

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL

GISELLE SABADIM SARAIVA
Magister Scientiae

ESPACIALIZAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE
REFERÊNCIA DIÁRIA NO ESPÍRITO SANTO

SÃO MATEUS - ES
2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**ESPACIALIZAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE
REFERÊNCIA DIÁRIA NO ESPÍRITO SANTO**

GISELLE SABADIM SARAIVA

Magister Scientiae

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Robson Bonomo

**SÃO MATEUS - ES
2014**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S243e Saraiva, Giselle Sabadim, 1987-
Espacialização da evapotranspiração de referência diária no
Espírito Santo / Giselle Sabadim Saraiva. – 2014.
124 f. : il.

Orientador: Robson Bonomo.
Coorientador: Alexandre Gomes Facco.
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário
Norte do Espírito Santo.

1. Irrigação. 2. Interpolação. 3. Geoprocessamento. I. Bonomo,
Robson. II. Facco, Alexandre Gomes. III. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. IV.
Título.

CDU: 63

Aos meus pais, João do Espírito Santo Saraiva e Rosinete Maria Sabadim Saraiva, e ao meu namorado, Bruno Bayerl, pelo amor, compreensão e apoio nessa jornada.

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu forças, responsabilidade e determinação para não desistir jamais.

À Universidade Federal do Espírito Santo - UFES e ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo - CEUNES, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

À Fapes pela concessão da bolsa durante o período de mestrado.

Ao meu professor e orientador Dr. Robson Bonomo e ao co-orientador Dr. Alexandro Gomes Facco, pela orientação, ensinamentos, incentivo, amizade e compreensão.

Aos professores e funcionários do CEUNES pelo apoio e dedicação.

A equipe do INMET pela atenção e disponibilização dos dados das estações meteorológicas pertencentes à empresa.

A equipe da Fibria pela atenção e disponibilização dos dados das estações meteorológicas pertencentes à empresa.

Ao Rodolfo Araujo Loos, pesquisador do centro de tecnologia da Fibria, pela atenção e disponibilização dos dados das estações meteorológicas pertencentes à empresa.

A equipe do CPTEC/INPE pela atenção e disponibilização dos dados das estações meteorológicas pertencentes à empresa.

À minha família, em especial aos meus pais Rosinete Maria Sabadim Saraiva e João do Espírito Santo Saraiva, pelo apoio e incentivo.

Ao meu namorado, Bruno Bayerl, pelo apoio, compreensão e incentivo.

E a quem mais, de alguma forma, contribui para realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Giselle Sabadim Saraiva, nascida em Nova Venécia, estado do Espírito Santo, em 23 de outubro de 1987, filha de João do Espírito Santo Saraiva e Rosinete Maria Sabadim Saraiva.

Cursou ensino fundamental na Escola Municipal de Ensino Fundamental e Médio “Veneciano”, em Nova Venécia, parte do ensino médio no Colégio Estadual “Dom Daniel Comboni” e parte na Escola Municipal de Ensino Fundamental e Médio “Veneciano” também em Nova Venécia.

Em agosto de 2007 ingressou no Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo, no curso de Agronomia, onde obteve o título de Engenheira Agrônoma em janeiro de 2012.

Ingressou em março de 2012, no Curso de Mestrado em Agricultura Tropical – PPGAT do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), concluindo em fevereiro de 2014.

“Lindas flores nascem, mas eventualmente morrem. Tudo nesse mundo está em eterna mudança, sempre em movimento, nunca é igual, tudo muda, e a vida do homem também é assim”.

(Buda)

SUMÁRIO

RESUMO.....	VIII
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Evapotranspiração	3
2.1.1 Histórico, definições e conceito	3
2.1.2 Fatores que afetam a evapotranspiração	6
2.1.3 Métodos de determinação e estimativa da evapotranspiração.....	7
2.2 Sistemas de informações geográficas (SIG)	9
2.2.1 Aplicação de SIG na agricultura	9
2.2.2 Interpoladores	12
2.2.2.1 Métodos de interpolação espacial (geoestatístico e determinístico)	12
2.2.3 Semivariograma experimental.....	14
2.2.4 Método de interpolação Krigagem.....	17
2.2.5 Método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD)	20
2.2.6 Método de interpolação Spline Tensionado	21
2.3 Teste e validação dos interpoladores	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Descrição da região de estudo.....	24
3.2 Dados das estações meteorológicas.....	25
3.2.1 Análise da consistência dos dados	27
3.3 Determinação da evapotranspiração de referência (ET _o).....	27
3.4 Métodos de interpolação da evapotranspiração diária	33
3.5 Teste e validação dos dados interpolados	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Espacialização da ET _o diária (mm dia ⁻¹) pelos métodos de interpolação IQD, Spline e Krigagem para “Dias com baixa radiação relativa”	40
4.2 Espacialização da ET _o diária (mm dia ⁻¹) pelos métodos de interpolação IQD, Spline e Krigagem para “Dias com alta radiação relativa”	47
4.3 Espacialização da ET _o diária (mm dia ⁻¹) pelos métodos de interpolação IQD, Spline e Krigagem para “Todos os Dias”	55

5. CONCLUSÕES	64
6. REFERÊNCIAS	66
ANEXOS	74

RESUMO

SARAIVA, Giselle Sabadim; M. Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Fevereiro de 2014; **Espacialização da evapotranspiração de referência diária no Espírito Santo**; Orientador: Robson Bonomo; Co-orientador: Alexandro Gomes Facco.

O objetivo geral deste estudo foi comparar métodos de interpolação visando à espacialização da evapotranspiração de referência (ET_o) diária, estimada pelo método de Penman-Monteith, no estado do Espírito Santo. Objetivou-se também, identificar se a variação espacial da ET_o segue o mesmo comportamento nos períodos com baixa radiação e alta radiação. A área de estudo se localiza entre as latitudes 17° 52' e 21° 19' S e as longitudes 39° 38' e 41° 50' O, na região Sudeste do Brasil, com área total de 46.184,1 km². Foram selecionadas 15 estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) como base para interpolação e dez para a validação cruzada, sendo, oito estações pertencentes à empresa Fibria e duas estações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). O período analisado nesse estudo foi uma série histórica diária de 2006 a 2012 (set/12), priorizando o uso de dados do período de 2010 a 2012. Foram utilizados três métodos de interpolação: o método geoestatístico Krigagem e os métodos determinísticos Inverso do Quadrado da Distância (IQD) e Spline. Três grupos de dados foram interpolados, o primeiro grupo com 75% das estações com radiação solar global \leq 40% da Ra (radiação solar no topo da atmosfera), sendo caracterizado como “Dias com baixa radiação relativa”; o segundo grupo com 75% das estações com chuva < 10 mm, caracterizado como “Dias com alta radiação relativa”; e o terceiro grupo, designado “Todos os Dias”, com interpolação de todos os dias sem falhas comuns a todas as estações, no total de 78 dias. O interpolador IQD apresentou melhor desempenho na espacialização da variável ET_o, para as três condições, representando assim, menor desvio e variação entre os valores da ET_o estimada pela equação de Penman-Monteith e ET_o estimada pelo método de interpolação IQD. O método IQD foi o que melhor se ajustou na espacialização da ET_o em forma de mapas com média do total de dias usado em cada grupo, apresentando assim, menor variação da diferença percentual entre as interpolações com todas as estações (INMET, Fibria, CPTEC/INPE) e somente com as estações do INMET. O interpolador IQD se mostrou, portanto, como

um bom método para a estimativa da variável evapotranspiração de referência diária nos locais onde não se dispõem de estações meteorológicas instaladas. A variação espacial da ETo segue o mesmo comportamento uniforme de distribuição de interpolação para os períodos com baixa radiação e alta radiação na superfície. Os valores estimados da ETo obtidos pelo método de interpolação IQD podem ser usados com confiança no manejo da irrigação.

Palavras-chave: Manejo da irrigação; Métodos de interpolação; Geoprocessamento.

ABSTRACT

SARAIVA, Giselle Sabadim; M. Sc; Federal University of Espírito Santo; February 2014; **Spacialization of evapotranspiration of daily reference in Espírito Santo**; Advisor: Robson Bonomo, Co-advisor: Alexandre Gomes Facco.

The aim of this study was to compare interpolation methods aiming at spacialization of the evapotranspiration of reference (ET_o) estimated by the Penman-Monteith method, in the state of Espírito Santo. The objective was also to identify the spatial variation of ET_o follows the same behavior in periods with low radiation and high radiation. The study area is located between latitudes 17° 52' and 21° 19' S and 39° 38' and 41° 50' longitudes O, in the Southeast region of Brazil, with a total area of 46,184.1 km². 15 automatic weather stations of the National Institute of Meteorology (INMET) were selected as the basis for interpolation and ten to cross-validation, with eight stations belonging to the company Fibria and two stations to Weather Forecasting and Climate Studies center (CPTEC/INPE). The period analyzed in this study was a daily time series from 2006 to 2012 (Sep/12), prioritizing the use of data of the period between 2010-2012. Three interpolation methods were used: Kriging geostatistical method and the deterministic methods Inverse Square the Distance (IQD) and Spline. Three groups of data were interpolated, the first group with 75% of the stations with solar radiation of $R_a \leq 40\%$ (solar radiation at the top of the atmosphere), being characterized as "Days with relative low radiation"; the second group with 75% of stations with precipitation <10 mm, characterized as "Days of Radiation on High"; and the third group, called "All Days" with interpolation every day without common to all stations flaws, totaling 78 days. The IQD interpolation performed better on the spatial distribution of ET_o variable for the three conditions, thus representing a smaller deviation and variation between the ET_o values estimated by the Penman-Monteith equation and ET_o estimated by IQD interpolation method. The IQD method was the one that best adjusted for interpolation of ET_o in the form of maps with the total average days used in each group, with this exhibiting less variation of the difference of percentage between the interpolations with all stations (INMET, Fibria, CPTEC/INPE) and only with the INMET stations. The IQD interpolation is therefore shown as a good method for estimating daily reference evapotranspiration variable in places where you do not have installed weather

stations. The spatial variation of ETo follows the same behavior uniform distribution of interpolation periods with low radiation and high radiation on the surface. The estimated values of ETo obtained by IQD interpolation method can be used with confidence in irrigation management.

Keywords: Irrigation management; Interpolation methods; GIS.

1. INTRODUÇÃO

A geoestatística está associada a uma classe de técnicas utilizadas para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço ou tempo, sendo definida como um conjunto de métodos estatísticos apropriados para analisar um atributo de um fenômeno que tem distribuição contínua sobre uma área geográfica (CARTRO, 2008). Assume também que a distribuição das diferenças de variáveis entre dois pontos amostrados é a mesma para toda a região em estudo, e que isto depende somente da distância entre eles e da orientação dos pontos (KRÜGER, 2005).

Diversos estudos têm utilizado métodos de interpolação espacial para estimativas e espacialização de variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, evapotranspiração), porém, ainda não há um método, considerado como o mais adequado para uma determinada variável. Logo há a necessidade de se testar vários métodos de interpolação para assim obter um modelo apropriado às condições de trabalho.

Para o manejo de irrigação, a evapotranspiração de referência (ET_o) diária é uma variável de grande importância que possibilita quantificar a necessidade de água a se aplicar em uma determinada cultura e região. A ET_o diária pode ser estimada por equações e por modelos de interpolação. O produto da ET_o com o

coeficiente da cultura (K_c) representa a evapotranspiração da cultura (ET_c), que estima a necessidade de água a ser aplicada, ou seja, apresenta-se com uma alternativa para racionalizar o uso da água na agricultura. Outro fator importante é que a partir da estimativa precisa da ET_c , os custos de aquisição dos equipamentos, bem como os impactos negativos da aplicação em déficit ou em excesso tendem a ser minimizados.

A estimativa da ET_o por equações, mais usualmente, pela equação de Penman-Monteith FAO-56, produzem valores satisfatórios para as condições climáticas de uma determinada região, ou um determinado dia.

A utilização dos métodos de interpolação para a variável ET_o , assim como para diferentes variáveis, possibilita estima-las em regiões onde não há presença de uma estação meteorológica instalada.

Dentre os métodos de interpolação, os de mais fácil entendimento das equações são os determinísticos, que levam em consideração, principalmente, a distância entre os pontos.

Uma ferramenta promissora na estimativa precisa da ET_o diária no correto manejo da irrigação, evitando o desperdício da água, principalmente em épocas mais quentes, de altas temperaturas, que se apresentam nas estações da primavera e do verão, é a disponibilização, quase que em tempo real, dos valores estimados da ET_o , através de software via internet que necessitam apenas da inclusão das coordenadas geográficas do local, para assim obter a lâmina de água a ser aplicada em uma determinada cultura.

Nesse sentido, o estudo teve como objetivo geral comparar métodos de interpolação visando à espacialização da evapotranspiração de referência (ET_o) diária no estado do Espírito Santo, bem como, observar se a variação espacial da ET_o segue o mesmo comportamento nos dias com baixa radiação e alta radiação relativa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Evapotranspiração

2.1.1 Histórico, definições e conceito

Segundo Camargo e Camargo (2000), o termo “evapotranspiração” foi introduzido por Thornthwaite e Wilm (1944) e, ao final da década de 1940, sugeriram duas importantes contribuições científicas, não somente para a agricultura, como também para a climatologia e hidrologia: “*An approach towards a rational classification of climate*”, de Warren Thornthwaite (1948) e “*Natural evaporation from open water, bare soils and grass*” de Howard Penman (1948).

Camargo e Camargo (2000) relatam que o trabalho de Thornthwaite foi uma pesquisa analítica, empírica e fundamentada na análise de fatos, enquanto Penman fez uma abordagem sintética científica e firmada no conhecimento físico que rege o fenômeno. De acordo com Sedyama (1996), Thornthwaite tinha a preocupação de explicar as variações sazonais do balanço de água no solo e tentar definir as

diferenças regionais do clima e por isso se baseia apenas na temperatura média do ar e na duração do dia, em média mensal. Já Penman se preocupou com os processos físicos envolvidos na evaporação e com o desenvolvimento de um método, que, a partir de elementos meteorológicos, expressasse a estimativa da taxa de evaporação da água em contato livre com a atmosfera, da umidade da superfície do solo e da vegetação.

Em seguida, aparece o conceito de evapotranspiração potencial, caracterizada como a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera, sob condições padronizadas (CARVALHO et al., 2011). O conceito foi introduzido em 1944 por Thornthwaite, para representar os processos conjuntos de evaporação e de transpiração que ocorrem naturalmente em uma superfície vegetada (PEREIRA et al., 2002).

A evapotranspiração potencial é a quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo, por uma cultura verde, de pequeno porte, cobrindo completamente o solo, de altura uniforme e não submetida a quaisquer restrições de água (PEREIRA et al., 2002; VIANELLO & ALVES, 2012).

Anteriormente à introdução do conceito da evapotranspiração potencial, a climatologia usava diferentes unidades de medida para expressar as condições climáticas: a chuva indicava a condição hídrica, expressa em milímetros pluviométricos; a temperatura, a condição térmica, expressa em graus térmicos; e o teor de água do solo, sua reserva hídrica, expressa em porcentagem (CAMARGO & CAMARGO, 2000; VIANELLO & ALVES, 2012).

Mais tarde, na década de 1960, Monteith, com base no método de Penman, propôs um novo método que estimava a evapotranspiração da cultura (ET_c), denominando assim de Penman-Monteith, e Doorebans e Pruitt (1977) introduziram o conceito de evapotranspiração de referência (ET_o).

Em maio de 1990, um grupo de especialistas e pesquisadores foi reunido pela Food and Agriculture Organization (FAO) para colaborar com a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem e com a Organização Meteorológica Mundial, para rever as metodologias da FAO sobre as necessidades hídricas das culturas e para aconselhar sobre a revisão e atualização dos procedimentos. O grupo de especialistas recomendou a adoção da combinação do método de Penman-Monteith como um novo padrão para a evapotranspiração de referência e aconselhou sobre

os procedimentos para cálculo dos diferentes parâmetros (ALLEN et al., 1998; LIMA JUNIOR, 2008; PEREIRA et al., 1997).

Assim, o novo conceito proposto para a evapotranspiração potencial passou a ser a evapotranspiração de referência, tornando-se, o conceito mais utilizado, sendo recomendado o emprego do método desenvolvido por Penman-Monteith, que, após parametrização, passou a ser denominado como Penman-Monteith FAO (PM-FAO), o qual foi bastante aceito internacionalmente.

Neste caso, a cultura de referência utilizada é uma cultura hipotética, cujas características se assemelham, bem de perto, à evapotranspiração da grama, permitindo assim que algumas características (valores numéricos) mantenham-se como parâmetros constantes no cálculo da ETo. Os parâmetros para a cultura hipotética são: altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência aerodinâmica da superfície de 70 s m^{-1} . Logo, a ETo é um elemento indicativo da demanda hídrica das culturas de um determinado local e período, ou seja, a evapotranspiração de referência expressa o poder de evaporação da atmosfera em um local específico e época do ano considerando apenas características de uma cultura hipotética (grama) sem restrição hídrica (ALLEN et al., 1998; CARVALHO et al., 2011; CARVALHO & OLIVEIRA, 2012; LIMA JUNIOR, 2008; PEREIRA et al., 1997).

O conceito de ETo foi introduzido para estudar a demanda evaporativa da atmosfera independentemente do tipo de cultura, o desenvolvimento da cultura e as práticas de gestão. Por isso, valores calculados ou medidos da ETo em regiões distintas podem ser comparados, pois se referem à mesma superfície hipotética, sendo os parâmetros climáticos os únicos que a influenciam (ALLEN et al., 1998; CARVALHO & OLIVEIRA, 2012).

A ETo fornece um padrão em que: a evapotranspiração em diferentes períodos do ano ou em outras regiões podem ser comparadas; e a evapotranspiração de outras culturas podem ser relacionadas (ALLEN et al., 1998). É normalmente expressa em lâmina de água por unidade de tempo. A unidade lâmina de água é expressa em milímetros (mm) e a unidade tempo pode ser expressa em hora, dia, meses, um período de crescimento ou ano (ALLEN et al., 1998; CARVALHO & OLIVEIRA, 2012).

Evapotranspiração é, portanto a combinação de dois processos separados, em que a água é transferida a partir da superfície do solo e das plantas por meio de evaporação, e a partir da cultura por transpiração (ALLEN et al., 1998).

As principais variáveis meteorológicas usadas na equação de Penman-Monteith são: temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento e radiação solar. De posse dessas variáveis obtém-se então a declividade da curva de pressão de vapor de saturação, o saldo de radiação na superfície da cultura, a densidade de fluxo de calor no solo, a velocidade do vento corrigido, a pressão de saturação de vapor e a pressão de vapor atual. A equação expressa a demanda evaporativa da atmosfera.

2.1.2 Fatores que afetam a evapotranspiração

Os fatores que podem afetar a evapotranspiração estão diretamente ligados aos parâmetros meteorológicos, tais como: radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Parâmetros da planta, como: tipo de cultura, área foliar, variedade, estágio de desenvolvimento, arquitetura foliar, resistência do dossel e outros que estão associados ao valor do coeficiente de cultura (K_c). Parâmetros de manejo e aspectos ambientais, como: salinidade do solo, fertilidade da terra, aplicação limitada de fertilizantes, presença de horizontes duros ou impenetráveis do solo, ausência do controle de doenças e pragas (ALLEN et al., 1998; CRUZ, 2005; MEDEIROS, 2002).

Outro fator que interfere na evapotranspiração é a irrigação. Segundo Allen e Pruitt (1986), a irrigação modifica o clima local, resfriando e umedecendo o ar, além de reduzir as turbulências nas massas de ar que avançam de áreas não irrigadas para áreas irrigadas. Devido a essa modificação, ocorre uma redução do potencial evaporativo das massas de ar e, conseqüentemente, a evapotranspiração de referência. Esses autores relatam também que estudos anteriores têm demonstrado uma redução na temperatura média do ar de 2 a 5 °C em áreas irrigadas, quando comparadas às áreas não irrigadas, com um aumento correspondente da umidade relativa do ar e um decréscimo no déficit de pressão de vapor.

2.1.3 Métodos de determinação e estimativa da evapotranspiração

A determinação do consumo de água de uma cultura é de fundamental importância no contexto agrícola e ambiental, podendo assim, ser obtida a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e na atmosfera. Os métodos baseados em medidas no solo se fundamentam direta ou indiretamente na determinação do teor de água presente no substrato; os métodos baseados na planta utilizam o monitoramento do seu potencial hídrico e avaliações da resistência estomática, da temperatura da folha, dentre outros; e os métodos baseados no clima consideram desde simples medições da evaporação da água num tanque, como o tanque Classe A, até complexas equações para estimativa da evapotranspiração (ROCHA et al., 2003).

De acordo com Oliveira e Carvalho (1998) existe dificuldade na estimativa da ETo de uma localidade para o planejamento correto da irrigação, pois para a maior parte dos métodos utilizados são necessários dados meteorológicos e também coeficientes de ajuste, estes normalmente não disponíveis ao irrigante, e, além disso, existem problemas de sub ou superestimativas da lâmina evapotranspirada.

Vários métodos, mais ou menos empíricos, foram desenvolvidos ao longo dos últimos 50 anos por numerosos cientistas e especialistas de todo o mundo para estimar a evapotranspiração de diferentes variáveis climáticas. Porém, era frequentemente sujeitos a rigorosas calibrações locais, provando assim ter validade global limitada. Quatro métodos foram apresentados para o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo): Blaney-Criddle, radiação, Penman modificado e tanques de evaporação (ALLEN et al., 1998).

O método de Penman modificado pode exigir calibração local da função do vento para alcançar resultados satisfatórios. O método de radiação mostra bons resultados em climas úmidos, onde a aerodinâmica é relativamente pequena, mas o desempenho em condições áridas é irregular e tende a subestimar a evapotranspiração. Os métodos de temperaturas permanecem empíricos e exige calibração local, uma exceção é o método de Hargreaves 1985. O método de tanques de evaporação refletem claramente as deficiências de se determinar a evapotranspiração em tanque aberto com água (ALLEN et al., 1998).

