atendendo plenamente as exigências térmicas e hídricas da cultura. Apresentando nessas áreas a ocorrência de T_f entre 15°C e 21°C, impedindo a esporulação do fungo causador do “mal-das-folhas”, evitando que haja infecção da brotação de primavera pelo baixo potencial de inóculo.

As áreas com aptidão abrangem as regiões limítrofes ao estado de Minas Gerais, percorrendo principalmente as regiões Noroeste e Sudeste do Estado, com exceção ao município de Baixo Guandu e Colatina, apresentado resultados similares ao zoneamento feito por Camargo et al. (2003).

As áreas consideradas aptas à heveicultura no Espírito Santo foram encontradas em alguns municípios do Noroeste como Águia Branca, São Gabriel da Palha e Nova Venécia, comprovando o que Rossmann (2007) já havia observado para o estado.

Tais resultados, de certa forma, apontam na direção contrária dos encontrados por Campanharo et al. (2009) para o zoneamento da heveicultura no Espírito Santo, evidenciando que as áreas com aptidão plena abrangem uma faixa que compreende os municípios de Ibirajú a Rio Novo do Sul.

Áreas com Classe de aptidão B demarcam pequenas zonas ao sul do estado, compreendendo os municípios de Fundão a Rio Novo do Sul, somando 1,56% do território capixaba. Nessas regiões a umidade elevada e expressada pela deficiência hídrica anual inferior a 20 mm, favorecendo o molhamento foliar da planta e dando condição à infecção das folhas da seringueira pelo fungo *Microcyclus ulei*.

Na Região Sudeste, Pilau et al. (2007) observaram em seu trabalho esse comportamento no Espírito Santo, Norte de Minas Gerais, no extremo Oeste paulista e no Triângulo Mineiro.

Classe de aptidão C compreende maior parte do território (46,81%), zona quente expressada pela Tf superior a 21 °C e deficiência hídrica anual entre 20 a 200 mm, favorecendo o desenvolvimento do fungo *Microcyclus ulei* com alta produção de inoculo.

As zonas “Restritas” (Classe C) destacam-se na região Sudeste, Serrana e principalmente na região Sul do Estado. Na região Sudeste, estendendo desde os Municípios de São Mateus a Fundão, e praticamente todos os municípios da região Serrana.

A região Sul do estado demonstra ser altamente propícia ao desenvolvimento do fungo *Microcyclus ulei*. Silva et al. (2009) conduzindo seus experimentos nessa região, constatou que a seringueira possui uma grande correlação com a variável temperatura mínima, o que indica que esta variável apresenta influencia direta no desenvolvimento da doença.

A classe de aptidão (Classe D) é caracterizada pela deficiência hídrica acentuada - superior a 200 mm – representada por 14,54% do território capixaba, abrangendo os municípios de Baixo Guandu, Colatina, e região Norte do estado, conforme descrito pela Classe de aptidão D. Em comparação ao

estudo de Campanharo et al. (2009), estes autores classificam os municípios de Baixo Guandu e Colatina como inaptas à heveicultura, enquanto neste trabalho foi considerada como “marginal”. As altas precipitações anuais (superior a 1000 mm), com a presença de uma estação seca de inverno e a temperatura elevada ao longo dos meses do ano, tornam acentuada a deficiência hídrica para a seringueira provocando a redução do turgor dos vasos laticíferos, ocasionando a diminuição da produção de látex, tornando a heveicultura economicamente inviável (RAO et al.,1990).

As áreas inaptas são classificadas como Classe E, com limitação térmica e alta probabilidade de ocorrência de geada. Essas áreas correspondem a 9,56% do território capixaba, restringindo o cultivo da seringueira em parte da região Serrana, Serra do Caparaó e em alguns municípios como o de pancas que possui um grande afloramento rochoso.