São várias as equações para a determinação da evapotranspiração baseadas em dados meteorológicos. A maioria delas é de difícil aplicação, por apresentarem complexidade nos cálculos e exigir grande número de elementos meteorológicos, estes somente fornecidos por estações automáticas (BERNARDO et al., 2006). As equações mais usadas e divulgadas são: Método Blaney-Criddle, Método de Hargreaves, e o Método de Penman-Monteith.

O método Blaney-Criddle relaciona os valores da evapotranspiração mensal com o produto da temperatura média mensal pela porcentagem mensal das horas anuais de luz solar, o qual foi modificado pela FAO, incluindo ajustes climáticos locais. O método de Hargreaves, segundo Bernardo et al. (2006), também se baseia na radiação extraterrestre, na temperatura máxima, mínima e média diária, sendo que para alguns lugares, também se leva em consideração a altitude do local, para a determinação da evapotranspiração potencial de referência.

Alguns critérios devem ser levados em consideração na escolha do método a ser utilizado na estimativa da evapotranspiração de referência, segundo Mello (1998) apud Cruz (2005) é necessário saber quais são os elementos climáticos disponíveis numa região. De acordo com Sentelhas (2001) apud Cruz (2005) existem três fatores importantes que podem influenciar na escolha adequada do método de estimativa da evapotranspiração de referência: disponibilidade de dados meteorológicos, fazendo com que métodos como o de Penman-Monteith FAO 56 não possam ser empregados em locais que disponham de apenas dados de temperatura; a escala de tempo requerida; e a adaptabilidade dos métodos empíricos à região de estudo.

A decisão pelo método de estimativa da evapotranspiração varia conforme sua aplicação, atendendo às necessidades de precisão e duração dos períodos de cálculo. Em projetos de irrigação são requeridos períodos curtos, diários a decendiais, sendo necessária a adoção de um método preciso para aquela condição (OLIVEIRA & VOLPE, 2003 apud LIMA JUNIOR, 2008).

2.2 Sistemas de informações geográficas (SIG)

O termo geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. As atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados SIG (sistemas de informações geográficas), que coletam, armazenam e manipulam dados georeferenciados (INPE, 2004).

O SIG refere-se aos sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georeferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica qualquer. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

2.2.1 Aplicação de SIG na agricultura

Os sistemas de informações geográficas (SIG) são ferramentas cada vez mais utilizadas no planejamento de atividades agrícolas, onde se obtém de forma rápida e prática, banco de dados e documentos cartográficos com as mais diversas informações que irão servir de base para o adequado planejamento.

Devido a sua ampla gama de aplicações, onde estão incluídos temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG: como ferramenta para produção de mapas; como suporte para análise espacial de fenômenos; ou como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Diversos trabalhos têm sido realizados utilizando o SIG para diferentes aplicações e objetivos. Segundo Carvalho et al. (2005), na indicação de áreas

agroeconomicamente mais aptas para a implantação da cultura do coqueiro irrigado em áreas de assentamentos rurais, utilizando-se de mapas digitais de solo e planialtimetria, além de mapas temáticos com informações de drenagem, estradas e limites dos lotes com sobreposição dos temas solo, clima e relevo, o SIG se mostrou eficaz na identificação das áreas mais aptas, sob o ponto de vista agroeconômico, para a implantação de culturas irrigadas, sendo facilmente aplicável para outras culturas e áreas de estudos.

Assad et al. (1998a) trabalhando com a estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica comprovaram o grande potencial do SIG na integração de dados geocodificados. Apresentando para pequenas áreas, algumas vantagens, como a elevada precisão do produto final e a economia de tempo em relação aos métodos tradicionais de análise. Logo, os planejamentos de manejo e de conservação de solo e água de uma microbacia hidrográfica, podem ser executados mais precisa e rapidamente com a utilização do SIG.

Silva et al. (2008) comprovaram a aplicabilidade do SIG no mapeamento da renda líquida aplicada no planejamento da agricultura irrigada de maracujá, cana-de-açúcar, abacaxi e mamão na região de Campos dos Goytacazes, norte do Rio de Janeiro, onde os maiores retornos econômicos sugerido pelo SIG foram para o cultivo das culturas do abacaxi e mamão.

Assad et al. (1998b) apresentaram algumas vantagens do SIG na avaliação de terras para agricultura, como a redução da subjetividade embutida em operações de cruzamento manual de informação sobre o meio ambiente; a rapidez nas operações de sobreposição de mapas e de cálculo de áreas; a possibilidade de obtenção de vários mapas temáticos, além da facilidade de atualização e aperfeiçoamento dos diagnósticos a partir de novos dados na base cartográfica.

Biffi e Rafaeli Neto (2008) utilizaram o SIG na avaliação do comportamento de variáveis agronômicas da maçã 'Fuji' durante dois anos de observações no planalto serrano de Santa Catarina, produzindo mapas temáticos que auxiliaram na tomada de decisão, em que evidenciaram a variabilidade espacial dos atributos de produção da macieira. Os autores concluíram que o SIG pode vir a ser uma alternativa de baixo custo para manejo de sítios específicos de produção de maçã.

Coelho (2005) destaca a importância do SIG na agricultura de precisão gerando informações e auxiliando na tomada de decisão. Trabalhando com o

manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas, o autor descreve o uso do SIG como um dos componentes básicos da agricultura de precisão.

Silva e Assad (1998) em trabalho com análise espaço-temporal do potencial hídrico climático do estado de Goiás, visando o aproveitamento das chuvas entre os meses de janeiro a abril, o SIG constitui-se numa ferramenta importante na estimativa e espacialização da disponibilidade hídrica potencial no estado de Goiás.

Segundo Perdigão (2003) as necessidades específicas da agricultura vêm exigindo gradualmente, a utilização de vários meios que envolvem tecnologias da informação, sistemas de monitorização e acompanhamento, SIG e detecção remota com vários níveis de resolução espaço-temporal. Em seu trabalho, utilizando SIG na gestão da água para a agricultura, o autor descreve que a utilização dessa ferramenta pode: fornecer informações aos irrigantes sobre quando e que quantidade de água devem aplicar a cada cultura, levando em consideração o tipo de solo; comparar os volumes de água fornecidos com os previstos, de forma a adaptá-los ao longo do turno de rega; conhecer a distribuição espacial das atividades agrícolas ao longo do ano e da evolução das culturas ao longo do turno de rega; apoiar a estimativa antecipada da produção, considerando as características hidrológicas do ano e o seu impacto nas culturas.

Alguns fenômenos extremos da natureza que causam perdas generalizadas, como terremotos, furacões, tornados ou maremotos, podem ser previstos, mas não evitados. Pellegrino et al. (1998) em seu trabalho com o uso de SIG no mapeamento de informações agrometeorológicas comprovam a aplicação do SIG em agrometeorologia, onde sua função é transformar dados numéricos, obtidos em pontos geograficamente na superfície, em mapas interpolados a partir das informações originais. Assim podem-se ter valores estimados para todas as localidades da região apresentada, não se restringindo apenas aos dados observados. Gerando assim, uma série de informações confiáveis, sem a necessidade de observação direta.

O agricultor, de posse de informações básicas atualizadas, tem melhores condições e maiores chances de sucesso no combate às adversidades climáticas. Podendo assim, escolher as épocas adequadas para plantio e colheita, o momento e a quantidade certa de irrigar, o momento correto de manejar o solo e a forma de se proteger das pragas. Portanto a disseminação das informações através de mapas na

maioria das vezes é mais eficiente para se atingir os usuários finais, que necessitam aplicá-las, por exemplo, em suas atividades agrícolas.

2.2.2 Interpoladores

Os interpoladores são ferramentas matemáticas que atribuem valores relativos a alguma variável em pontos inseridos num campo, a partir, de valores já existentes, transformando dados discretos em contínuos (SURFER, 2002). Segundo Rolim et al. (2010) a aplicação destes modelos nos domínios espaciais requer uma série de dados meteorológicos interpolados espacialmente, uma vez que os modelos são desenvolvidos e parametrizados ao nível da parcela com o recurso de medições locais detalhadas.

2.2.2.1 Métodos de interpolação espacial (geoestatístico e determinístico)

A interpolação espacial de amostras é um procedimento que permite construir um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais conhecidos. Assim, a interpolação constitui-se num método de estimar um parâmetro para o qual não existe informação disponível, considerando-se que os pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais semelhantes do que pontos mais afastados (SOUZA et al., 2011).

Os métodos de interpolação podem ser usados com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de um determinado atributo, baseado em dados amostrais situados numa localidade de interesse (JIMENEZ & DOMECCQ, 2009). As técnicas de interpolação apresentam precisão e agilidade e permitem desenvolver práticas apropriadas e medidas mitigadoras quanto às culturas e atividades implantadas em uma localidade, onde o clima influencia diretamente no desenvolvimento dos vegetais (GARDIMAN JUNIOR et al., 2012).

Muitos trabalhos têm utilizados de métodos de interpolação espacial para estimativas de variáveis ou parâmetros geograficamente distribuídos, porém, não se atentando para a necessidade de definir qual o melhor método de interpolação, não existindo até o momento evidência de que um método qualquer seja considerado o melhor para diversas condições (CASTRO, 2008). Lennon e Tunner (1995) confirmam que é necessário determinar o melhor método de interpolação para cada situação em trabalhos que utilizam a espacialização das informações, sendo assim, realizado através de uma avaliação do desempenho dos interpoladores para cada variável em estudo.

A geoestatística tem apresentado aplicações crescentes na avaliação da variabilidade espacial nos parâmetros de interesse em ciências agrárias, permitindo assim o mapeamento, a quantificação e a modelagem de fenômenos contínuos, interpolando pontos amostrados no espaço (SOUZA et al., 1998; VIEIRA, 1997).

Segundo Vieira (2000) apud Silva (2006), a estatística clássica utiliza os parâmetros, como a média e o desvio padrão, para representar um fenômeno e se baseia na hipótese principal de que as variações de um local para o outro são aleatórias, e a geoestatística utiliza o semivariograma que expressa dependência espacial entre as amostras. Em que, havendo dependência espacial, podem-se estimar valores da propriedade em estudo para os locais não amostrados dentro do campo, sem tendenciosidade e com variância mínima, pelo método da Krigagem.

Métodos geoestatísticos tais como a Krigagem são considerados como sendo mais precisos na maioria dos casos, porém podem produzir resultados bem próximos daqueles produzidos por simples métodos determinísticos como o inverso do quadrado da distância (IQD) (SPADAVECCHIA & WILLIAMS, 2008; THORNTON et al., 1997; CAMARGO et al., 2004). A vantagem está ligada ao uso da semivariância onde é determinado o grau de dependência espacial entre duas amostras, sendo a magnitude entre dois pontos dependente da distância entre eles. O gráfico das semivariâncias resulta no semivariograma. Enquanto que os métodos determinísticos usam apenas a distância para o cálculo da estimação.

Vários métodos de interpolação, com diversos níveis de complexidade, estão disponíveis na literatura (CARVALHO et al., 2002). Estudos mostram que o método inverso do quadrado da distância (IQD) é mais fácil de realizar enquanto que a Krigagem consome mais tempo e é mais complicada em sua aplicação. Por outro

lado, a Krigagem produz uma descrição mais acurada, uma variância mínima e sem tendenciosidade.

2.2.3 Semivariograma experimental

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, pois permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço. O semivariograma pode ser estimado pela Equação 1:

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

em que:

$N(h)$ = número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h .

Os principais parâmetros do semivariograma podem ser observados na Figura 1 (DRUCK et al., 2004):

- Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.
- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente ao seu alcance (a). Desse ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]$) torna-se aproximadamente constante.
- Efeito Pepita (C_0): idealmente, $\gamma(0) = 0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para zero, $\gamma(h)$ aproxima-se de um valor positivo chamado Efeito Pepita (C_0) que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. O efeito pepita é o valor da semivariância para a distância zero e representa a componente da

variabilidade espacial que não pode ser relacionada com uma causa específica (variabilidade ao acaso). Parte dessa descontinuidade pode ser também devida a erros de medição, sendo impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pelo suporte da amostragem.

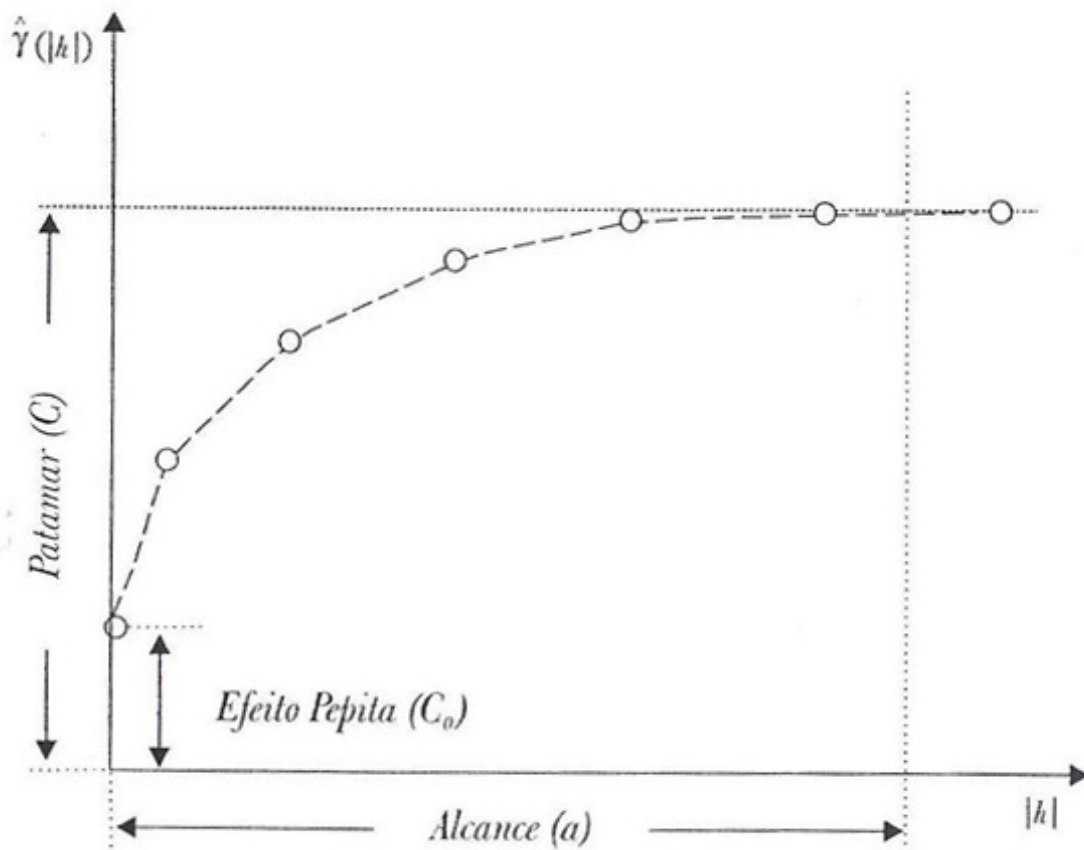


FIGURA 1. Parâmetros do semivariograma.

O procedimento de ajuste não é direto e automático, como no caso de uma regressão, mas interativo, pois nesse processo o interprete faz um primeiro ajuste e verifica a adequação do modelo teórico. Os modelos mais utilizados são: o esférico (Sph), o exponencial (Exp) e o gaussiano (Gau) como podem ser observados na Figura 2 (DRUCK et al., 2004).

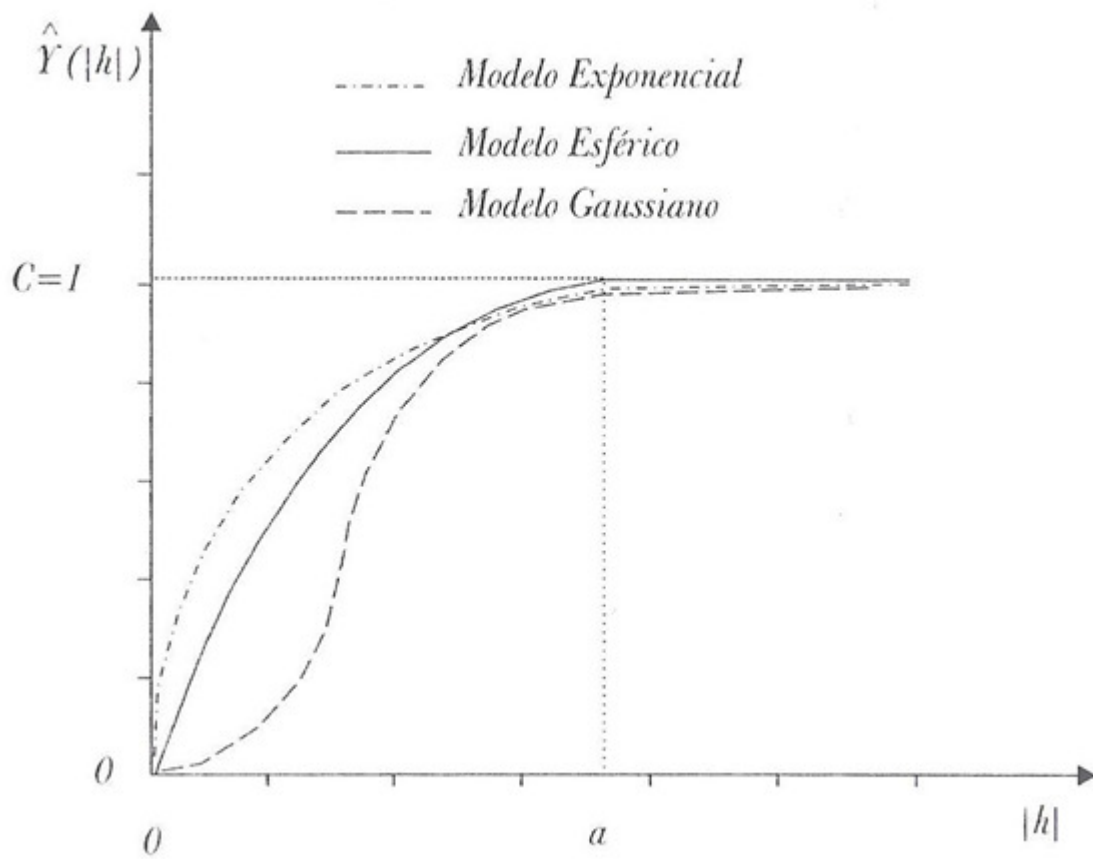


FIGURA 2. Representação gráfica de modelos transitivos normalizados.

- Modelo Esférico

Representa um fenômeno de transição bastante usado em geoestatística expresso pela Equação 2:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad 0 < h < a \quad (2)$$

O modelo é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita (C_0) e do patamar ($C_0 + C$). Posteriormente, passando-se uma reta que intercepte o eixo Y em C_0 e seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h = 0$. Essa reta cruzará $C_0 + C$ na distância $a = 2/3a$. Assim sendo, o alcance (a) será $a = 3a/2$. O modelo esférico é linear até aproximadamente $1/3$ de a .

- Modelo Exponencial

Outro modelo bastante utilizado é o exponencial, expresso pela Equação 3:

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

O alcance (a) é determinado visualmente como a distância após a qual o semivariograma se estabiliza. A diferença entre o modelo esférico e o exponencial é a distância (abscissa) em que suas tangentes a partir da origem atingem o patamar, sendo $2/3a$ para o modelo esférico, e $a/3$ do alcance prático para o exponencial este utilizando 95% do patamar. Dessa forma o modelo esférico atinge o patamar mais rápido que o exponencial. Os parâmetros C_0 e C_1 para os modelos exponencial e gaussiano são determinados da mesma maneira que para o esférico.

- Modelo Gaussiano

É um modelo transitivo, muitas vezes, usado para modelar fenômenos extremamente contínuos. O modelo é expresso pela Equação 4:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-3 \left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right] \quad 0 < h < a \quad (4)$$

Esse modelo cresce, sem limites, para todos os valores de h calculados. Indica, ainda, a presença de fenômeno com capacidade infinita de dispersão, o qual não tem variância finita e, para o qual a covariância não pode ser definida. Semelhante ao exponencial, o modelo gaussiano atinge o patamar assintoticamente e o parâmetro (a) é definido como o alcance prático ou distância cujo valor do modelo é 95% do patamar. O que o caracteriza é seu comportamento parabólico próximo à origem.

2.2.4 Método de interpolação Krigagem

O termo Krigagem é derivado do nome Daniel G. Krige, que foi o pioneiro a introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de

reservas de mineração. O método geoestatístico da Krigagem foi desenvolvido para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, mas seu uso se expandiu com sucesso no mapeamento de solos, mapeamento hidrológico, mapeamento atmosférico entre outros campos correlatos (CAMARGO et al., 2004; DRUCK et al., 2004).

De acordo com Dalposso (2010), foi em 1951, na África do Sul, ao estudar dados de concentração de ouro, que Daniel G. Krige, concluiu que a não observação das distâncias entre as amostras, não explicaria as variâncias. Krige concluiu que a variância dos dados possuía uma estruturação de dependência com as distâncias de amostragem.

É um método de interpolação desenvolvido por Matheron, usado para obtenção de mapas espaciais de parâmetros de solo, a partir de amostragens (MARQUES JÚNIOR & CORÁ, 1998 apud ZINI JÚNIOR, 2008). Sendo assim uma homenagem de Matheron ao pioneirismo de Daniel Krige, que foi quem introduziu o uso de médias para avaliações pontuais em minas de ouro na África do Sul.

O que diferencia a Krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado (CAMARGO et al., 2004; DRUCK et al., 2004).

O método da Krigagem compreende um conjunto de técnicas de estimação e de predição de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial. A hipótese do procedimento geoestatístico é de que o processo estudado é estacionário, ou seja, a média é constante e a covariância depende do vetor da distância relativa entre todos os pares de pontos em toda a região estudada, não havendo tendência. Para realizar a Krigagem alguns passos devem ser empregados, tais como: análise exploratória dos dados; análise estrutural; e, interpolação estatística da superfície (DRUCK et al., 2004).