Tabela 28 - Áreas (%) de aptidão para a implantação da Seringueira no estado do Espírito Santo

Condição	%
Apta (A)	27,45
Restrita por excesso de umidade (B)	1,56
Restrita por excesso térmico (C)	46,81
Marginal quente e seco (D)	14,54
Inapta (E)	9,65

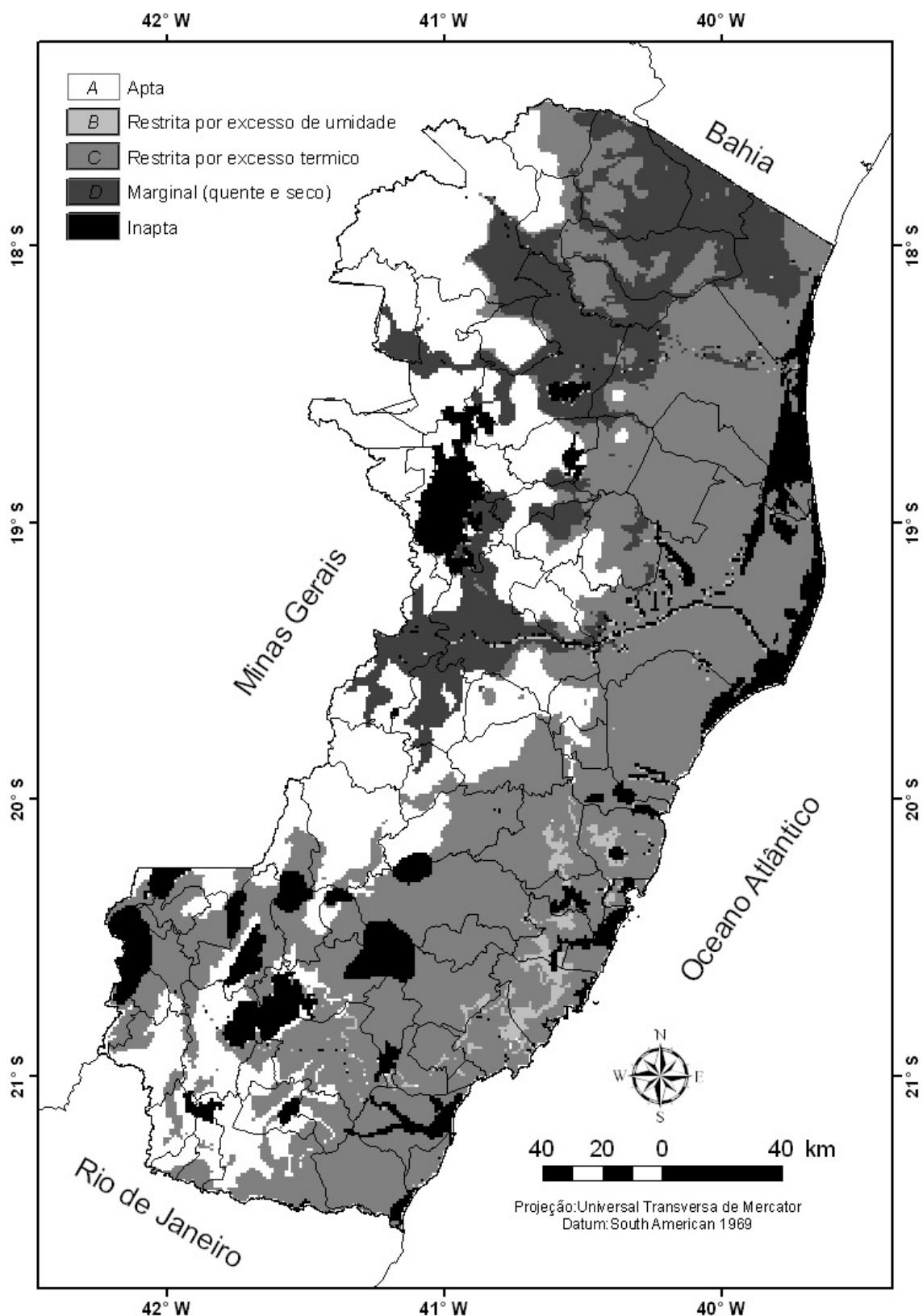


Figura 20 - Zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira para o estado do Espírito Santo.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- Os interpolares krigagem linear, esférica e exponencial apresentaram o melhor desempenho na escolha do modelo de interpolação para a variável precipitação mensal;
- A krigagem foi o método de interpolação que apresentou as melhores estimativas das variáveis, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, deficiência hídrica, excedente hídrico e disponibilidade hídrica;
- A metodologia proposta para espacializar os elementos do balanço hídrico apresentou um “ótimo” desempenho quando comparados com os métodos tradicionais de interpolação avaliados;
- De acordo com as bases estabelecidas para este zoneamento, o estado do Espírito Santo apresenta áreas de escape com aptidão edafoclimática para a cultura da Seringueira;
- O estado do Espírito Santo apresenta 27,45% da sua área apta à implantação da cultura da seringueira e o não desenvolvimento do fungo *M. ulei*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDINK, E.A.; STEIN, A. A comparison of conventional and geostatistical methods to replace clouded pixels in NOAA-AVHRR images. **International Journal of Remote Sensing**, Dundee, v.20, n.5, p.961-77, 1999.

ALFONSI, R.R.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ARRUDA, F.B. Métodos agrometeorológicos para o controle de irrigação. **Boletim técnico** n.133, 1990, IAC/PRONI. 62p.

ALMEIDA, H.A. **Zoneamento edafo-climático para a Seringueira do Sudeste da Bahia, com enfoque a incidência ao mal-das-folhas**. Revista Theobroma 17:111-123. 1987.

ANTONINI, J. C. A; SILVA, E. M; SANO, E. E; OLIVEIRA, L. F. C. Modelo matemático para estimativa da temperatura média diária do ar no Estado de Goiás. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.4, p.331-338, abr. 2009.

ASSAD, E. D. et al. Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 510-518, 2001.

ATLAS, **Atlas de ecossistemas do Espírito Santo**. p 42-76.