O fundamento teórico da geoestatística está baseado na associação entre o conceito de variável regionalizada, desenvolvido pelo francês Georges Matheron, em 1963, que é uma variável distribuída no espaço (ou tempo) e os procedimentos estocásticos pelo conceito de função aleatória. A função aleatória considera que os valores associados a cada ponto no espaço são como realizações de um conjunto de variáveis aleatórias cuja dependência espacial é representada pela estrutura de

covariância espacial ou semivariograma espacial (ALCÂNTARA, 2007; DRUCK et al., 2004; MANZIONE, 2002).

A Krigagem prioriza a estimação da estrutura de dependência espacial e requer que a hipótese de estacionaridade ou de segunda ordem ou intrínseca, seja assumida para que essa estrutura possa ser estimada ou por meio da covariância ou pelo semivariograma, uma vez que em cada ponto observado tenha uma única observação efetuada. E o uso do semivariograma se torna uma ferramenta básica de suporte às técnicas de Krigagem, pois permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (DRUCK et al., 2004).

Os estimadores de Krigagem apresentam propriedades de não serem tendenciosos e de minimizarem os erros inferenciais, englobando um conjunto de métodos de estimação que pode ser dividido em: procedimentos estacionários (Krigagem simples e ordinária), não estacionários (Krigagem universal, funções intrínsecas de ordem k), univariados e multivariados (co-Krigagem) (DRUCK et al., 2004).

O método de interpolação Krigagem ordinária é um modelo (geo)estatístico de efeito global e local, em que cada ponto da superfície é estimado apenas tendo como base a interpolação dos valores das amostras mais próximas, utilizando um estimador estatístico. Segundo Silva (2006), na Krigagem ordinária as flutuações locais são consideradas, limitando o domínio de sua estacionaridade para a vizinhança do local, sendo sua média constante, porém desconhecida. Supondo que se queira estimar valores, Z^* , para qualquer local x_0 , onde não se tem valores medidos, assumindo estacionaridade de ordem 2 e que a estimativa deve ser uma combinação linear dos valores medidos, o estimador será representado conforme Equação 5 (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989 apud MANZIONE, 2002) :

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N [\lambda_i Z(x_i)] \quad (5)$$

em que:

$Z^*(x_0)$ = valor estimado no ponto x_0 não amostrado;

$Z(x_i)$ = valor obtido por amostragem no campo;

N = número de valores medidos $Z(x_i)$, envolvidos na estimativa;

λ_i = pesos associados a cada valor medido $Z(x_i)$.

2.2.5 Método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD)

No método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD), o valor interpolado para o ponto X_0 é a média ponderada das N observações vizinhas, onde os pesos são determinados como a inversa da potência da distância de cada observação para o ponto X_0 (SOARES, 2006 apud ROLIM et al., 2010).

O IQD é um estimador determinístico de valores não amostrais a partir de uma combinação linear de valores de pontos conhecidos, ponderados por uma função da distância. Considerando que os pontos próximos dos locais não amostrados são mais representativos do que aqueles mais afastados. Assim, a ponderação muda de acordo com a distância linear das amostras aos pontos não amostrados (AMORIM, 2009; CAMARGO et al., 2004).

A influência de cada observação no valor estimado de um dado ponto é determinada pelo inverso da distância da observação ao ponto, elevada a uma potência, geralmente a potência de 2, sendo que quanto maior for essa potência maior será a influência da observação mais próxima, e que quando a potência é zero os pesos tornam-se iguais para todas as observações. Mello et al. (2003) também afirmam que este interpolador é largamente utilizado com o expoente 2, originando bons resultados, e que recebe a denominação de inverso do quadrado da distância (IQD).

Este foi o primeiro método analítico para estimativa de valores de variáveis de interesse em pontos não amostrados, sendo descrito pela primeira vez por Weaver em 1964 (PHILIP & WATSON, 1987 apud CASTRO, 2008). Nesse método o valor de um atributo em um local não é visitado, é ponderado pela distância média dos dados que estão em sua vizinhança, ou seja, o algoritmo IQD calcula estimativas de valores desconhecidos dependendo dos valores vizinhos, usando o coeficiente da potência $k \in \{2\}$, sendo o mais utilizado na literatura segundo Amorim (2009) conforme Equação 6:

$$x_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{x_j}{d_{ij}^k} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{d_{ij}^k} \right)} \quad (6)$$

em que:

x_i = valor estimado no ponto i ;

d_{ij} = distância entre os pontos i e j ;

x_j = valor amostrado de x no ponto j ;

n = número de pontos da amostra;

k = coeficiente da potência do interpolador.

2.2.6 Método de interpolação Spline Tensionado

‘Spline’ é um termo em inglês empregado para denominar as antigas régua flexíveis, bastante utilizadas nos desenhos de curvas que contém pontos pré-determinados. É baseada na função de interpolação que deve passar pelos pontos amostrados ou próximos a eles, de uma maneira mais suave possível (MITAS & MITASOVA, 1999 apud CANELLO, 2011). O interpolador é caracterizado como um método determinístico, local, de transição gradual e exato (MATOS, 2005).

O método “Spline” tensionado controla a rigidez da superfície, criando uma superfície menos lisa. Onde os valores estimados são mais próximos dos valores amostrados. Quanto maior o número de pontos na amostra, mais suave é a superfície de saída (ESRI, 2012). É um método que ajusta uma superfície analítica, tomando como base as equações polinomiais, onde são incluídos todos os pontos disponíveis no espaço amostral, objetivando a interpolação dos valores em cada quadrícula do GRID, gerando uma superfície onde a declividade de qualquer um dos pontos é obtida, minimizando assim a curvatura total (FARIAS et al., 2011)

A função Spline para a interpolação de superfícies (ESRI, 2011) é descrita conforme Equação 7:

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad (7)$$

em que:

$j = 1, 2, 3, \dots, N$;

N = número de pontos;

λ_j = coeficientes encontrados pela solução de um sistema de equações lineares;

r_j = distância do ponto (x, y) até o ponto j^{th} .

Para a opção Tensão, $T(x, y)$ e $R(r)$ são calculados segundo as Equações 7.1 e 7.2, respectivamente:

$$T(x, y) = a_1 \quad (7.1)$$

$$R(r) = -\frac{1}{2\pi\varphi^2} \left[\ln\left(\frac{r\varphi}{2}\right) + c + K_0(r\varphi) \right] \quad (7.2)$$

em que:

φ^2 = parâmetro de entrada na linha de comando;

r = distância entre o ponto e amostra;

K_0 = função de Bessel modificada;

c = constante igual a 0,577215;

a_i = coeficientes encontrados pela solução de um sistema de equações lineares.

O método “Spline” é usado para representar todas as variáveis cujo comportamento apresenta mudanças suaves, como por exemplo, variáveis hidroclimatológicas que se distribuam lentamente no espaço, em função da atuação de fenômenos meteorológicos de escala global (FARIAS et al., 2011).

2.3 Teste e validação dos interpoladores

Para avaliar o desempenho dos métodos de interpolação, a partir dos dados de uma rede de estações meteorológicas, geralmente é usada a validação cruzada.

O processo de validação cruzada (VC), de acordo com Caruso e Quarta (1998), é bem simples, consistindo em retirar do conjunto de dados amostrais um valor de cada vez e estimá-lo utilizando-se do método de interpolação, a partir das observações restantes, que sempre será o conjunto de dados originais menos uma observação. Assim, com o valor real e estimado para o mesmo ponto, pode-se calcular o erro da estimativa pela diferença entre esses valores. Após, retorna o valor original ao conjunto e retira-se outro valor, repetindo assim o processo para o conjunto todo, logo, para cada observação, tem-se o erro de estimativa. Portanto, aquele que apresentou os menores erros se comportou melhor que os demais.

Vários trabalhos utilizam e recomendam a VC como forma de avaliação dos métodos de interpolação. Assim como Amorim (2009) que faz a validação do método de interpolação Inverso da Distância Ponderada (IDP) usando a validação cruzada, outros autores, como Silva et al. (2008) e Costa et al. (2012) sugerem também a validação dos métodos de interpolação para a Krigagem e o Inverso do Quadrado da Distância (IQD), diminuindo as incertezas da análise estatística ao longo do processo e estimando o erro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da região de estudo

A área de estudo compreende o estado do Espírito Santo, localizado entre as latitudes 17° 52' e 21° 19' S e as longitudes 39° 38' e 41° 50' O, na região Sudeste do Brasil, com área total de 46.184,1 km² (SILVA et al., 2011; CASTRO et al., 2010).

A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do banco de dados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) a altitude média do estado é de 312 m, sendo que 65% do estado têm altitude inferior a 300 m e 15% altitudes superiores a 700 m. As regiões de faixa litorânea apresentam temperatura média anual acima de 24°C, enquanto que a região serrana apresenta, em sua maior parte, temperatura média anual entre 16 e 22°C (CASTRO et al., 2011).

O clima do estado segundo a classificação de Köppen enquadra-se nas zonas climáticas A e C, sendo a primeira quente e úmida e a outra tropical de altitude (mesotérmico). O estado compreende ainda os tipos climáticos Aw, Am, Cf e Cw, e também as variações Cfa, Cfb, Cwa e Cwb, sendo que o clima é influenciado,

de maneira marcante, pelo relevo, altitude e exposição das serras (SIQUEIRA et al., 2004).

3.2 Dados das estações meteorológicas

Foram utilizadas 15 estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instaladas dentro do estado do Espírito Santo e em seus estados vizinhos (Bahia, Minas Gerais e Rio de Janeiro), oito estações pertencentes à empresa Fibria e duas estações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), com dados horários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento e radiação solar, conforme Figura 3.

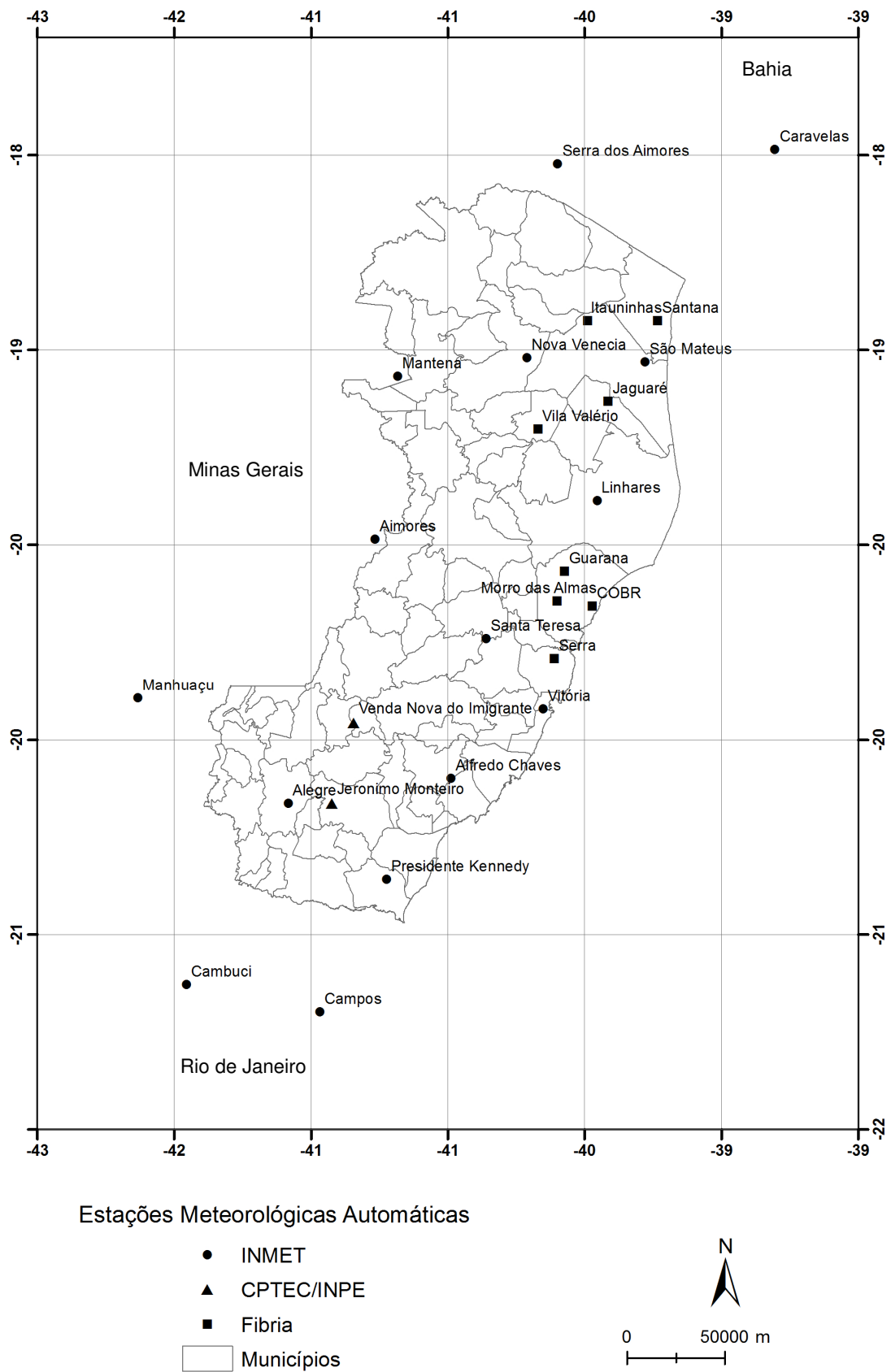


FIGURA 3. Localização das estações meteorológicas automáticas no estado do Espírito Santo e nos estados limítrofes.

As estações utilizadas para validação cruzada são pertencentes à Fibria e ao CPTEC/INPE. O período analisado nesse estudo foi uma série histórica de 2006 a 2012 (set/12), totalizando 2131 dados meteorológicos diários. Sendo priorizado o uso de dados do período de 2010 a 2012, um total de 1004 dados diários, em razão do elevado número de falhas presentes nos anos de 2006 a 2009, além das estações de Presidente Kennedy, Nova Venécia e Manhuaçu que foram implantadas a partir de 2008.

3.2.1 Análise da consistência dos dados

A consistência de dados teve por objetivo a correção de erros grosseiros que ocorrem durante a coleta de dados. A análise consistiu em traçar gráficos de dispersão no plano cartesiano da variável ETo diária comparada a duas estações próximas (FABRICIO et al., 2012).

3.3 Determinação da evapotranspiração de referência (ETo)

A evapotranspiração de referência (ETo) foi determinada segundo a equação de Penman-Monteith descrita no Boletim 56 da Food and Agriculture Organization (FAO-56) (ALLEN et al., 1998), conforme Equação 8:

$$E_{To} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (8)$$

em que:

ETo = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹);

R_n = saldo de radiação na superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

G = densidade de fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

T = temperatura média diária ($^\circ\text{C}$);

U_2 = velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1});

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a = pressão de vapor atual (kPa).

A constante psicrométrica “ γ ” foi calculada empregando-se a Equação 9:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P \quad (9)$$

em que:

γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

P = pressão atmosférica (kPa).

Para padronização (ALLEN et al., 1998), a temperatura média (T_{med}) para períodos de 24 horas foi definida como a média da temperatura máxima diária (T_{max}) e temperatura mínima diária (T_{min}), conforme Equação 10:

$$T_{med} = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \quad (10)$$

Sendo que a pressão de saturação de vapor média está relacionada com a temperatura do ar, logo foi calculada segundo Equação 11 e 12, respectivamente:

$$e^o(T) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27 T}{T+237,3} \right] \quad (11)$$

em que:

$e^o(T)$ = pressão de saturação de vapor à temperatura do ar (kPa);

T = temperatura do ar, máxima ou mínima ($^\circ\text{C}$).

$$e_s = \frac{e^\circ(T_{\max}) + e^\circ(T_{\min})}{2} \quad (12)$$

em que:

e_s = pressão de saturação de vapor médio (kPa);

$e^\circ(T_{\min})$ = pressão de saturação de vapor à temperatura mínima diária (kPa);

$e^\circ(T_{\max})$ = pressão de saturação de vapor à temperatura máxima diária (kPa).

O valor de “ e_a ” foi derivado de dados de umidade relativa do ar, calculado de acordo com a Equação 13:

$$e_a = \frac{e^\circ(T_{\min}) \frac{UR_{\max}}{100} + e^\circ(T_{\max}) \frac{UR_{\min}}{100}}{2} \quad (13)$$

em que:

e_a = pressão de vapor atual (kPa);

$e^\circ(T_{\min})$ = pressão de saturação de vapor à temperatura mínima diária (kPa);

$e^\circ(T_{\max})$ = pressão de saturação de vapor à temperatura máxima diária (kPa).

UR_{\max} = umidade relativa máxima do ar (%);

UR_{\min} = umidade relativa mínima do ar (%).

A diferença entre “ e_s ” e “ e_a ”, denominado déficit de pressão de vapor (DPV), foram calculados usando as Equações 12 e 13, respectivamente, citadas acima.

O valor de “ Δ ”, declividade da curva de pressão de vapor de saturação, foi calculado segundo Equação 14:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp \left(\frac{17,27 T}{T+237,3} \right) \right]}{(T+237,3)^2} \quad (14)$$

em que:

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹);

T = temperatura média diária do ar (°C).

A radiação solar extraterrestre (R_a), para cada dia do ano e para diferentes latitudes foi estimada a partir da constante solar (G_{sc}), da declinação solar (ω_s) e da época do ano, conforme as Equações 15, 16, 17 e 18, respectivamente:

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \text{ sen}(\varphi) \text{ sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{ sen}(\omega_s)] \quad (15)$$

em que:

R_a = radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

G_{sc} = constante solar igual a $0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$;

φ = latitude (rad);

d_r = inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (Equação 12);

δ = dizimação da energia solar (Equação 13) (rad);

ω_s = ângulo horário do Sol (Equação 14) (rad).

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (16)$$

$$\delta = 0,409 \text{ sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (17)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (18)$$

em que:

J = número de dias no ano entre 1 e 365 ou 366;

O número de horas do dia foi calculado utilizando a Equação 19:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (19)$$

em que:

N = duração máxima possível da luz do sol (horas);

ω_s = ângulo horário do Sol (Equação 18) (rad).

A radiação solar global (R_s) diária foi obtida pela integralização dos valores horários registrados nas estações automáticas.

A radiação solar para céu claro (R_{so}) foi calculada através da Equação 20:

$$R_{so} = (a_s + b_s)R_a \quad (20)$$

em que:

R_{so} = radiação solar para céu claro ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

$a_s + b_s$ = fração da radiação extraterrestre que atinge a Terra em dias claros, sendo recomendado $a_s = 0,25$ e $b_s = 0,50$;

R_a = radiação extraterrestre (Equação 15) ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O saldo de radiação solar de ondas curtas (R_{ns}) foi calculado usando a Equação 21:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (21)$$

em que:

R_{ns} = saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

α = albedo ou coeficiente de reflexão da copa, que é de 0,23 para cultura hipotética de referência, cultura da grama, adimensional;

R_s = radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O saldo de radiação solar de ondas longas (R_{nl}) foi calculado usando a Equação 22:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{\max,K})^4 + (T_{\min,K})^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (22)$$

em que:

R_{nl} = saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

σ = constante de Stefan-Boltzmann, igual a $4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$;

$T_{\text{max}, K}$ = temperatura máxima absoluta diária, $K = ^\circ\text{C} + 273,16$;

$T_{\text{min}, K}$ = temperatura mínima absoluta diária, $K = ^\circ\text{C} + 273,16$;

e_a = pressão de vapor atual (Equação 13) (kPa);

R_s = radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

R_{s0} = radiação solar para céu claro (Equação 13) ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O saldo de radiação líquida (R_n) é a diferença entre a radiação de ondas curtas (R_{ns}) e a radiação de ondas longas (R_{nl}) calculado conforme Equação 23:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (23)$$

Alguns modelos complexos estão disponíveis para descrever o fluxo de calor do solo (G). Porém, para valores diários, o fluxo de calor no solo é pequeno em comparação com o saldo de radiação líquida (R_n), particularmente quando a superfície é coberta por vegetação, considerando igual a zero ($G=0$) (ALLEN et al., 1998).

Para ajustar os dados de velocidade do vento (U_2), obtidos a partir de instrumentos instalados em diferentes alturas, o cálculo foi realizado de acordo com a Equação 24:

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)} \quad (24)$$

em que:

u_2 = velocidade do vento a 2 m acima da superfície do solo (m s^{-1});

u_z = velocidade do vento na superfície z acima do solo (m s^{-1});

z = altura de medição acima da superfície do solo (m).

3.4 Métodos de interpolação da evapotranspiração diária

Foram utilizados três métodos de interpolação espacial: o método geoestatístico Krigagem Ordinária (Equação 25) e os métodos determinísticos Inverso do Quadrado da Distância (IQD) (Equação 26) e Spline Tensionado (Equação 27), para interpolação dos dados diários da ETo. A interpolação foi realizada com base diária para uma série histórica de três anos (2010 a 2012).

Aos dados foram agrupados em três grupos com condições diferenciadas para serem interpolados da seguinte forma: o primeiro grupo com 75% das estações com radiação solar global $\leq 40\%$ da Ra (radiação solar no topo da atmosfera), sendo caracterizado como “Dias com baixa radiação relativa”; o segundo grupo com 75% das estações com precipitação < 10 mm, caracterizado como “Dias com alta radiação relativa”; e o terceiro grupo como “Todos os Dias” com interpolação de todos os dias sem falhas comuns a todas as estações, no total de 78 dias.

A interpolação realizada por meio do interpolador geoestatístico, Krigagem Ordinária, foi calculada seguindo a Equação 25 (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989 apud MANZIONE, 2002):

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N [\lambda_i Z(x_i)] \quad (25)$$

em que:

$Z^*(x_0)$ = valor estimado no ponto x_0 não amostrado;

$Z(x_i)$ = valor obtido por amostragem no campo;

N = número de valores medidos $Z(x_i)$, envolvidos na estimativa;

λ_i = pesos associados a cada valor medido $Z(x_i)$.