BAÚ, A.L; GOMES, B.M; QUEIROZ, M.M.F; OPAZO, M.A.U; SAMPAIO, S.C.Comportamento espacial da precipitação pluvial mensal provável da mesoregião oeste do estado do Paraná. **Revista Irriga** v.11, n.2, p.150-168, 2006.

BENNIE, J.J; WILTSHIRE, A.J; JOYCE, A.N; CLARK, D; LLOYD, A.R; ADAMSON, J; PARR, T; BAXTER, R; HUNTLEY, B.Characterising inter-annual variation in the spatial pattern of thermal microclimate in a UK upland using a combined empirical physical-model. **Agricultural and Forest Meteorology**. 150 (2010) p.12-19.

BOLSTAD, P.V.; SWIFT, L.; COLLINS, F.; REGNIERE, J. Measured and predicted air temperatures at basin to regional scales in the southern Appalachian mountains. **Agricultural & Forestry Meteorology**, v.91, p.161-176. 1998.

CAMARGO, A. P.; CARDOSO, R. M. G.; SCHMIDT, N. C. Comportamento e ecologia do "mal-das-folhas" da seringueira nas condições climáticas do planalto paulista. **Bragantia**, v. 26, p. 1-18. 1967.

CAMARGO, Â. P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMARGO, A.P. Aptidão climática para a heveicultura no Brasil. **Ecossistema**, v.1, p.6-14, 1976.

CAMARGO, A.P. Aptidão climática para a heveicultura. In: FERRI, M.G. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: bases para utilização agropecuária, 1977, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EDUSP. 166p.

CAMARGO, A.P. Possibilidades climáticas da cultura da seringueira em São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 23p. **Boletim 110** (2ª edição). 1963.

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

CAMARGO, E. C. G.; DRUCK, S.; CÂMARA, G.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; MONTEIRO, A. M. V. In: **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 79-117 p.

CAMARGO, A.P., MARIN, F.R., CAMARGO, M.B.P. **Zoneamento climático da heveicultura no Brasil**. EMBRAPA-Documentos 1-17.2003.

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.

CARDIM, M. **Mapeamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do estado de São Paulo**. Botucatu, 2001.124p. Tese (Doutorado Agronomia). Faculdade de Ciências agrônômicas. Universidade Estadual Paulista.

CARGNELUTTI FILHO, A; MALUF, J. R. T; MATZENAUER, R. Coordenadas geográficas na estimativa das temperaturas máxima e média decendiais do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.38, n.9, dez, 2008.

CARUSO, C.; QUARTA, F. Interpolation Methods Comparison. **Computers Mathematical application**. v.35, p. 109-126, 1998.

CASTRO, F. S. **Zoneamento agroclimático para a cultura do pinus no estado do espírito santo**: UFES, 2008. 60 a 77p. Dissertação de Mestrado.

CECILIO, R.A.; MEDEIROS, S. de S.; DANTAS NETO, F.S.; SOUZA, J.A.A. de; SOARES, A.A. de. 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. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE SENSORAMENTO REMOTO, 9., 2003. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2003.p. 39-45.

- CECÍLIO, R.A.; MEDEIROS, S.S., SILVA JUNIOR, J.L.C., SOUZA, J.A. Zoneamento agroclimático para a heveicultura na parte leste da Bahia. **Bahia agrícola** 7:11-17.2006.
- CHANG, J. A climatological consideration of the transference of agricultural technology. **Agricultural Meteorology**, v.25, p.1-13, 1981.
- CHEE, K. H. & HOLLIDAY, P. South American leaf blight of *Hevea* rubber. Kuala Lumpur: **Malaysian Rubber Research and Development Board**. 50p. 1986.
- CHONG, S.K., GREEN, R.E., AHUJA, L.R. Infiltration prediction based on estimation of Green-Ampt wetting front pressure head from measurements of soil water redistribution. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.235-239, 1982.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. **Estudos irrigação e drenagem** n.33, 1994.306p.
- EMBRAPA. **Relatório da reunião de zoneamento agrícola para o plantio da seringueira**. Nov. 1979. Manaus – CNPS. 38p. 1980.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geostatistical analyst** . Redlands, 2001.300p.
- 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.
- GASPAROTTO, L.; FERREIRA, F. A. Mal das folhas da seringueira. In: Ferreira, F. A. Patologia florestal: principais doenças florestais no Brasil. Viçosa: **Sociedade de Investigações Florestais**, 1989. p.289-313.
- GASPAROTTO, L.; SANTOS, A. F.; PEREIRA, J. C. R.; FERREIRA, F. A. **Doenças da seringueira no Brasil**. Brasília: Serviço de Produção de Informação - EMBRAPA, 1997. 168p.
- GOLDTHORP, C. C.; TAN, L. I. 1996. A review of environmental issues in natural rubber production. **The Planter**, v. 72, n. 840, p. 123-128, 1996.
- GONÇALVES, P. de S. Uma história de sucesso: a seringueira no estado de São Paulo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 54, n. 1, p. 6-10, 2002.
- GONÇALVES, P. de S.; PAIVA, J. R. de; SOUZA, R. A. de. **Retrospectiva e atualidade do melhoramento genético da seringueira (*Hevea spp.*) no Brasil e países asiáticos**. Manaus: EMBRAPA-CNPDS, 1983. 69 p.

GONÇALVES, P. S.; CARDOSO, M.; ORTOLANI, A. A. Origem, variabilidade e domesticação da *Hevea*; **Uma revisão**. Pesquisa Agropecuária Brasileira 25:135-156. 1990.

GTOPO. **Modelo digital de elevação**. Disponível em: <<http://rockyweb.cr.usgs.gov/outreach/gtopo30.htm>>. Acesso em: Setembro. 2009.

GUIMARÃES, E. C. **Geostatística básica e aplicada**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 76 p.

HOLLIDAY, P. Dispersal of conidia of *Dothidella ulei* from *Hevea brasiliensis*. **Anais of Applied Biology** 63:435-447. 1969.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ **Cultivo da seringueira (Hevea spp.)**. Disponível em: <http://www.iapar.br/zip_pdf/cultsering.pdf>. Acesso em: fev. 2010.

ITIS - INTEGRATED TAXONOMIC INFORMATION SYSTEM. **Standard Report Page: Hevea brasiliensis**. Disponível em: <<http://www.itis.usda.gov> > Acesso em: Fevereiro 2010.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 560 p.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South África**, Johannesburg, v.52, p.119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: UNESP, 1998. 226 p.

LEGATES, D.R.; McCABE Jr., G.J. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v.35, n.1, p.233-241, 1999.

MACEDO, R.L.G.; OLIVEIRA, T.K.; VENTURIN, N.; GOMES, J.E. Introdução de clones de seringueira no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, v.8, n.1, p.124-133, 2002.