Os pesos são calculados em função da matriz de semivariâncias (K), entre os pares de pontos utilizados na interpolação e o vetor de semivariância (k) referente a cada ponto usado na interpolação e o ponto de interesse (x_i) conforme Equação 25.1 (MARQUES et al., 2012).

$$\lambda = K^{-1} \cdot k \quad (25.1)$$

A partir do semivariograma experimental (Equação 1) foi realizado o ajuste para o modelo esférico, sendo este bastante utilizado na literatura, descrito pela Equação 25.2 (GOMES et al., 2007):

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad 0 < h < a \quad (25.2)$$

A interpolação do método determinístico, IQD, seguiu a Equação 26, segundo Amorim (2009).

$$X_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{x_j}{d_{ij}^k} \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{d_{ij}^k} \right)} \quad (26)$$

em que:

x_i = valor estimado no ponto i ;

d_{ij} = distância entre os pontos i e j ;

x_j = valor amostrado de x no ponto j ;

n = número de pontos da amostra;

k = coeficiente da potência do interpolador, empregando 2 neste trabalho.

A função Spline utiliza-se da Equação 27 para a interpolação de superfícies (ESRI, 2011).

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad (27)$$

em que:

$j = 1, 2, 3, \dots, N$;

N = número de pontos;

λ_j = coeficientes encontrados pela solução de um sistema de equações lineares;

r_j = distância do ponto (x, y) até o ponto j^{th} .

Para a opção Tensão, $T(x, y)$ e $R(r)$ foram calculados pelas Equações 27.1 e 27.2, respectivamente:

$$T(x, y) = a_1 \quad (27.1)$$

$$R(r) = -\frac{1}{2\pi\varphi^2} \left[\ln\left(\frac{r\varphi}{2}\right) + c + K_0(r\varphi) \right] \quad (27.2)$$

em que:

φ^2 = parâmetro de entrada na linha de comando;

r = distância entre o ponto e amostra;

K_0 = função de Bessel modificada;

c = constante igual a 0,577215;

a_i = coeficientes encontrados pela solução de um sistema de equações lineares.

3.5 Teste e validação dos dados interpolados

O desempenho dos interpoladores foi avaliado por meio de análises estatísticas obtidas usando a validação cruzada (CARUSO & QUARTA, 1998). Esta metodologia consiste em retirar um valor, ou um conjunto de dados, e estimá-lo a partir dos demais dados da amostra, obtendo-se assim dois valores para o mesmo ponto, o amostrado e o estimado pelo método de interpolação.

Para validação e verificação, foi avaliado o desempenho dos interpoladores por meio da correlação entre os valores obtidos por PM-FAO-56 e estimados por interpolação, obtendo-se a precisão dos dados por meio dos índices estatísticos: Viés médio (VM), Erro Absoluto Médio (EAM), Erro Quadrático Médio (EQM), Raiz

do Erro Quadrático Médio (REQM), Estimativa do Erro Padrão (EEP), Percentual de Eficiência (EF%), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), coeficiente de regressão (r^2) e índice de confiança ou desempenho (c) (AMORIM, 2009; GARDIMAN JUNIOR et al., 2012; MAGALHÃES et al., 2013), descritos na Tabela 1.

TABELA 1. Índices estatísticos para avaliação do desempenho dos interpoladores.

Índice estatístico	Identificador	Definição
Viés Médio	VM	$\frac{1}{N} \sum (Y_i - X_i)$
Erro Absoluto Médio	EAM	$\frac{1}{N} \sum Y_i - X_i $
Erro Quadrático Médio	EQM	$\sum \frac{(Y_i - X_i)^2}{N}$
Raiz do Erro Quadrático Médio	REQM	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum (Y_i - X_i)^2}$
Estimativa do Erro Padrão	EEP	$\left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{Y}_i)^2}{N-1} \right]^{1/2}$
Percentual de Eficiência	EF%	$100 * \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2} \right)$
Índice de concordância	d	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n [(Y_i - \bar{X}_i) + (X_i - \bar{X}_i)]}$
Coeficiente de correlação de Pearson	r	$\frac{\sum (X_i - \bar{X}_i) (Y_i - \bar{Y}_i)}{\sqrt{[\sum (X_i - \bar{X}_i)^2] [\sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2]}}$
Coeficiente de regressão	r^2	$\left\{ \frac{\sum (X_i - \bar{X}_i) (Y_i - \bar{Y}_i)}{\sqrt{[\sum (X_i - \bar{X}_i)^2] [\sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2]}} \right\}^2$
Índice de confiança ou desempenho	c	$r * d$

X_i : valor medido (calculado por PM-FAO-56); Y_i : valor estimado pelo método de interpolação; N: número de amostras consideradas; \bar{X}_i : média de todos os valores medidos (calculado por PM-FAO-56); \bar{Y}_i : média de todos os valores estimados pelo método de interpolação.

O viés médio (VM) ou erro médio é um parâmetro que identifica se o modelo tende a subestimar (viés negativo) ou superestimar (viés positivo) a variável estimada do seu valor verdadeiro. O erro quadrático médio (EQM) indica a magnitude média do erro estimado, onde o melhor interpolador é aquele que apresentar o menor valor (CHIBA & GANDU, 2000). E a raiz do erro quadrático médio (REQM) segue o mesmo raciocínio apresentado no EQM.

O erro absoluto médio (EAM) é a diferença entre o valor observado e o valor estimado, indicando assim que quanto menor for o valor do EAM, mais próximo o valor estimado é do valor observado.

A estimativa do erro padrão (EEP) e o percentual de eficiência (EF%) citados em Gardiman Junior et al. (2012), indica que quanto maior for o valor encontrado, mais distante está o valor estimado do valor observado, sendo assim, o melhor modelo é aquele que apresentar menores valores de EEP e EF%.

O índice de concordância de Willmott (d) citado em Saraiva et al. (2013) e Silva et al. (2011) possuem valores que variam de “zero” (não existe concordância) a “um” (concordância perfeita).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) citado em Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009) foi usado para analisar o desempenho dos métodos de interpolação sendo caracterizados da seguinte forma: Forte ($r = 0,70$ até 1); Moderado ($r = 0,40$ até $0,60$); Fraco ($r = 0,10$ até $0,30$).

O coeficiente de regressão (r^2) explica a soma do quadrado total, em que, quanto mais próximo da unidade, mais perfeita é a relação entre os dados (GARDIMAN JUNIOR et al., 2012)

O indicador estatístico índice de confiança ou desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1996) foi usado para comparar os valores estimados pelos métodos de interpolação com os valores observados. O desempenho dos modelos de interpolação quanto aos valores da ETo foram caracterizados da seguinte forma: Ótimo ($c > 0,85$); Muito Bom ($0,76 \leq c \leq 0,85$); Bom ($0,66 \leq c \leq 0,75$); Mediano ($0,61 \leq c \leq 0,65$); Sofrível ($0,51 \leq c \leq 0,60$); Mau ($0,41 \leq c \leq 0,50$); e Péssimo ($c \leq 0,40$).

O desvio padrão é uma medida de dispersão e o seu valor reflete a variabilidade das observações em relação à média.

A dispersão das observações que constituem uma amostra pode ser caracterizada pelos desvios de cada observação em relação à média ($x^i - \bar{x}$), podendo tomar valores positivos ou negativos, e o somatório dos desvios de cada

observação em relação à média amostral é zero. Contudo, os desvios ao quadrado $(x^i - \bar{x})^2$, tomam sempre um valor positivo, e a respectiva média é a variância da amostra. Se existir uma grande dispersão das observações a variância é grande. Se os valores de cada uma das observações forem próximos da média a variância é pequena (LUNET et al., 2006).

O mapa de desvio-padrão é usado para representar as incertezas associadas aos valores inferidos. No presente trabalho, representam as incertezas das estimativas da evapotranspiração de referência diária.

O uso do semivariograma para análises geoestatísticas permite verificar a presença ou não de dependência espacial. O grau de dependência espacial foi avaliado através da razão entre a variância estrutural (C_1) e o patamar (C_0+C_1), (ZIMBACK, 2001 apud GOMES et al., 2011). Onde valores $GD \leq 25\%$ implicam em dependência fraca; valores $25\% \leq GD < 75\%$ em dependência moderada e valores maiores $GD \geq 75\%$ em dependência forte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os 78 dias sem falhas comum a todas as estações a variação da ETo, calculada pela equação de Penman-Monteith, no estado do Espírito Santo, apresentou, na região Sul, que abrange as estações de Alfredo Chaves, Alegre, Presidente Kennedy, Venda Nova do Imigrante e Jeronimo Monteiro, amplitudes de $0,74 \text{ mm dia}^{-1}$ a $8,98 \text{ mm dia}^{-1}$ entre os anos de 2010 a 2012, a região Norte, que abrange as estações de Nova Venécia, São Mateus, Linhares, Itauninhas, Santana, Jaguaré e Vila Valério, amplitudes de $1,03 \text{ mm dia}^{-1}$ a $7,33 \text{ mm dia}^{-1}$, e a Central, que abrange as estações de Santa Teresa, Vitória, Guarana, Morro das Almas, COBR e Serra, amplitudes de $0,90 \text{ mm dia}^{-1}$ a $7,04 \text{ mm dia}^{-1}$.

A região Sul na estação da primavera, no ano de 2010, apresentou variação da ETo, de $0,99 \text{ mm dia}^{-1}$ a $8,39 \text{ mm dia}^{-1}$, seguida das regiões Central, que variou de $0,90 \text{ mm dia}^{-1}$ a $6,94 \text{ mm dia}^{-1}$, e Norte que variou de $1,03 \text{ mm dia}^{-1}$ a $6,56 \text{ mm dia}^{-1}$.

No ano de 2011, na estação do verão apresentou, na região Sul, a variação da ETo foi de $1,64 \text{ mm dia}^{-1}$ a $8,87 \text{ mm dia}^{-1}$, seguida das regiões Central, que variou de $1,97 \text{ mm dia}^{-1}$ a $6,85 \text{ mm dia}^{-1}$, e Norte, que variou de $3,18 \text{ mm dia}^{-1}$ a $7,33 \text{ mm dia}^{-1}$. Na estação do outono, a região Sul apresentou a ETo variando de $2,42 \text{ mm dia}^{-1}$ a $6,33 \text{ mm dia}^{-1}$, seguida das regiões Norte, que variou de $3,27 \text{ mm dia}^{-1}$ a $5,67$

mm dia⁻¹, e Central, que variou de 3,08 mm dia⁻¹ a 5,29 mm dia⁻¹. Na estação da primavera, novamente a região Sul apresentou a ETo variando de 3,00 mm dia⁻¹ a 7,80 mm dia⁻¹, seguida das regiões Central, que variou de 1,45 mm dia⁻¹ a 5,85 mm dia⁻¹, e Norte que variou de 1,85 mm dia⁻¹ a 6,17 mm dia⁻¹.

No ano de 2012, a estação do verão apresentou a ETo, na região Sul, variando de 0,92 mm dia⁻¹ a 8,98 mm dia⁻¹, seguida das regiões Central que variou de 3,62 mm dia⁻¹ a 7,04 mm dia⁻¹, e Norte que variou de 3,87 mm dia⁻¹ a 6,65 mm dia⁻¹. Na estação do outono, a região Sul, também, apresentou a ETo variando de 0,74 mm dia⁻¹ a 3,89 mm dia⁻¹, seguida das regiões Central, que variou de 2,24 mm dia⁻¹ a 4,96 mm dia⁻¹, e Norte que variou de 2,92 mm dia⁻¹ a 5,51 mm dia⁻¹.

Essa maior variação de ETo observada na região Sul ocorre em função do relevo presente nesta área, em que as serras e montanhas dificultam a circulação das massas de ar, ocasionando uma concentração destas nos vales, e aumentando assim a variação de ETo em quase todas as estações do ano. Justifica também esta variação, em função da variação climática predominantes na região, Cwa (inverno seco e verão quente), caracterizada por apresentar climas mesotérmicos, estações de verão e inverno bem definidas, chuvas de verão e temperatura média do ar no mês mais quente > 22 °C.

4.1 Espacialização da ETo diária (mm dia⁻¹) pelos métodos de interpolação IQD, Spline e Krigagem para “Dias com baixa radiação relativa”

Na análise para “Dias com baixa radiação relativa”, que apresentaram valor médio da ETo diária na faixa de 3,10 mm dia⁻¹ (ETo estimada), o método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD), conforme Tabela 2, foi o mais eficiente para a interpolação espacial da variável ETo na região do Espírito Santo, uma vez que apresentou, em geral, os menores valores para os índices estatísticos EAM, EQM, REQM, EEP e EF%. Para o VM, os métodos IQD, Spline e Krigagem superestimaram os valores para a maioria das estações.

O índice de concordância (d) para o método Spline na maioria das estações apresentou valores bem próximos de “um”, representando assim uma concordância

quase perfeita. O coeficiente de correlação de Pearson (r) na maioria das estações para todos os interpoladores se caracterizou com o índice “forte” ($r = 0,70$ até 1), exceto para a estação de Venda Nova do Imigrante, onde os interpoladores se caracterizaram com o índice “moderado” ($r = 0,40$ até $0,60$). Para o coeficiente de regressão (r^2) o interpolador que apresentou melhor desempenho para a maioria das estações foi o método Spline, porém não se distanciando muito, em número de estações, do método IQD que também obteve bons resultados.

Os interpoladores IQD, Spline e Krigagem, para a maioria das estações mostraram desempenho variando de Ótimo ($c > 0,85$) a Bom ($0,66 \leq c \leq 0,75$), exceto para a estação de Venda Nova do Imigrante, onde os interpoladores IQD e Spline apresentaram um desempenho Mau ($0,41 \leq c \leq 0,50$) e o interpolador Krigagem um desempenho Péssimo ($c \leq 0,40$).

TABELA 2. Comparação entre os métodos de interpolação para “Dias com baixa radiação relativa”

Métodos de Interpolação	Dias com baixa radiação relativa									
	Estações									
	COBR									
	VM	EAM	EQM	REQM	EEP	EF%	d	r	r^2	c
Inverso do Quadrado da Distância	0.0615	0.3282	0.2204	0.4695	0.4274	27.3472	0.9318	0.8761	0.7675	0.8163
Spline Tensionado	0.1999	0.4404	0.3489	0.5907	0.4465	43.2909	0.9187	0.9042	0.8175	0.8306
Krigagem Ordinária Esférica	-0.1853	0.4421	0.3765	0.6136	0.4435	46.7046	0.8648	0.7794	0.6075	0.6740
	Serra									
Inverso do Quadrado da Distância	-0.2124	0.3599	0.1968	0.4437	0.4840	20.9457	0.9469	0.9222	0.8505	0.8733
Spline Tensionado	-0.2202	0.3808	0.1801	0.4244	0.4716	19.1687	0.9586	0.9590	0.9197	0.9193
Krigagem Ordinária Esférica	-0.3697	0.3697	0.2494	0.4994	0.5563	26.5368	0.9264	0.9358	0.8757	0.8670
	Guarana									
Inverso do Quadrado da Distância	0.0984	0.2902	0.1580	0.3974	0.3467	24.2192	0.9478	0.9207	0.8478	0.8727
Spline Tensionado	-0.0911	0.3639	0.1669	0.4085	0.3670	25.5832	0.9495	0.9363	0.8767	0.8890
Krigagem Ordinária Esférica	-0.0701	0.3604	0.2242	0.4735	0.3608	34.3686	0.9249	0.8779	0.7706	0.8119
	Morro das Almas									
Inverso do Quadrado da Distância	-0.2322	0.3796	0.2621	0.5120	0.4096	33.1958	0.9122	0.8701	0.7571	0.7937
Spline Tensionado	-0.3612	0.4149	0.2446	0.4945	0.4082	30.9727	0.9297	0.9459	0.8947	0.8794
Krigagem Ordinária Esférica	-0.4444	0.4577	0.4512	0.6717	0.4624	57.1407	0.8354	0.8296	0.6883	0.6931
	Itauninhas									
Inverso do Quadrado da Distância	0.3624	0.4409	0.2535	0.5035	0.3955	34.1537	0.9345	0.9652	0.9316	0.9019
Spline Tensionado	0.3535	0.4780	0.3065	0.5536	0.4186	41.2932	0.9263	0.9597	0.9210	0.8890
Krigagem Ordinária Esférica	0.3746	0.4603	0.2763	0.5256	0.4044	37.2257	0.9299	0.9633	0.9280	0.8958

VM: viés médio; EAM: erro absoluto médio; EQM: erro quadrático médio; REQM: raiz do erro quadrático médio; EEP: estimativa do erro padrão; EF%: percentual de eficiência; d: índice de concordância; r: coeficiente correlação de Pearson; r^2 : coeficiente de regressão; c: índice de desempenho ou confiança.

TABELA 2. Continuação...

Dias com baixa radiação relativa										
Métodos de Interpolação	Estações									
	Santana									
	VM	EAM	EQM	REQM	EEP	EF%	d	r	r ²	c
Inverso do Quadrado da Distância	0.0798	0.2701	0.1974	0.4443	0.5205	19.4338	0.9593	0.9350	0.8742	0.8969
Spline Tensionado	0.0556	0.4102	0.3203	0.5659	0.5000	31.5253	0.9393	0.9154	0.8379	0.8598
Krigagem Ordinária Esférica	0.1151	0.2703	0.1663	0.4078	0.6073	16.3726	0.9643	0.9391	0.8819	0.9055
Vila Valério										
Inverso do Quadrado da Distância	0.3189	0.3393	0.1744	0.4176	0.4156	22.3566	0.9528	0.9729	0.9466	0.9270
Spline Tensionado	0.2942	0.3657	0.1993	0.4464	0.4389	25.5450	0.9458	0.9527	0.9077	0.9011
Krigagem Ordinária Esférica	0.3752	0.4025	0.2662	0.5159	0.4241	34.1247	0.9352	0.9689	0.9388	0.9061
Jaguaré										
Inverso do Quadrado da Distância	0.2667	0.3829	0.2355	0.4852	0.3777	32.7119	0.9402	0.9533	0.9089	0.8963
Spline Tensionado	0.3362	0.4213	0.3136	0.5600	0.3874	43.5697	0.9236	0.9454	0.8937	0.8731
Krigagem Ordinária Esférica	0.3157	0.4487	0.3079	0.5549	0.4106	42.7802	0.9253	0.9448	0.8927	0.8742
Jeronimo Monteiro										
Inverso do Quadrado da Distância	-0.5183	0.5694	0.5034	0.7095	1.8098	14.2115	0.9495	0.9806	0.9617	0.9311
Spline Tensionado	-0.5193	0.5579	0.4816	0.6939	1.6902	13.5953	0.9532	0.9766	0.9537	0.9309
Krigagem Ordinária Esférica	-0.4951	0.5706	0.5098	0.7140	2.0733	14.3911	0.9511	0.9611	0.9236	0.9141
Venda Nova do Imigrante										
Inverso do Quadrado da Distância	0.6337	0.8402	1.4586	1.2077	1.0112	78.2809	0.6687	0.6320	0.3994	0.4226
Spline Tensionado	0.6805	0.7873	1.5477	1.2441	1.0883	83.0601	0.7009	0.6555	0.4297	0.4594
Krigagem Ordinária Esférica	0.6842	0.8775	1.5813	1.2575	0.9239	84.8632	0.6347	0.6104	0.3726	0.3874

VM: viés médio; EAM: erro absoluto médio; EQM: erro quadrático médio; REQM: raiz do erro quadrático médio; EEP: estimativa do erro padrão; EF%: percentual de eficiência; d: índice de concordância; r: coeficiente correlação de Pearson; r²: coeficiente de regressão; c: índice de desempenho ou confiança.

Observando os valores locais médios, para “Dias com baixa radiação relativa”, Tabela 3, o método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD) se apresentou como melhor interpolador para a interpolação espacial da variável ETo na região do estado do Espírito Santo corroborando com os trabalhos de Amorim (2009) que trabalhou com dados horários de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento e precipitação no estado de Minas Gerais, onde o IQD se mostrou adequado na interpolação de todas as variáveis em estudo.

Amorim et al. (2008) trabalhando com a espacialização da precipitação pluvial no estado de Alagoas, o método IQD também se mostrou mais adequado à variável em estudo em comparação com o método Spline, bem como Magalhães et al. (2013) que trabalharam com a espacialização da precipitação pluvial mensal na região norte do estado do Espírito Santo, onde o método IQD apresentou o melhor

desempenho e resultados mais consistentes, seguido pelo método de interpolação Spline, que também apresentou bons resultados.