MARIN, F.R.& BARRETO JUNIOR, C.E.F. Zoneamento agroclimático da heveicultura no Estado de São Paulo, In:XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 14 , Campinas-SP.**Anais....**Campinas:Sociedade Brasileira agrometeorologia, 2005.

MARTINS, M. B. G.; ZIERI, R. Anatomia foliar de clones de seringueira. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 709-713, out./dez. 2003.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic geology*, Littleton, v.58, p.1246-1266, 1963.

- MEDEIROS, A. G. **Novos conceitos sobre controle químico do "mal-das-folhas" da seringueira.** Itabuna, BA: CEPEC-CEPLAC, 1976. 20 p. (Boletim Técnico, 35).
- MEDEIROS, S.S.; CECÍLIO, R.A.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; SILVA JÚNIOR, J.L.C. Estimativa e espacialização das normais das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.247-255, 2005.
- MENDES, M.E.G. et al. Relações hídricas em seringal do município de Piracicaba, SP. **Scientia Agrícola**, v.49, n.1, p.103-109, 1992.
- MENDES, M.E.G. et al. Relações hídricas em seringal do município de Piracicaba, SP. **Scientia Agrícola**, v.49, n.1, p.103-109, 1992.
- MENDOÇA, P.V. Sobre o novo método de balanço hídrico de Thornthwaite & Mather. In: **Congresso Luso-Espanhol para o Programa das Ciências**, 24. P.271-282, 1958.
- MIRANDA, J.I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.** Brasília, DF: Embrapa informação Tecnológica, 2005. 265-287 p.
- MORCELI, P. Borracha natural: Perspectiva para a safra de 2004/05. **Revista Política Agrícola**. 56-67.2004.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal.** São Paulo: Ceres, 1981. 435 p.
- ORTOLANI, A.A. **Aptidão climática para a cultura da Seringueira em Minas Gerais.** Informe Agropecuário 11:8-12p. 1985.
- ORTOLANI, A.A. The importance of agrometeorology to rubber production in Brazil. **Brazilian Agriculture & Commodities.** Hambrook Publishing Company. Portsmouth. P. 34-36. 1980.
- ORTOLANI, A.A.. et al. Aptidão climática para regionalização da heveicultura no Brasil. In: **Anais do Seminário Brasileiro para Recomendação de Clones de Seringueira**, Brasília, p.19-28,1983.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 433-443, 478 p.
- PEREIRA, A.R. Crop planning for different environments. **Agricultural Meteorology**, v.27, p.71-77, 1982.
- PEZZOPANE, J.E.M.; SANTOS, E.A.; ELEUTÉRIO, M.M.; REIS, E.F.; SANTOS, A.R. Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.1, p.151-158, 2004.

PHILLIPS, D. L.; DOLPH, J.; MARKS, D. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitations in mountainous terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 58, p. 119-142, 1992.

PILAU, G.F.; MARIN, F.R.; CAMARGO, M.B.P.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; BARBARISI, B.F. Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, n.2, p. 161-168, 2007.

PINHEIRO, F.S.V. **Comportamento de alguns clones amazônicos de seringueira (Hevea spp) nas condições ecológicas de Açailândia. Resultados preliminares.** Tese de "Magister Scientiae". UFV. Viçosa, MG. 1981.

PIRES, J. M. **Revisão do gênero Hevea:** descrição das espécies e distribuição geográfica: relatório anual, 1972. Belém: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte, 1973. p. 6-66.

RAO, G.G.et al. Influence of soil, plant and meteorological factors on water relations and yield in Hevea brasiliensis. **International Journal of Biometeorology**, 34, p. 175-180, 1990.

RAO, S.P.; JAYARATHNAM, K.; SETHURAJ, M.R. An index to assess areas hydrothermally suitable for rubber cultivation. **Indian Journal of Natural Rubber Research**, v.6, n.1&2, p 80-91, 1993.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera:** conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REIS, A.C.S. **Zoneamento agroclimático para a seringueira em Pernambuco.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1974. 35 p. (Tese de Livre Docência).

RIBEIRO, C. A. D. **Delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do eucalipto no norte do espírito santo e Sul da Bahia:** UFES, 2009. 45 a 82p. Dissertação de Mestrado.