TABELA 3. Valores locais médios para “Dias com baixa radiação relativa”

Métodos de Interpolação	Dias com baixa radiação relativa									
	Médias Locais									
	VM	EAM	EQM	REQM	EEP	EF%	d	r	r ²	C
Inverso do Quadrado da Distância	0.09	0.42	0.37	0.56	0.62	30.69	0.91	0.90	0.82	0.83
Spline Tensionado	0.07	0.46	0.41	0.60	0.62	35.76	0.91	0.92	0.85	0.84
Krigagem Ordinária Esférica	0.03	0.47	0.44	0.62	0.67	39.45	0.89	0.88	0.79	0.79

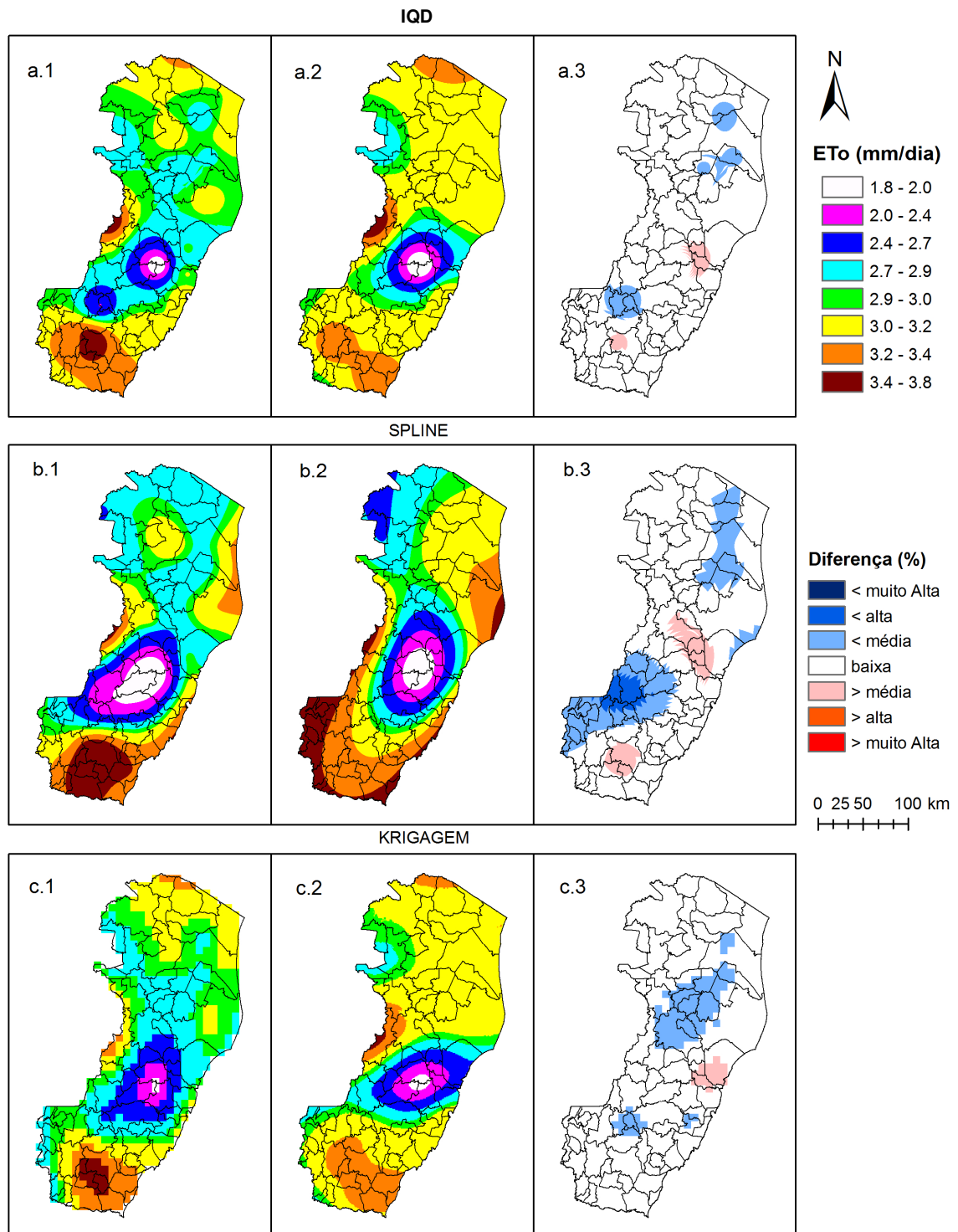
VM: viés médio; EAM: erro absoluto médio; EQM: erro quadrático médio; REQM: raiz do erro quadrático médio; EEP: estimativa do erro padrão; EF%: percentual de eficiência; d: índice de concordância; r: coeficiente correlação de Pearson; r²: coeficiente de regressão; c: índice de desempenho ou confiança.

A espacialização da ETo para a média dos “Dias com baixa radiação relativa” (Figura 4) apresentou uma variação na faixa de 1,8 a 3,8 mm dia⁻¹, apresentando todas as faixas de variação dentro do estado, para as interpolações realizadas com todas as estações (INMET, Fibria, CPTEC/INPE) e somente com as estações do INMET para todos os métodos de interpolação. Para as interpolações realizadas somente com as estações do INMET, os interpoladores IQD e Krigagem apresentaram maior abrangência no estado na faixa de 3,0 a 3,2 mm dia⁻¹, e o interpolador Spline apresentou maior abrangência no estado na faixa de 3,0 a 3,4 mm dia⁻¹.

A diferença percentual para o método IQD variou de “< média” (-30% a -10%) a “> média” (10% a 30%), apresentando maior abrangência na faixa “baixa” (0% a ±10%) em todo o estado, o método Spline variou de “< alta” (-50% a -30%) a “> média” (10% a 30%), apresentando maior abrangência na faixa “baixa” (0% a ±10%) com pontos na faixa de “< alta” (-50% a -30%) a “< média” (-30% a -10%) na região sul do estado, e o método de krigagem variou de “< média” (-30% a -10%) a “> média” (10% a 30%), apresentando maior abrangência na faixa “baixa” (0% a ±10%) em todo o estado (Figura 4).

Portanto, o método que apresentou menor variação de diferença percentual entre as interpolações com todas as estações e somente com as estações do INMET, foi o método de interpolação IQD, representando assim, baixa variação entre os valores da ETo estimada pela equação de Penman-Monteith e pelo método de interpolação.

As espacializações da ETo para os dias pertencentes ao grupo “Dias com baixa radiação relativa” podem ser visualizados separadamente no Anexo A.



Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 4. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre

as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para a média dos dias com baixa radiação relativa (19 dias).

A partir do mapa de desvio-padrão, pode-se constatar a variação da incerteza associada ao número de estações utilizadas na interpolação, caminhando de tons mais escuros, referentes às incertezas baixas, para tons mais claros, em que os valores de incerteza são maiores (Figura 5). Na interpolação realizada com todas as estações (INMET, Fibria e CPETC/INPE) para todos os métodos de interpolação o maior grau de incerteza se concentrou no sul do estado, isto se deve ao menor número de estações presentes.

Nas interpolações realizadas somente com as estações do INMET para todos os métodos de interpolação o maior grau de incerteza também se apresentou no sul do estado em razão do menor número de estações presentes. A região central do estado apresentou os menores valores de incertezas, não se afastando muito da região norte e uma parte do sul do estado que também apresentaram valores de baixas incertezas.

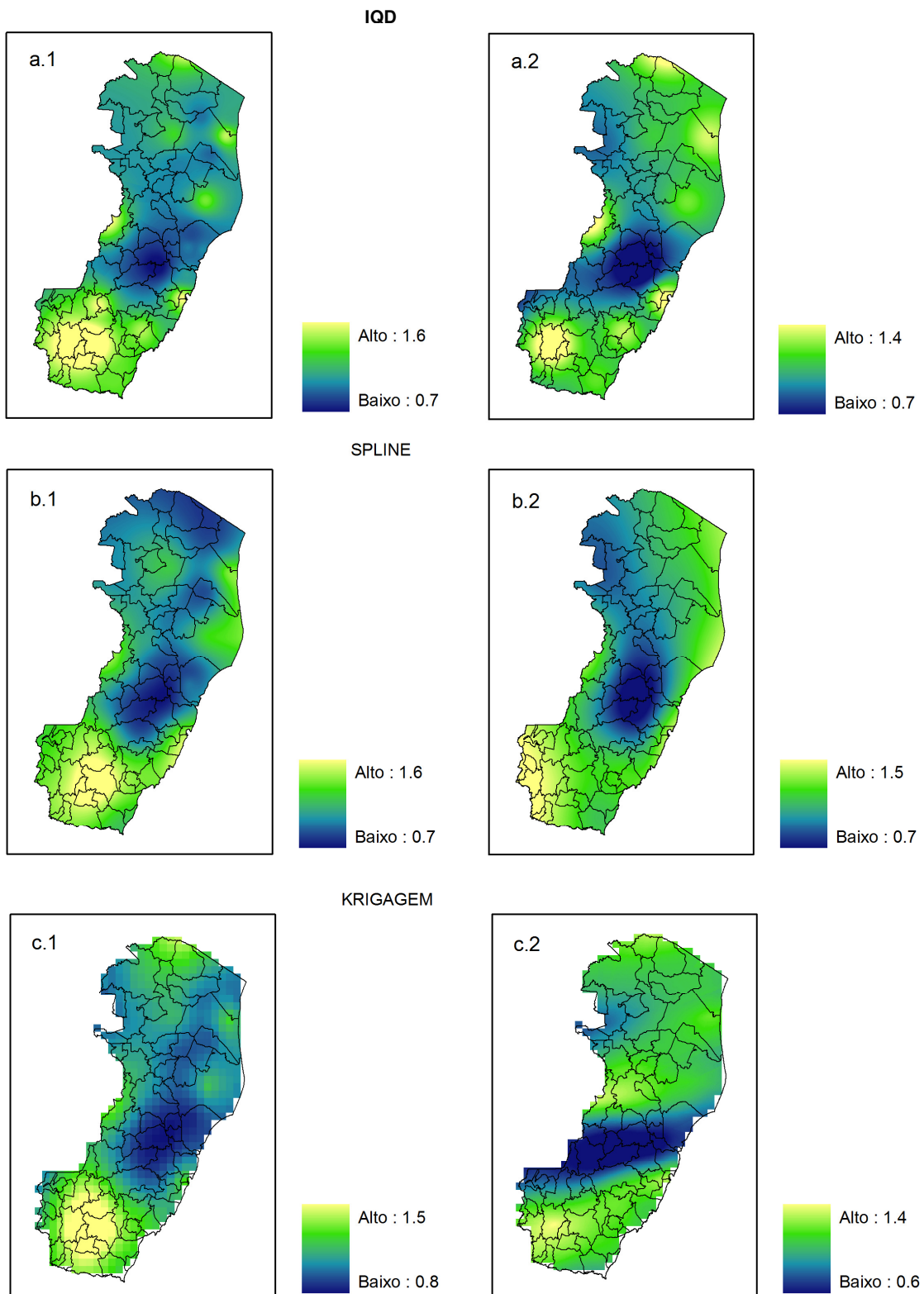


FIGURA 5. Mapas de desvios-padrão dos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1) e somente as estações do INMET (2) para os dias com baixa radiação relativa (19 dias).

Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros do semivariograma ajustado para “Dias com baixa radiação relativa”, considerando interpolações somente com as estações do INMET, onde o modelo esférico apresentou grau de dependência espacial variando de moderado ($25\% \leq GD < 75\%$) a forte ($GD \geq 75\%$). Observando assim, ótimo ajuste do grupo para com o modelo interpolado.

TABELA 4. Estimativa dos parâmetros efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1), patamar (C_0+C_1), alcance (A) e grau de dependência espacial ($GD = [C_1/(C_0+C_1)]*100$), considerando interpolações somente com as estações do INMET para “Dias com baixa radiação relativa”

Variável	Modelo	C_0	C_1	(C_0+C_1)	A (m)	GD (%)
28/10/10		0.008	1.297	1.305	205471.091	99.4
02/11/10		0.000	0.463	0.463	205516.101	100.0
03/11/10		0.282	0.297	0.579	205492.128	51.3
12/11/10		0.000	0.951	0.951	205476.291	100.0
13/11/10		0.000	0.404	0.404	205476.001	100.0
14/11/10		0.042	0.175	0.217	205470.120	80.4
15/11/10		0.000	0.286	0.286	205481.728	100.0
16/11/10		0.000	0.728	0.728	205479.171	100.0
23/11/10		0.542	0.799	1.340	205489.900	59.6
24/11/10	Esférico	0.000	0.737	0.737	205475.973	100.0
26/11/10		0.000	0.549	0.549	205482.428	100.0
04/12/10		0.040	1.425	1.465	205476.917	97.2
25/02/11		0.000	0.611	0.611	205480.243	100.0
04/03/11		0.000	1.184	1.184	205524.812	100.0
08/11/11		0.000	1.152	1.152	205480.157	100.0
12/12/11		0.000	0.951	0.951	205533.850	100.0
29/01/12		0.000	1.295	1.295	205477.694	100.0
25/03/12		0.000	1.274	1.274	205476.417	100.0
01/04/12		0.000	0.347	0.347	205476.043	100.0

4.2 Espacialização da ETo diária (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD, Spline e Krigagem para “Dias com alta radiação relativa”

Para “Dias com alta radiação relativa” (Tabela 5), que apresentaram valor médio da ETo diária na faixa de $5,27 \text{ mm dia}^{-1}$ (ETo estimada), o método de

interpolação IQD se apresentou como o melhor método para a interpolação espacial da variável ETo na região do Espírito Santo, seguido do método Spline que também apresentou bons resultados.

O método IQD apresentou os menores valores para os índices estatísticos EAM, EQM, REQM e EF%. Já para o índice estatístico EEP o método Spline obteve o melhor ajuste.

Para o VM, os métodos IQD, Spline e Krigagem superestimaram os valores para a maioria das estações. O índice de concordância (d) para os métodos IQD e Spline na maioria das estações apresentaram valores bem próximos de “um”, representando assim uma concordância quase perfeita. O coeficiente de correlação de Pearson (r) na maioria das estações para todos os interpoladores se caracterizou com o índice “forte” ($r = 0,70$ até 1), exceto para a estação de Venda Nova do Imigrante, onde IQD e Krigagem se caracterizaram com o índice “fraco” ($r = 0,10$ até 0,30) e o Spline com o índice “moderado” ($r = 0,40$ até 0,60).

Para o coeficiente de regressão (r^2) o interpolador que apresentou melhor desempenho para a maioria das estações foi o método IQD. Os interpoladores, IQD, Spline e Krigagem, para a maioria das estações mostrou desempenho variando de Ótimo ($c > 0,85$) a Mediano ($0,61 \leq c \leq 0,65$), exceto para a estação de Venda Nova do Imigrante, onde todos os interpoladores apresentaram um desempenho Péssimo ($c \leq 0,40$).

TABELA 5. Comparação entre os métodos de interpolação para “Dias com alta radiação relativa”

Métodos de Interpolação	Dias com alta radiação relativa									
	Estações									
	COBR									
	VM	EAM	EQM	REQM	EEP	EF%	D	r	r^2	c
Inverso do Quadrado da Distância	0.0469	0.3952	0.2936	0.5419	0.5930	26.1846	0.9124	0.8635	0.7456	0.7878
Spline Tensionado	-0.0831	0.5501	0.5280	0.7266	0.5955	47.0832	0.8440	0.7412	0.5493	0.6256
Krigagem Ordinária Esférica	0.1400	0.4628	0.3798	0.6163	0.6022	33.8717	0.8913	0.8241	0.6791	0.7345
	Serra									
Inverso do Quadrado da Distância	0.1207	0.2324	0.0812	0.2849	0.3810	11.2983	0.9715	0.9542	0.9105	0.9270
Spline Tensionado	-0.0482	0.2535	0.1167	0.3416	0.3817	16.2411	0.9587	0.9222	0.8504	0.8840
Krigagem Ordinária Esférica	0.2470	0.2930	0.1232	0.3510	0.3915	17.1447	0.9583	0.9587	0.9190	0.9187

VM: viés médio; EAM: erro absoluto médio; EQM: erro quadrático médio; REQM: raiz do erro quadrático médio; EEP: estimativa do erro padrão; EF%: percentual de eficiência; d: índice de concordância; r: coeficiente correlação de Pearson; r^2 : coeficiente de regressão; c: índice de desempenho ou confiança.

TABELA 5. Continuação...

Dias com alta radiação relativa										
Métodos de Interpolação	Estações									
	Guarana									
	VM	EAM	EQM	REQM	EEP	EF%	D	R	r ²	c
Inverso do Quadrado da Distância	0.2163	0.6047	0.3935	0.7349	0.5602	38.2537	0.8734	0.8358	0.6986	0.7300
Spline Tensionado	0.0276	0.4519	0.3360	0.5797	0.5179	32.6670	0.9075	0.8130	0.6610	0.7378
Krigagem Ordinária Esférica	0.3881	0.5705	0.5205	0.7214	0.6014	50.5974	0.8364	0.7889	0.6224	0.6598
Morro das Almas										
Inverso do Quadrado da Distância	0.1906	0.3996	0.3642	0.6035	0.4683	42.3564	0.8694	0.7821	0.6117	0.6800
Spline Tensionado	-0.1120	0.4156	0.3046	0.5519	0.4337	35.4240	0.9079	0.8159	0.6658	0.7408
Krigagem Ordinária Esférica	0.3222	0.5152	0.5257	0.7251	0.5040	61.1459	0.8192	0.7435	0.5527	0.6090
Itauninhas										
Inverso do Quadrado da Distância	0.5942	0.5942	0.3999	0.6323	0.5787	38.0188	0.8817	0.9720	0.9448	0.8570
Spline Tensionado	0.6152	0.6152	0.4563	0.6755	0.5189	43.3850	0.8744	0.9592	0.9201	0.8387
Krigagem Ordinária Esférica	0.6147	0.6147	0.4490	0.6701	0.6325	42.6953	0.8712	0.9593	0.9203	0.8358
Santana										
Inverso do Quadrado da Distância	0.4308	0.4388	0.2815	0.5306	0.4748	32.3426	0.9170	0.9486	0.8999	0.8699
Spline Tensionado	0.4150	0.4648	0.3074	0.5544	0.4379	35.3138	0.9189	0.9482	0.8991	0.8713
Krigagem Ordinária Esférica	0.4366	0.4531	0.3000	0.5478	0.5122	34.4701	0.9120	0.9421	0.8876	0.8592
Vila Valério										
Inverso do Quadrado da Distância	0.5921	0.5921	0.4344	0.6591	0.4794	50.5538	0.8391	0.9382	0.8802	0.7872
Spline Tensionado	0.6132	0.6132	0.5167	0.7188	0.4132	60.1315	0.8187	0.9103	0.8286	0.7453
Krigagem Ordinária Esférica	0.6184	0.6184	0.5162	0.7184	0.5378	60.0689	0.8018	0.8984	0.8072	0.7203
Jaguaré										
Inverso do Quadrado da Distância	0.7056	0.7091	0.6755	0.8219	0.6250	59.8633	0.7932	0.8907	0.7934	0.7065
Spline Tensionado	0.7645	0.7908	0.8286	0.9103	0.5488	73.4361	0.7471	0.8565	0.7336	0.6399
Krigagem Ordinária Esférica	0.7145	0.7145	0.6751	0.8217	0.6906	59.8322	0.7813	0.8934	0.7982	0.6980
Jerônimo Monteiro										
Inverso do Quadrado da Distância	-1.0355	1.0355	1.3584	1.1655	2.2330	31.0893	0.8717	0.9388	0.8813	0.8183
Spline Tensionado	-0.8997	0.8997	1.0158	1.0079	2.4416	23.2467	0.9126	0.9540	0.9101	0.8706
Krigagem Ordinária Esférica	-1.1386	1.1386	1.6715	1.2929	2.0945	38.2543	0.8254	0.9290	0.8631	0.7668
Venda Nova do Imigrante										
Inverso do Quadrado da Distância	1.0024	1.3234	3.5517	1.8846	1.7204	111.1117	0.3151	0.3740	0.1399	0.1179
Spline Tensionado	1.0319	1.2253	3.1827	1.7840	1.6337	99.5669	0.4436	0.5032	0.2532	0.2232
Krigagem Ordinária Esférica	0.8808	1.2632	3.2886	1.8135	1.7934	102.8808	0.3342	0.3635	0.1321	0.1215

VM: viés médio; EAM: erro absoluto médio; EQM: erro quadrático médio; REQM: raiz do erro quadrático médio; EEP: estimativa do erro padrão; EF%: percentual de eficiência; d: índice de concordância; r: coeficiente correlação de Pearson; r²: coeficiente de regressão; c: índice de desempenho ou confiança.

De acordo com os valores locais médios para “Dias com alta radiação relativa”, Tabela 6, os métodos de interpolação Spline e IQD se apresentaram como melhores métodos de interpolação espacial para a variável ETo na região do estado do Espírito Santo corroborando com o trabalho de Magalhães et al. (2013) que

trabalhou com a espacialização da precipitação pluvial na região norte do estado do Espírito Santo, onde os métodos de interpolação IQD e Spline apresentaram resultados mais consistentes, apresentando assim como métodos mais eficientes para a espacialização da precipitação média anual na região em estudo.

Castro Filho et al. (2012) avaliando o comportamento espaço-temporal da chuva na Bacia do Paranoá (Distrito Federal) e comparando os métodos de interpolação IQD, Krigagem e Spline, obteve resultados em que o método Spline demonstrou valores mais compatíveis com os reais, seguido do método IQD, onde estes são métodos determinísticos que possibilitam criar uma superfície com valores mais próximos do real. Demonstrando assim que o método Spline escolhido para subsidiar a análise do comportamento espacial da chuva obteve resultados satisfatórios para o estudo em questão.

TABELA 6. Valores locais médios para “Dias com alta radiação relativa”

Métodos de Interpolação	Dias com alta radiação relativa									
	Médias Locais									
	VM	EAM	EQM	REQM	EEP	EF%	d	R	r ²	C
Inverso do Quadrado da Distância	0.29	0.63	0.78	0.79	0.81	44.11	0.82	0.85	0.75	0.73
Spline Tensionado	0.23	0.63	0.76	0.79	0.79	46.65	0.83	0.84	0.73	0.72
Krigagem Ordinária Esférica	0.32	0.66	0.84	0.83	0.84	50.10	0.80	0.83	0.72	0.69

VM: viés médio; EAM: erro absoluto médio; EQM: erro quadrático médio; REQM: raiz do erro quadrático médio; EEP: estimativa do erro padrão; EF%: percentual de eficiência; d: índice de concordância; r: coeficiente correlação de Pearson; r²: coeficiente de regressão; c: índice de desempenho ou confiança.

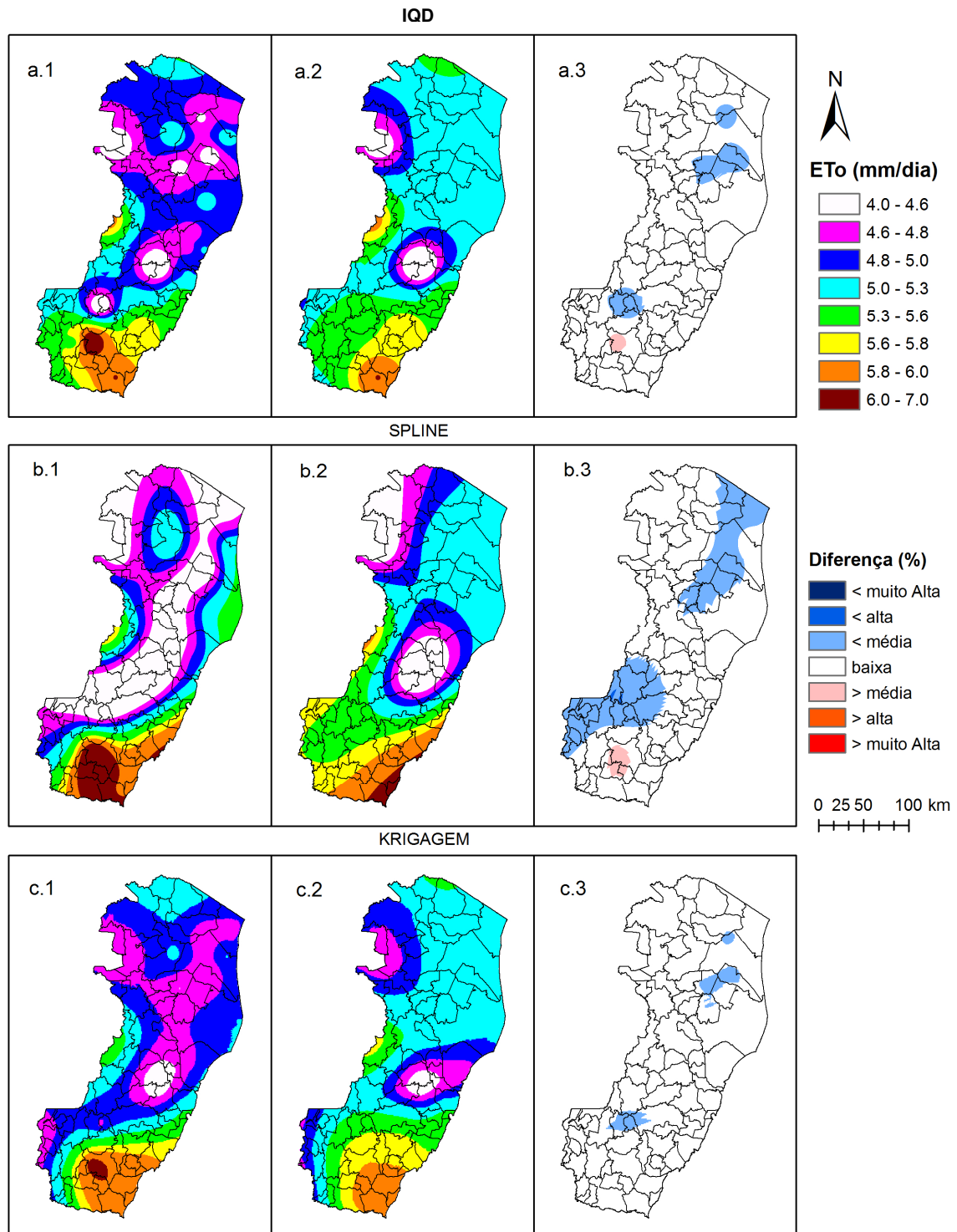
A espacialização da ETo para a média dos “Dias com alta radiação relativa” (Figura 6) apresentou uma variação na faixa de 4,0 a 7,0 mm dia⁻¹, apresentando todas as faixas de variação dentro do estado, para as interpolações realizadas com todas as estações (INMET, Fibria, CPTEC/INPE) para os métodos IQD e Krigagem, e o método Spline apresentou maior abrangência na faixa de 4,0 a 4,6 mm dia⁻¹. As interpolações realizadas somente com as estações do INMET, a variação ocorreu na faixa de 4,0 a 6,0 mm dia⁻¹ para os interpoladores IQD e Krigagem, sendo a maior abrangência no estado na faixa de 5,0 a 5,3 mm dia⁻¹, já para o interpolador Spline apresentou uma variação na faixa de 4,0 a 7,0 mm dia⁻¹, sendo sua maior abrangência no estado na faixa de 5,0 a 5,6 mm dia⁻¹.

A diferença percentual para o método IQD variou de “< média” (-30% a -10%) a “> média” (10% a 30%), apresentando maior abrangência na faixa “baixa”

(0% a $\pm 10\%$) em todo o estado, o método Spline variou de “< média” (-30% a -10%) a “> média” (10% a 30%), apresentando maior abrangência na faixa “baixa” (0% a $\pm 10\%$) em todo estado, e o método de Krigagem variou de “< média” (-30% a -10%) a “baixa” (0% a $\pm 10\%$), apresentando maior abrangência na faixa “baixa” (0% a $\pm 10\%$) em todo o estado.

O método de interpolação Krigagem, apresentou-se, para os “Dias com alta radiação relativa”, com a menor variação de diferença percentual entre as interpolações com todas as estações e somente com as estações do INMET, seguido do método de interpolação IQD, apresentando uma baixa variação entre os valores da ETo estimada pela equação de Penman-Monteith e pelo método de interpolação.

As espacializações da ETo para os dias pertencentes ao grupo “Dias com alta radiação relativa” podem ser visualizados separadamente no Anexo B.



Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 6. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para a média dos dias com alta radiação relativa (19 dias).

Os mapas de desvio-padrão, obtidos a partir dos métodos de interpolação realizados com todas as estações (INMET, Fibria e CPETC/INPE) e somente com as estações do INMET para “Dias com alta radiação relativa” encontram-se apresentados na Figura 7. Através da escala, no mapa de desvio-padrão (Figura 7), pode-se constatar a variação da incerteza associada ao número de estações utilizadas na interpolação, caminhando de tons mais escuros, referentes às incertezas baixas, para tons mais claros, em que os valores de incerteza são maiores (Figura 7).

Nas interpolações realizadas com todas as estações (INMET, Fibria e CPETC/INPE) e somente com as estações do INMET para todos os métodos de interpolação os maiores graus de incertezas novamente se concentraram no sul do estado em razão do menor número de estações presentes. As demais regiões do estado apresentaram valores de baixas incertezas.

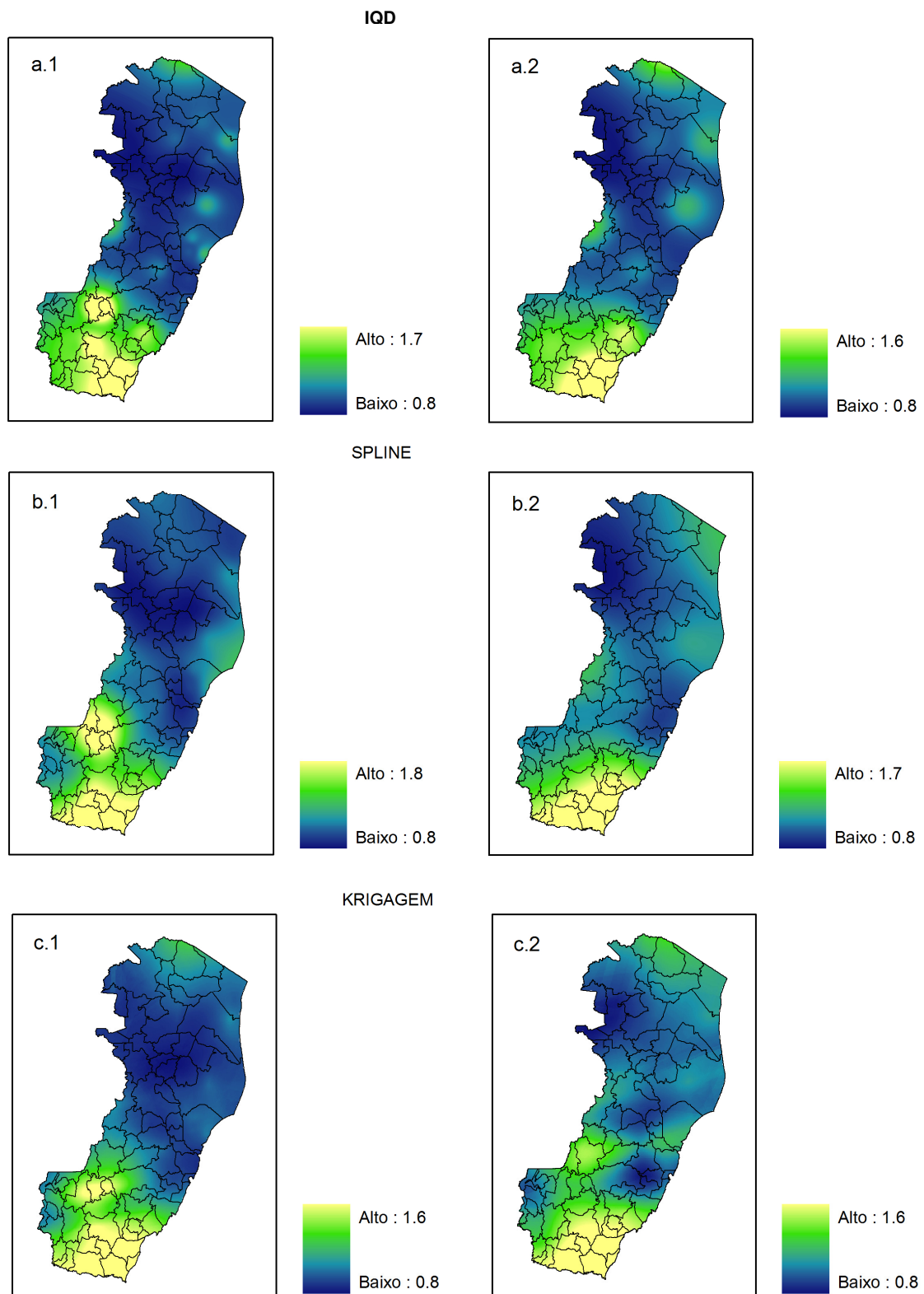


FIGURA 7. Mapas de desvios-padrão dos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1) e somente as estações do INMET (2) para os dias com alta radiação relativa (19 dias).

A Tabela 7 apresenta os parâmetros do semivariograma ajustado para “Dias com alta radiação relativa”, considerando interpolações somente com as estações do INMET, onde o modelo esférico também apresentou grau de dependência espacial variando de moderado ($25\% \leq GD < 75\%$) a forte ($GD \geq 75\%$). Verificando assim, um bom ajuste do grupo para com o modelo esférico.

TABELA 7. Estimativa dos parâmetros efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1), patamar (C_0+C_1), alcance (A) e grau de dependência espacial ($GD = [C_1/(C_0+C_1)]*100$), considerando interpolações somente com as estações do INMET para “Dias com alta radiação relativa”

Variável	Modelo	C_0	C_1	(C_0+C_1)	A (m)	GD (%)
29/10/10		0.455	1.071	1.526	205489.785	70.2
30/10/10		0.000	1.509	1.509	205477.064	100.0
19/11/10		0.000	1.156	1.156	205476.356	100.0
21/11/10		0.000	1.766	1.766	205696.052	100.0
29/11/10		0.000	2.091	2.091	205483.737	100.0
30/11/10		0.000	2.753	2.753	205493.052	100.0
05/12/10		0.000	1.572	1.572	205484.293	100.0
16/02/11		0.000	1.268	1.268	205476.012	100.0
22/02/11		0.181	0.866	1.048	205513.029	82.7
27/03/11	Esférico	0.000	0.364	0.364	205476.029	100.0
29/03/11		0.131	0.260	0.390	205556.116	66.5
09/11/11		0.170	1.339	1.509	213358.853	88.8
12/11/11		0.000	0.793	0.793	205479.151	100.0
14/12/11		0.127	0.431	0.557	205475.099	77.3
15/01/12		0.226	0.541	0.766	205476.023	70.5
18/01/12		0.000	0.660	0.660	205478.254	100.0
26/02/12		0.554	0.546	1.099	205495.995	49.6
25/03/12		0.000	1.274	1.274	205476.417	100.0
01/04/12		0.000	0.347	0.347	205476.043	100.0

4.3 Espacialização da ETo diária (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD, Spline e Krigagem para “Todos os Dias”

O interpolador Inverso do Quadrado da Distância (IQD) para “Todos os Dias” (Tabela 8), que apresentaram valor médio da ETo diária na faixa de $4,49 \text{ mm dia}^{-1}$

(ETo estimada), também se apresentou como o melhor método para a interpolação espacial da variável ETo na região do Espírito Santo.

O IQD apresentou os menores valores para os índices estatísticos EAM, EQM, REQM e EF%. Já o índice estatístico EEP o método Krigagem obteve os menores valores.

Para o VM, os métodos IQD, Spline e Krigagem superestimaram os valores para a maioria das estações. O índice de concordância (d) para o método IQD na maioria das estações apresentaram valores bem próximos de “um”, representando assim uma concordância quase perfeita. O coeficiente de correlação de Pearson (r) na maioria das estações para todos os interpoladores se caracterizou com o índice “forte” ($r = 0,70$ até 1), exceto para a estação de Venda Nova do Imigrante, onde os interpoladores se caracterizaram com o índice “moderado” ($r = 0,40$ até 0,60).

Para o coeficiente de regressão (r^2) o interpolador que apresentou melhor desempenho para a maioria das estações foi o método IQD. Os interpoladores, IQD, Spline e Krigagem, para a maioria das estações mostrou desempenho variando de Ótimo ($c > 0,85$) a Muito Bom ($0,76 \leq c \leq 0,85$), exceto para a estação de Venda Nova do Imigrante, onde todos os interpoladores apresentaram um desempenho “ $c \leq 0,40$ ” (Péssimo).

TABELA 8. Comparação entre os métodos de interpolação para “Todos os Dias”

Métodos de Interpolação	Todos os Dias									
	Estações									
	COBR									
	VM	EAM	EQM	REQM	EEP	EF%	d	r	r^2	c
Inverso do Quadrado da Distância	-0.0550	0.3910	0.2656	0.5153	0.7210	18.6954	0.9497	0.9054	0.8198	0.8599
Spline Tensionado	-0.0048	0.4411	0.3233	0.5686	0.7195	22.7623	0.9417	0.8902	0.7925	0.8383
Krigagem Ordinária Esférica	-0.2508	0.5052	0.4625	0.6801	0.7513	32.5610	0.9141	0.8604	0.7403	0.7865
	Serra									
Inverso do Quadrado da Distância	-0.0218	0.3038	0.1514	0.3891	0.6186	12.3460	0.9714	0.9488	0.9003	0.9217
Spline Tensionado	-0.0749	0.3113	0.1408	0.3753	0.6207	11.4864	0.9737	0.9556	0.9132	0.9305
Krigagem Ordinária Esférica	-0.1533	0.3702	0.2266	0.4760	0.6348	18.4830	0.9574	0.9300	0.8649	0.8904
	Guarana									
Inverso do Quadrado da Distância	0.2313	0.3733	0.2604	0.5103	0.6073	21.2503	0.9464	0.9192	0.8448	0.8699
Spline Tensionado	0.0118	0.3853	0.2325	0.4822	0.6195	18.9706	0.9550	0.9140	0.8353	0.8729
Krigagem Ordinária Esférica	0.0834	0.3545	0.2332	0.4829	0.5844	19.0250	0.9541	0.9156	0.8383	0.8736

VM: viés médio; EAM: erro absoluto médio; EQM: erro quadrático médio; REQM: raiz do erro quadrático médio; EEP: estimativa do erro padrão; EF%: percentual de eficiência; d: índice de concordância; r: coeficiente correlação de Pearson; r^2 : coeficiente de regressão; c: índice de desempenho ou confiança.

TABELA 8. Continuação...

Todos os Dias										
Métodos de Interpolação	Estações									
	Morro das Almas									
	VM	EAM	EQM	REQM	EEP	EF%	d	r	r ²	c
Inverso do Quadrado da Distância	-0.0157	0.3536	0.2375	0.4874	0.5516	21.4738	0.9588	0.9072	0.8230	0.8698
Spline Tensionado	-0.1916	0.3698	0.2156	0.4643	0.5593	19.4939	0.9644	0.9339	0.8721	0.9006
Krigagem Ordinária Esférica	-0.1818	0.4127	0.3345	0.5783	0.5460	30.2404	0.9441	0.8870	0.7868	0.8374
Itauninhas										
Inverso do Quadrado da Distância	0.5275	0.5530	0.4008	0.6331	0.6683	29.6497	0.8338	0.9575	0.9168	0.7984
Spline Tensionado	0.5495	0.5879	0.4626	0.6801	0.6832	34.2139	0.8206	0.9518	0.9059	0.7811
Krigagem Ordinária Esférica	0.5834	0.6126	0.5015	0.7082	0.6345	37.0943	0.7995	0.9511	0.9046	0.7604
Santana										
Inverso do Quadrado da Distância	0.2812	0.3568	0.2152	0.4639	0.6237	17.3799	0.9606	0.9581	0.9179	0.9203
Spline Tensionado	0.2441	0.3871	0.2520	0.5020	0.6268	20.3519	0.9563	0.9497	0.9019	0.9082
Krigagem Ordinária Esférica	0.3114	0.3832	0.2439	0.4939	0.6360	19.6976	0.9559	0.9563	0.9145	0.9141
Vila Valério										
Inverso do Quadrado da Distância	0.5532	0.5584	0.4090	0.6396	0.5947	33.6596	0.9137	0.9636	0.9285	0.8804
Spline Tensionado	0.5902	0.6105	0.5103	0.7144	0.6136	41.9940	0.8962	0.9482	0.8991	0.8498
Krigagem Ordinária Esférica	0.5689	0.5871	0.4659	0.6826	0.5456	38.3363	0.9041	0.9528	0.9079	0.8614
Jaguaré										
Inverso do Quadrado da Distância	0.5294	0.5687	0.4455	0.6674	0.5697	38.4029	0.9084	0.9475	0.8978	0.8607
Spline Tensionado	0.6154	0.6484	0.5910	0.7687	0.5859	50.9451	0.8817	0.9374	0.8788	0.8265
Krigagem Ordinária Esférica	0.5321	0.5874	0.4729	0.6877	0.5313	40.7710	0.9039	0.9410	0.8854	0.8505
Jerônimo Monteiro										
Inverso do Quadrado da Distância	-0.7891	0.8644	1.0604	1.0298	2.3613	23.2850	0.9151	0.9548	0.9116	0.8737
Spline Tensionado	-0.7555	0.8148	0.9884	0.9942	2.3112	21.7038	0.9247	0.9494	0.9014	0.8779
Krigagem Ordinária Esférica	-0.6697	0.7788	0.9227	0.9606	2.5810	20.2623	0.9320	0.9369	0.8779	0.8733
Venda Nova do Imigrante										
Inverso do Quadrado da Distância	0.8406	1.0116	2.4136	1.5536	1.4047	84.5250	0.6469	0.5799	0.3362	0.3751
Spline Tensionado	0.8837	1.0086	2.5787	1.6058	1.4426	90.3075	0.6533	0.5913	0.3497	0.3863
Krigagem Ordinária Esférica	0.8933	1.0435	2.4717	1.5722	1.2816	86.5596	0.6626	0.6103	0.3725	0.4044

VM: viés médio; EAM: erro absoluto médio; EQM: erro quadrático médio; REQM: raiz do erro quadrático médio; EEP: estimativa do erro padrão; EF%: percentual de eficiência; d: índice de concordância; r: coeficiente correlação de Pearson; r²: coeficiente de regressão; c: índice de desempenho ou confiança.

Conforme os valores locais médios para “Todos os Dias”, Tabela 9, o método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD), assim como “Dias com baixa radiação relativa”, também se apresentou como o melhor método de interpolação espacial para a variável ETo na região do estado do Espírito Santo corroborando com os trabalhos de Amorim (2009) que trabalhou com dados horários de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento e

precipitação no estado de Minas Gerais, onde o IQD se mostrou adequado na interpolação de todas as variáveis em estudo.

Amorim et al. (2008) trabalhando com a espacialização da precipitação pluvial no estado de Alagoas, onde o método IQD também se mostrou mais adequado à variável em estudo em comparação com o método Spline, assim como Magalhães et al. (2013) que trabalharam com a espacialização da precipitação pluvial na região norte do estado do Espírito Santo, onde o método IQD apresentou o melhor desempenho e resultados mais consistentes, seguido pelo método de interpolação Spline, que também apresentou bons resultados.