RIPPEL, M.M.; BRAGANÇA, F.C. Borracha natural e nanocompósitos com argila. **Quim. Nova**, Vol. 32, No. 3, 818-826, 2009.

RISSE, L.M.; NEARING, M.A.; ZHANG, X.C. Variability in Green-Ampt effective conductivity under fallow conditions. **Journal of Hydrology**, v.169, p.1-24, 1995.

ROBERTSON, G. P. **GS+ Geostatistics for the environmental sciences:** GS+ User's Guide. Plainwell: Gamma Desing Software, 1998. 152 p.

ROBINSON, T.P.; METTERNICHT, G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. **Computers and Electronics in Agriculture** , v., p. 97-108, 2006.

- ROE, G.H. Orographic precipitation **Revista Earth Planet.**2005.33:645-71
- ROSADO, P. L.; PIRES, M. M.; SANTOS, D. F. **O agronegócio da borracha natural**. In: Alvarenga, A. P.; Carmo, C. A. F. S. Sequestro de carbono: quantificação em seringueiras de cultivo e na vegetação natural. Viçosa: EPAMIG - EMBRAPA. 287-314p. 2006.
- ROSSMANN, H. **Panorama nacional da heveicultura**. Disponível em <www.incaper.es.gov.br/congresso_seringueira/downloads/apresentacao_palestras/Heiko/palestra.pdf>
- SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 1996. 91 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1996.
- SAMBUGARO, R.; FURTADO, E. L.; RODELLA, R. A.; MATTOS, C. R. R. Anatomia foliar de seringueira (*Hevea* spp.) e desenvolvimento da infecção por *Microcyclus ulei*. **Summa Phytopathologica** 30:51-56. 2004.
- 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, v.6, n.1, p.57-61, 1998.
- SEDIYAMA, G.C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arábica* 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.; SANTOS, A.R.; SOUZA, J.A.; SANTANA, M.O. Modelo para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual georeferenciados para o Estado do Espírito Santo. In: XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2002, Salvador, BA. **Anais**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. (CD-ROM).
- SHANGPHU, L. Judicious tapping with stimulation base on dynamic analysis of latex production. **Proceedings of the IRRDB Rubber Physiology and Exploitation Meeting**, SCATC, Hainan, China, p. 230-239, 1986.
- SHUOCHANG, A.; YAGANG, G. Exploration of the high yield physiological regulation of *Hevea brasiliensis* in Xishunangbanna. **Proceedings of the IRRDB Symposium on Physiology and Exploitation of Hevea brasiliensis**, Kunming, China, p. 83-92, 1990.
- SIQUEIRA, H.R.; ALVES G.F; GUIMARÃES, E.C. Comportamento da precipitação pluviométrica mensal do estado de Minas Gerais: análise espacial e temporal. **Boletim técnico**. 2003.

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.

SOUZA, I. A. de **Avaliação de clones de Seringueira (*Hevea spp.*) em Piracicaba - SP**: ESALQ, 2007. 15 a 40p. Dissertação de Mestrado.

THOMPSON, S.N. **Sampling**. New York: J.Wiley, 1992. 343 p.

THORNTON, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, p.55-94, 1948.

THORNTON, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

VALLADARES, G. S.; MARIN, F. R.; OSHIRO, O. T.; GOUVÊA, J. R. F. Uso de Imagens de Radar na Estimativa da Temperatura do Ar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 309-311.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. **GIS Brasil'98**, Curso P, Curitiba, PR, 1998, 53p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVARES V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, v. 1, p. 1-54, 2000.

WILCOX, B.P.; RAWLS, W.J.; BRAKENSIEK, D.L.; WIGHT, J.R. Predicting runoff from rangeland catchments: a comparison of two models. **Water Resources Research**, v.26, p.2401-2410, 1990.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais**. São Paulo: USP, 2001. 226 p.

YU, B. A comparison of the Green-Ampt and a spatially variable infiltration model for natural storm events. **Transactions of the ASAE**, v.42, n.1, p.88-97, 1999.

ZAKIA, M. J. B. **O balanço hídrico levando-se em conta o sistema solo-planta atmosfera de quatro tipos de cobertura vegetal na região de Grão Mogol, MG**. Piracicaba, 1987. 136 f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Botucatu: UNESP, 2003. 25 p.