TABELA 9. Valores locais médios para “Todos os Dias”

Métodos de Interpolação	Todos os Dias									
	Médias Locais									
	VM	EAM	EQM	REQM	EEP	EF%	D	r	r ²	C
Inverso do Quadrado da Distância	0.21	0.53	0.59	0.69	0.87	30.07	0.90	0.90	0.83	0.82
Spline Tensionado	0.19	0.56	0.63	0.72	0.88	33.22	0.90	0.90	0.82	0.82
Krigagem Ordinária Esférica	0.17	0.56	0.63	0.73	0.87	34.30	0.89	0.89	0.81	0.81

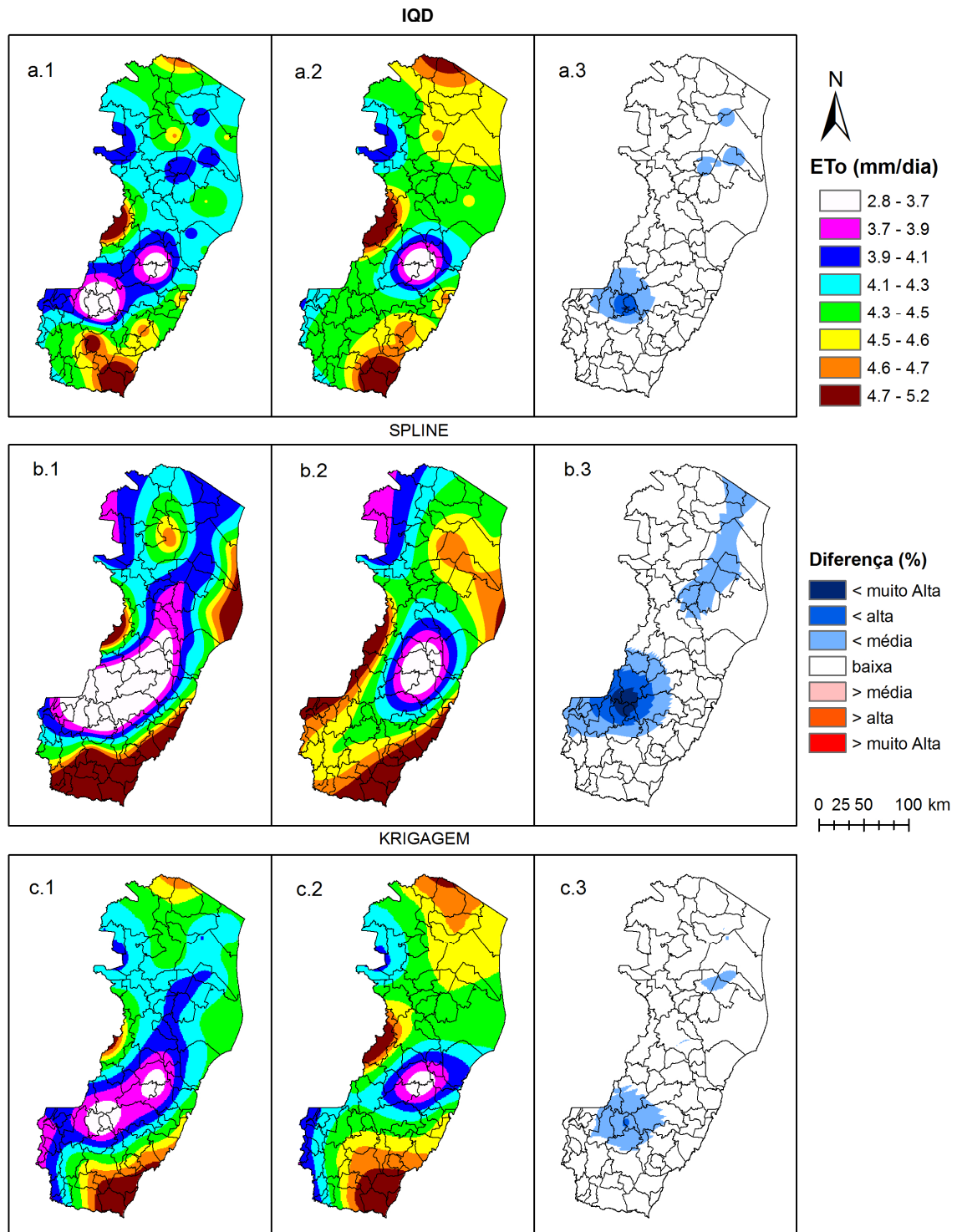
VM: viés médio; EAM: erro absoluto médio; EQM: erro quadrático médio; REQM: raiz do erro quadrático médio; EEP: estimativa do erro padrão; EF%: percentual de eficiência; d: índice de concordância; r: coeficiente correlação de Pearson; r²: coeficiente de regressão; c: índice de desempenho ou confiança.

A espacialização da ETo para a média de todos os dias sem falha (Figura 8) apresentou uma variação na faixa de 2,8 a 5,2 mm dia⁻¹, apresentando todas as faixas de variação dentro do estado, para as interpolações realizadas com todas as estações (INME, Fibria, CPTEC/INPE) e somente com as estações do INMET para todos os métodos de interpolação. Nas interpolações realizadas somente com as estações do INMET, os métodos IQD e Krigagem apresentaram maior abrangência no estado na faixa de 4,3 a 4,6 mm dia⁻¹, e o interpolador Spline apresentou maior abrangência na faixa de 4,3 a 4,7 mm dia⁻¹, com pontos fortes no sul do estado na faixa de 4,7 a 5,2 mm dia⁻¹.

A diferença percentual para o método IQD variou de “< alta” (-50% a -30%) a “baixa” (0% a ±10%), apresentando maior abrangência na faixa “baixa” (0% a ±10%) em todo o estado, com pontos de “< alta” (-50% a -30%) a “< média” (-30% a -10%) na região sul do estado, o método Spline variou de “< muito alta” (> -50%) a “baixa” (0% a ±10%), apresentando maior abrangência na faixa “baixa” (0% a ±10%) com pontos nas faixas de “< muito alta” (> -50%) a “< média” (-30% a -10%) na região

sul, e faixa de “< média” (-30% a -10%) na região norte do estado, e o método de Krigagem variou de “< média” (-30% a -10%) a “baixa” (0% a $\pm 10\%$), com maior abrangência na faixa “baixa” (0% a $\pm 10\%$) em todo o estado, apresentando a faixa de “< média” (-30% a -10%) na região serrana do estado (Figura 8).

A baixa variação entre os valores da ETo estimada pela equação de Penman-Monteith e pelo método de interpolação se deve ao modelo de interpolação IQD que apresentou menor variação de diferença percentual entre as interpolações com todas as estações e somente com as estações o INMET.



Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 8. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fribria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para a média de todos os dias sem falha (78 dias).

A Figura 9 apresenta os mapas de desvios-padrão, obtidos a partir dos métodos de interpolação realizados com todas as estações (INMET, Fibria e CPETC/INPE) e somente com as estações do INMET para “Todos os Dias”.

Em interpolações realizadas com todas as estações (INMET, Fibria e CPETC/INPE) e somente com as estações do INMET para todos os métodos de interpolação mais uma vez os maiores graus de incertezas também se concentraram no sul do estado em razão do menor número de estações presentes. As demais regiões do estado também apresentaram valores de baixas incertezas.

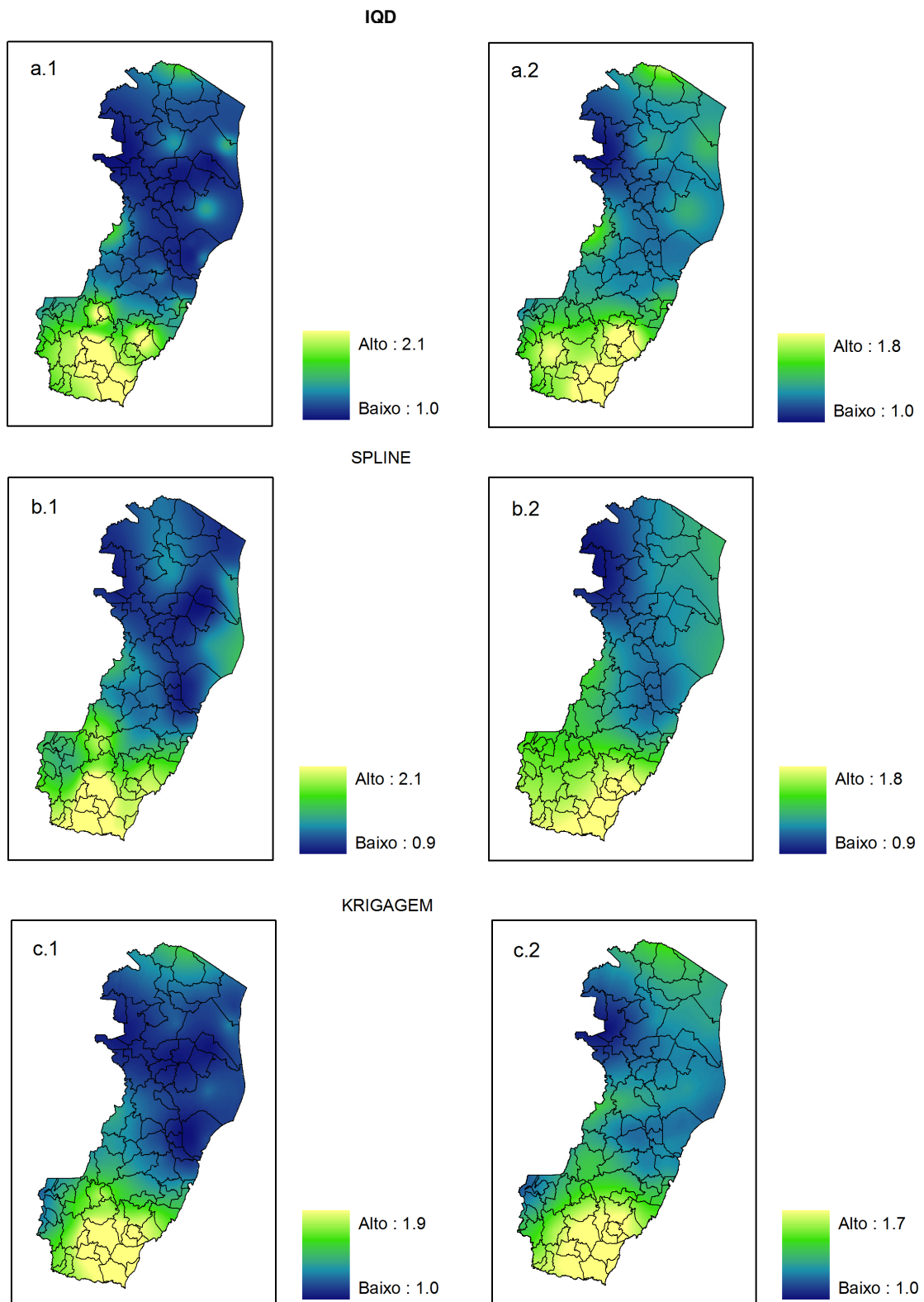


FIGURA 9. Mapas de desvios-padrão dos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1) e somente as estações do INMET (2) para todos os dias sem falha (78 dias).

Logo, o método de interpolação IQD se apresentou como melhor interpolador na estimativa da ETo diária para o estado do Espírito Santo, apresentando-se como uma ferramenta confiável para a interpolação dos valores interpolados da ETo, que podem ser empregados com segurança no manejo da irrigação, em locais onde não se dispõem de dados meteorológicos medidos “in situ”.

Uma vantagem deste modelo, IQD, é a não obrigatoriedade de ferramentas SIG para a realização de interpolações de valores da ETo, uma vez que, trabalha apenas com a distância entre os pontos a serem estimados e as estações meteorológicas mais próximas.

Um registro a ser feito neste trabalho é que do período de 2009 a 2012, somente foi possível identificar registro completo de dados em todas as estações em 78 dias, verificando assim uma falha na coleta de dados. Podendo concluir que há necessidade de uma maior qualidade nos equipamentos empregados durante a coleta, de um monitoramento constante nos dados registrados e uma maior agilidade na correção dos problemas quando identificados pelos órgãos responsáveis.

5. CONCLUSÕES

1. O interpolador Inverso do Quadrado da Distância (IQD), para os grupos em estudo, em geral, obteve os menores valores para os índices estatísticos VM, EAM, EQM, REQM, EEP e EF%, um índice de concordância (d) e um coeficiente de regressão (r^2) próximos da unidade, um coeficiente de correlação de Pearson (r) “forte” ($r = 0,70$ até 1), e um índice de confiança ou desempenho, de modo geral, Ótimo ($c > 0,85$).
2. O interpolador IQD apresentou melhor desempenho na espacialização da variável ETo, para os três grupos, “Dias com baixa radiação”, “Dias com alta radiação” e “Todos os Dias”, representando assim, menor variação entre os valores da ETo estimada pela equação de Penman-Monteith e ETo estimada pelo método de interpolação IQD.
3. O método IQD foi o que melhor se ajustou na espacialização da ETo em forma de mapas com média do total de dias usado em cada grupo, apresentando assim, menor variação da diferença percentual entre as interpolações com todas as estações (INMET, Fibria, CPTEC/INPE) e somente com as estações do INMET.
4. O interpolador IQD se mostrou como um bom método para a estimação da variável evapotranspiração de referência diária nos locais onde não se dispõem de estações meteorológicas instaladas.

5. A variação espacial da ETo segue o mesmo comportamento uniforme de distribuição de interpolação para os períodos com baixa radiação e alta radiação.

6. Os valores estimados da ETo obtidos pelo método de interpolação IQD podem ser usados com confiança no manejo da irrigação.

6. REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. H. **Análise da turbidez na planície de inundação de Curuaí (PA, Brasil) integrando dados telemétricos e imagens MODIS/TERRA**. 2007. 220 f. Dissertação (Mestrado), Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2007.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. Rational use the FAO Blaney-Criddle formula. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 112, n. 2, p. 139-155, 1986.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO** (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.

AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o estado de Alagoas. **Acta Scientiarum Technology**, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.

AMORIM, R. C. F. **Espacialização de variáveis meteorológicas combinando informações de imagens de satélites com técnicas de interpolação para o estado de Minas Gerais**. 2009. 92 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, 2009.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SENTELHAS, P. C.; SILVA, A. A. G. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referencia diária para Parnaíba e

Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 1, p. 63-68, 2003.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MEIRELLES, M. L.; MOREIRA, L. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Embrapa: Brasília, 1998a. Cap. 7, p. 119-137.

ASSAD, M. L. L.; HAMADA, E.; CAVALIERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para agricultura. In: **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Embrapa: Brasília, 1998b. Cap. 11, p. 191-232.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Editora UFV, 8ª edição, 2006. 625p.

BIFFI, L. J.; RAFAELI NETO, S. L. Comportamento espacial de variáveis agrônômicas da maçã 'fuji' durante dois anos de observações no planalto serrano de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 975-980, 2008.

BORGA, M.; VIZZACCARO, A. On the interpolation of hydrologic variables: formal equivalence of multiquadratic surface fitting and kriging. **Journal of Hydrology** **195**, p. 160-171, 1997.

BRAGANÇA, R.; REIS, E. F.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência do período chuvoso para três localidades no estado do Espírito Santo. **IDESIA** (Chile), v. 28, n. 2, p. 21-29, 2010.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Mapas e suas representações computacionais. In: **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Embrapa: Brasília, 1998. Cap. 2, p. 13-29.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, baseada no método de Hargreaves – 1974. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p.77-81, 1996.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: **Análise espacial de dados geográficos**. Embrapa: Planaltina, 2004. Cap. 3, p. 79-122.

CANELLO, V. A. **Estudo baseado na interpolação 3D dos valores de RQD: Barragem de Itaipu, v. 1.** 2011. 321 f. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

CARUSO, C.; QUARTA, F. Interpolation methods comparison. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 35, n. 12, p. 109-126, 1998.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

CARVALHO, D. F.; SILVA, W. A.; CEDDIA, M. B.; TANAJURA, E. L. X.; VILLELA, A. L. O. Estimativa do custo de implantação da agricultura irrigada, utilizando o sistema de informação geográfica. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 395-408, 2005.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada.** Viçosa: Editora UFV, 2012. 240p.

CASTRO, F. S. **Zoneamento agroclimático para a cultura do Pinus no estado do Espírito Santo.** 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C. Zoneamento agroclimático para espécies do gênero Pinus no estado do Espírito Santo. **Revista Floresta**, v. 40, n. 1, p. 235-250, 2010.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Uso de imagens de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) na espacialização da temperatura do ar no estado do Espírito Santo. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 8154-8154.

CASTRO FILHO, H. C.; STEINKE, E. T.; STEINKE, V. A. Análise espacial da precipitação pluviométrica na bacia do lago Paranoá: comparação de métodos de interpolação. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 336-345, 2012.

CHIBA, C. Y.B.; GANDU, A. W.; Análise da precipitação simulada durante o experimento WET-AMC/LBA. In: **Anais.** Congresso Brasileiro de Meteorologia, Edição XI, Rio de Janeiro. 2000.

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 60p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 46).

COSTA, F. F.; OLIVEIRA, G. D.; CAIXETA, P. R. C.; SANTOS, G. R. Espacialização de precipitação máxima média com interpolador geoestatístico: Krigagem. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife. **Anais...** Recife, 2012. p. 001-008.

CRUZ, F. A. **Instalação e calibração de lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica-RJ**. 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

DALPOSSO, G. H. **Estatística espacial aplicada à agricultura de precisão**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2010.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirements: guidelines for predicting. Rome: **FAO** (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 24), 1977.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 209p.

ESRI – Environmental Systems Research Institute, Inc., 2011, **User Manual – Help Online**, version 9.3, Disponível em: <[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?topicname=how%20spline%20\(3d%20analyst\)%20works&](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?topicname=how%20spline%20(3d%20analyst)%20works&)>. Acesso em: 15 nov. 2013.

ESRI – Environmental Systems Research Institute, Inc., 2012, **User Manual – Help Online**, version 9.3, Disponível em: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=6064&pid=6061&topicname=Applying%20a%20spline%20interpolation&>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

FABRÍCIO, G. M.; VENIZIANI JUNIOR, J. C. T.; KAISER, I. M. Análise dos dados pluviométricos da estação hidrometeorológica da FATEC-Jahu. In: **Anais**. 4º Simpósio de Tecnologia em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2012.

FARIAS, J. A. M.; SILVA, J. F. R.; COELHO, L. S. Estimativa pluviográfica no estado do Ceará utilizando ordenamento de amostras em ambiente SIG, através de métodos geoestatísticos. In: **Anais**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, Alagoas, 2011.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. A. A.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 8, n. 1. p. 61-71, 2012.

GOLDEN SOFTWARE, 1993-2002. **SURFER**[®]. User's Guide, Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. Golden Software.

GOMES, N. M.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; FARIA, M. A.; OLIVEIRA, P. M. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físicos-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 435-443, 2007.

GOMES, O. M.; SOUZA, F. A. S.; SANTOS, C. A. C.; PAIVA, W. Análise geoestatística da precipitação pluvial do Estado do Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 4, p. 692-702, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Tutorial SPRING**. 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

JIMENEZ, K. Q.; DOMECCQ, F. M. **Estimação de chuva usando métodos de interpolação**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

KRÜGER, C. M. Análise geoestatística de dados meteorológicos do estado do Paraná utilizando um software livre. **da Vinci**, v. 2, n. 1, p. 87-104, 2005.

LENNON, J. J.; TURNER, J. R. G. Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. **Journal of Animal Ecology**, v. 64, n. 3, p. 370-392, 1995.

LIMA JUNIOR, F. E. B. **Análise comparativa da evapotranspiração de referencia estimada por diferentes métodos no município de Limoeiro do Norte, Ceará**. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, 2008.

LUNET, N.; SEVERO, M.; BARROS, H. Desvio Padrão ou Erro Padrão. **Arquivos de Medicina**, v. 20, n. 1/2, p. 55-59, 2006.

MAGALHÃES, I. A. L.; ALMEIDA, K. L.; THIAGO, C. R. L.; GARDIMAN JUNIOR, B. S.; ZANETTI, S. S.; CECÍLIO, R. A. Análise de métodos de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na região norte do estado do Espírito Santo.

In: **Anais**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, Paraná, 2013.

MANZIONE, R. L. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em Araguari-MG**. 2002. 155 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2002.

MARQUES, A. P. S.; MARCATO JUNIOR, J.; AMORIM, A.; FLORES, E. F. Aplicação do interpolador krigagem ordinária para a elaboração de planta de valores genéricos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 2, p. 175-186, 2012.

MATOS, A. C. O. C. **Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul**. 2005. 355 f. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referencia a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE**. 2002. 103 f. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p.925-933, 2003.

OLIVEIRA, M. A. A.; CARVALHO, D. F. Estimativa da evapotranspiração de referencia e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 132-135, 1998.

PELLEGRINO, G. Q.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; BRUNINI, O. O uso de sistemas de informações geográficas no mapeamento de informações agrometeorológicas. In: **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Embrapa: Brasília, 1998. Cap. 17, p. 329-348.

PERDIGÃO, A. SIG na gestão da água para a agricultura. **Finisterra**, XXXVIII, 76, p. 121-131, 2003.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

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

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, H. M. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 263-268, 2003.

ROLIM, J.; CATALÃO, J.; TEIXEIRA, J. Desenvolvimento de um interpolador espacial de dados agrometeorológicos. Aplicação à região do Alentejo. In: **Anais**. III Congresso Nacional de Rega e Drenagem, Beja, 2010.

SARAIVA, G. S.; BONOMO, R.; SOUZA, J. M. Perdas de água por evaporação e arraste pelo vento, em sistemas de aspersão fixa, norte do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 4, p. 235-247, 2013.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p. 1-7, 1996.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D. Análise espaço-temporal do potencial hídrico climático do estado de Goiás. In: **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Embrapa: Brasília, 1998. Cap. 15, p. 273-309.

SILVA, J. M. **Métodos geoestatísticos no estudo de atributos químicos e físicos do solo em dois sistemas de cultivo da soja no cerrado**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão. **IDESIA** (Chile), v. 26, n. 2, p. 75-81, 2008.

SILVA, V. J.; CARVALHO, H. P.; DA SILVA, C. R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2011.

SIQUEIRA, J. D. P.; LISBOA, R. S.; FERREIRA, A. M.; SOUZA, M. F. R.; ARAÚJO, E.; LISBÃO JÚNIOR, L.; SIQUEIRA, M. M. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do estado do Espírito Santo. **Revista Floresta**, Edição Especial, v. 34, n. 2, p. 3-67, 2004.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 77-86, 1998.

SOUZA, J. L. L. L.; GOMES, T. S.; DIAS, R. S.; OLIVEIRA, G. M. A.; SANTOS, R. L. Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no

território identidade Portal do Sertão/Bahia. In: **Anais**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, 2011, p. 4295.

SPADAVECCHIA, L.; WILLIAMS, M. Can spatio-temporal geostatistical methods improve high resolution regionalisation of meteorological variables?. **Geostatistical Estimation of Model Drivers**, p. 92-129. 2008.

SRTM - **Shuttle Radar Topography Mission**: Mission to Map the World. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com_content&view=article&id=51:geotiff&catid=9:noticias>. Acesso em: 24 jan. 2014.

THORNTON, P. E.; RUNNING, S. W.; WHITE, M. A. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. **Journal of Hydrology** **190**, p. 214-251, 1997.

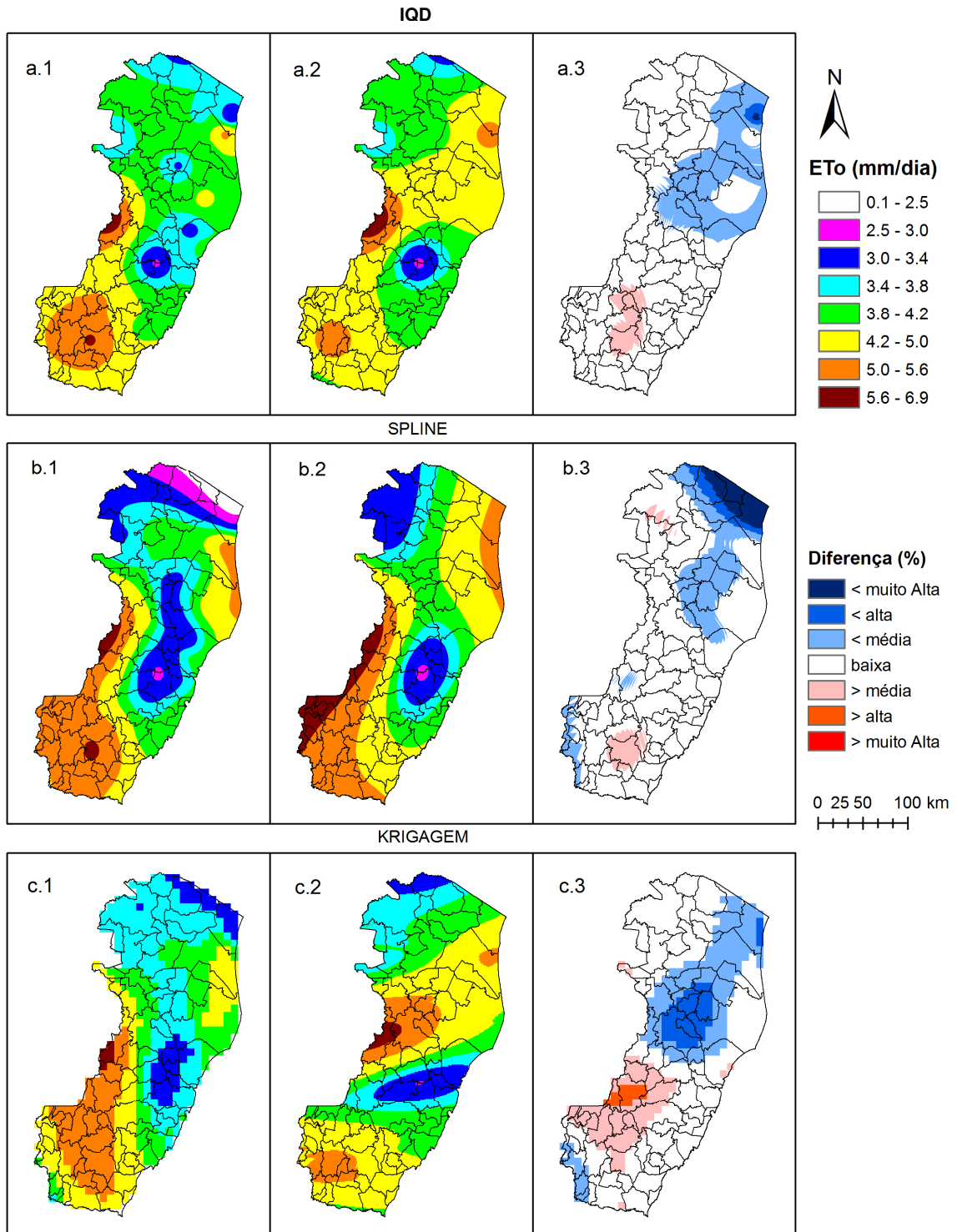
VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. 2. ed. Viçosa: MG, Ed. UFV, 2012. 460p.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, v. 56, n. 1, p. 181-190, 1997.

ZINI JÚNIOR, A. **Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo e de produção de laranja Var. Folha Murcha no sul do estado do Espírito Santo**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

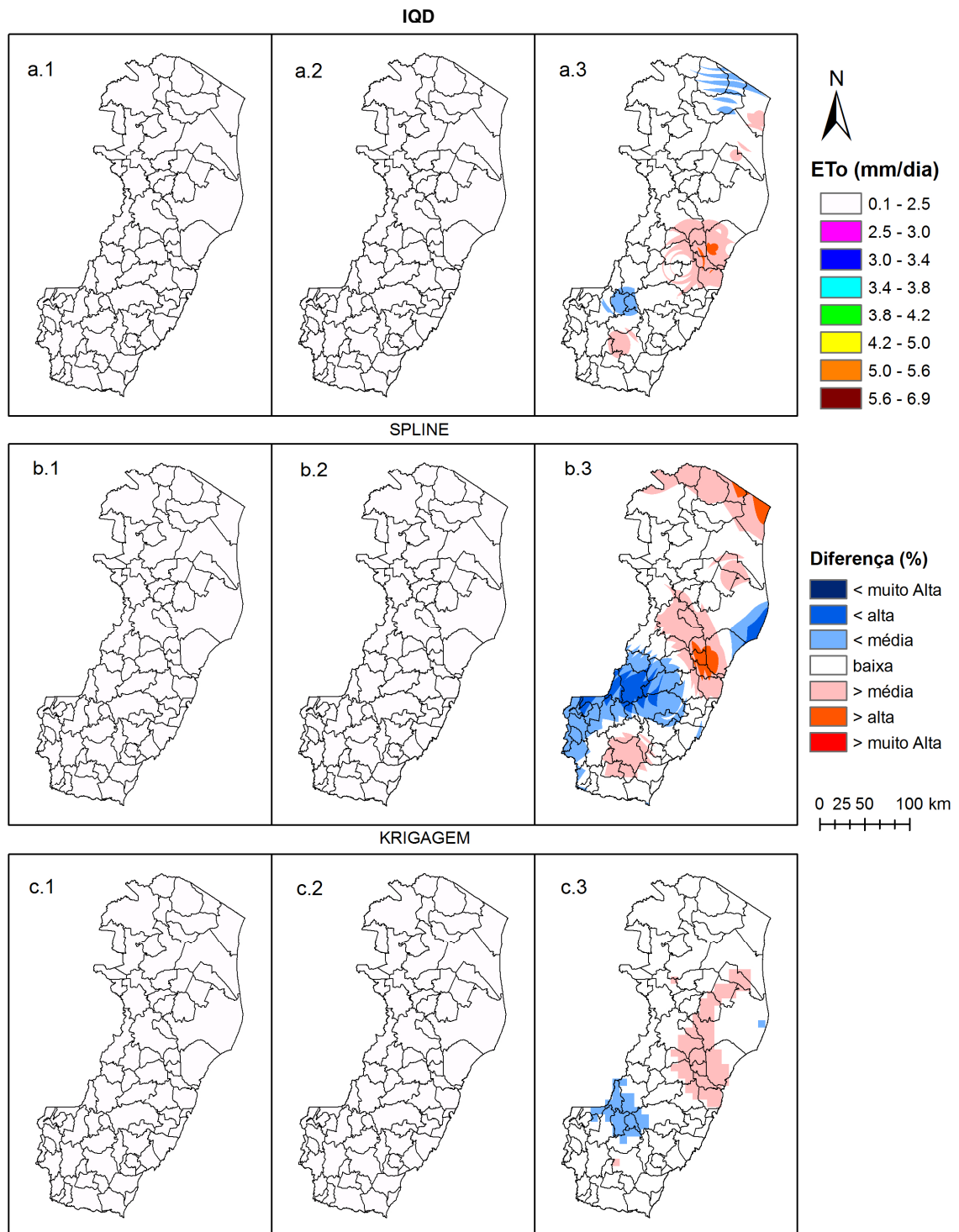
ANEXOS

ANEXO A – “Dias com baixa radiação relativa”



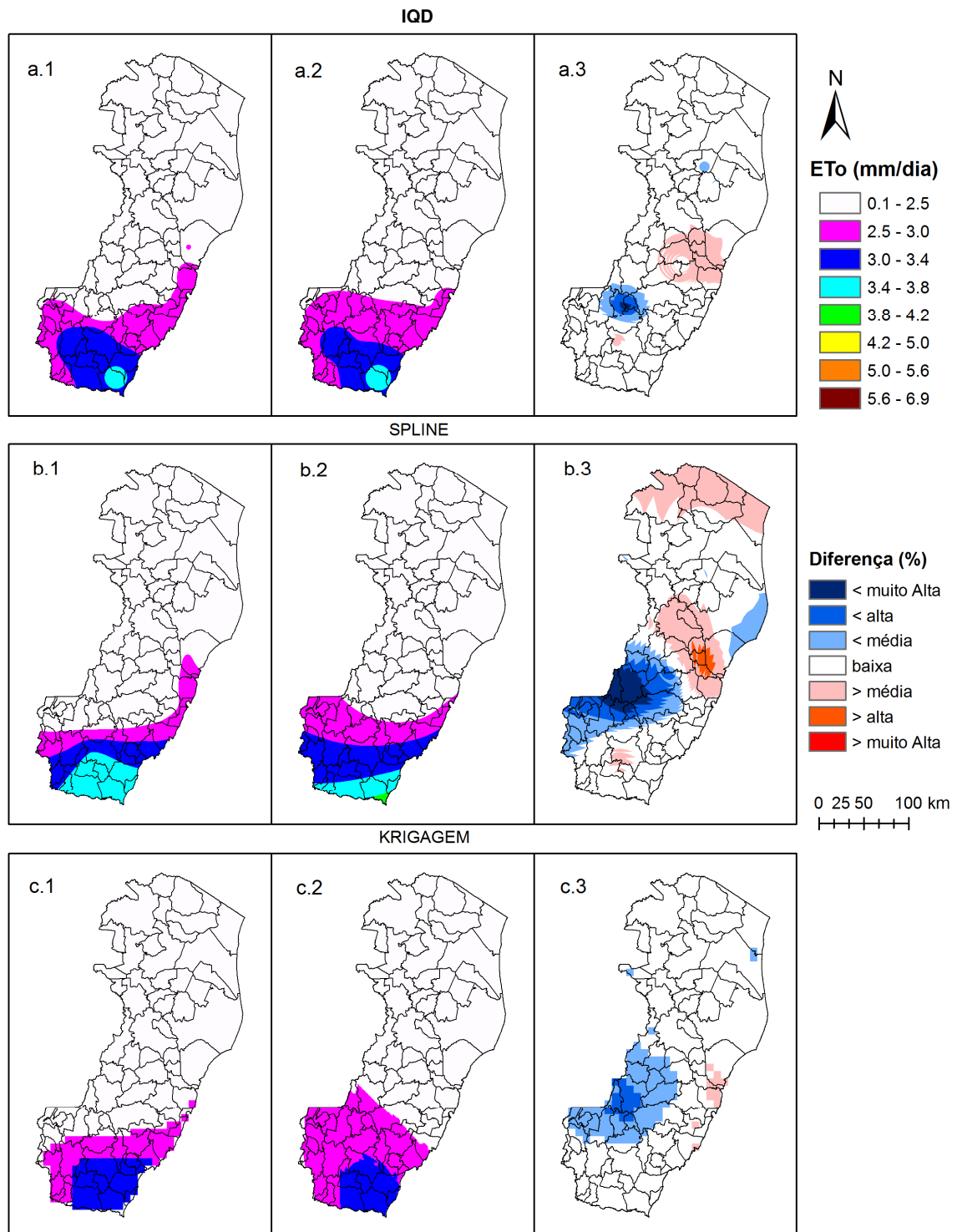
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 10. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fribria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 28/10/10.



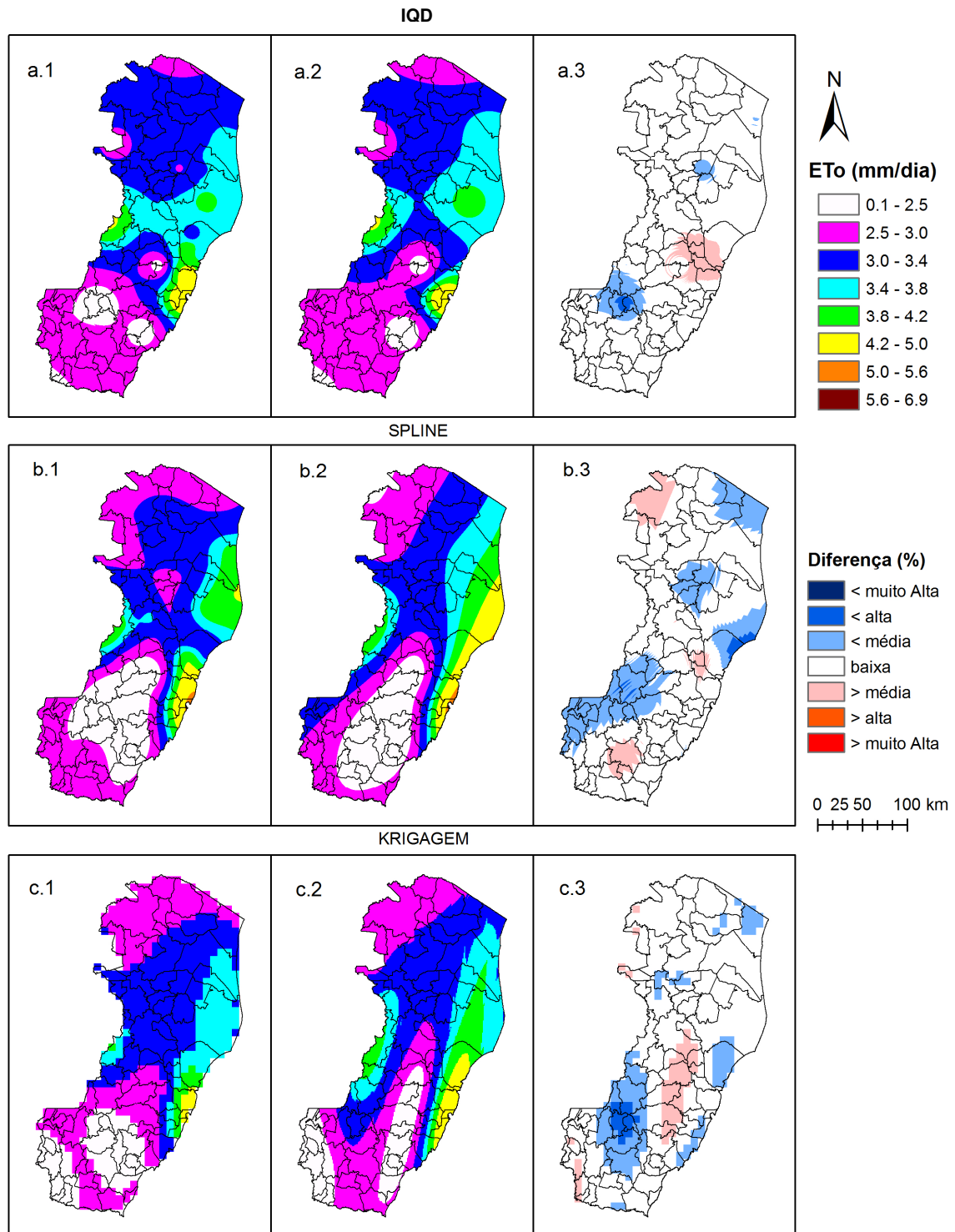
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 11. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 02/11/10.



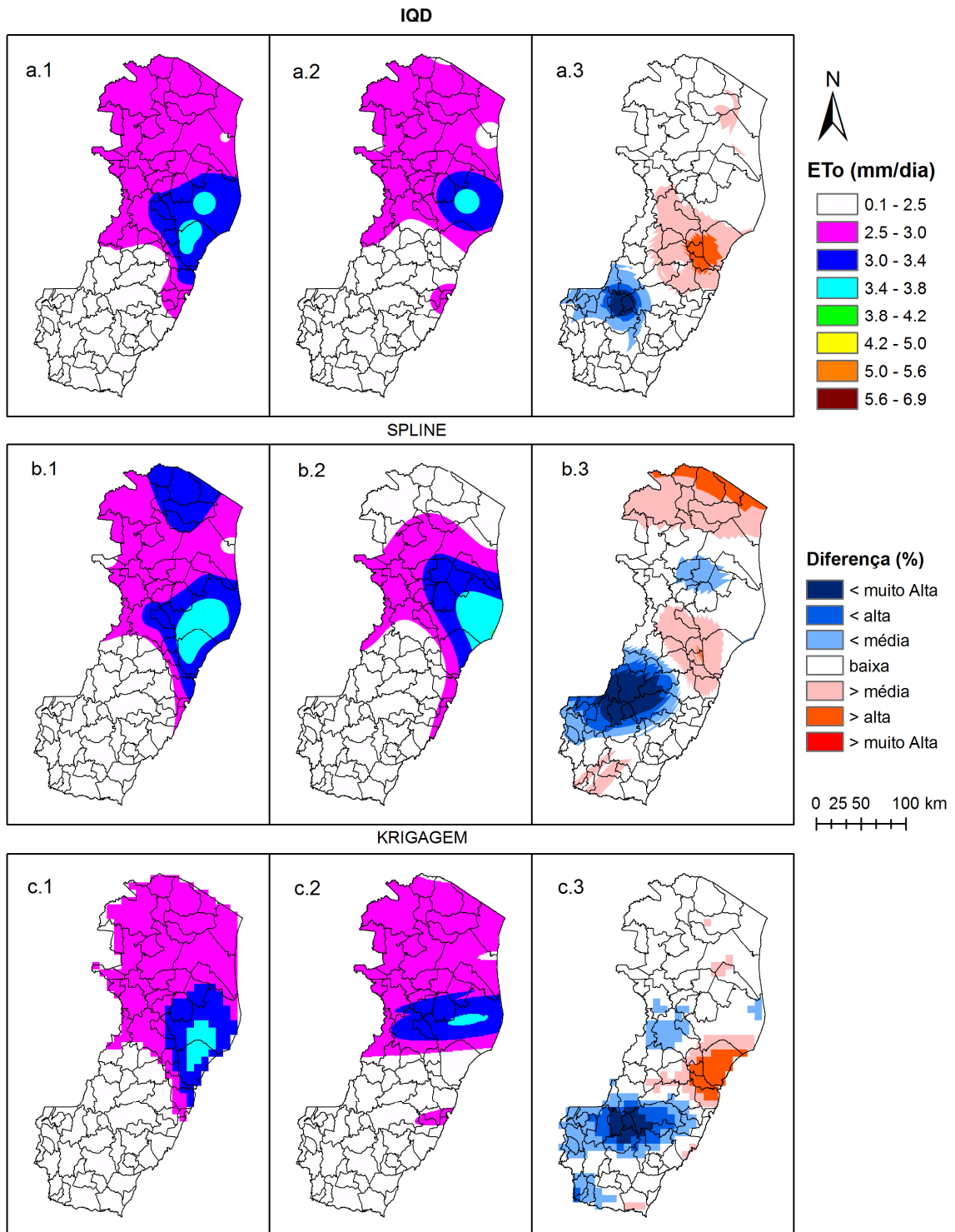
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 12. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 03/11/10.



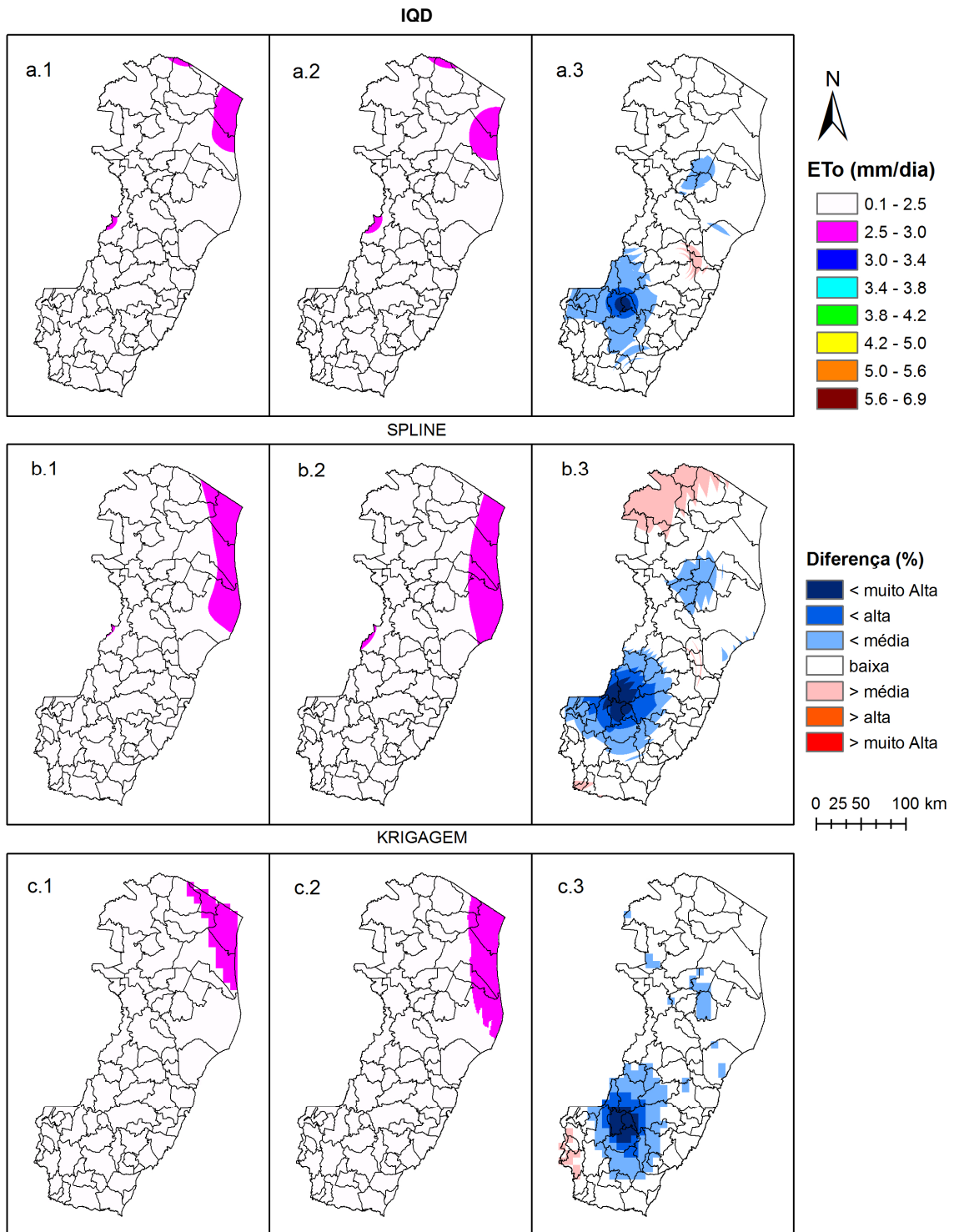
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 13. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 12/11/10.



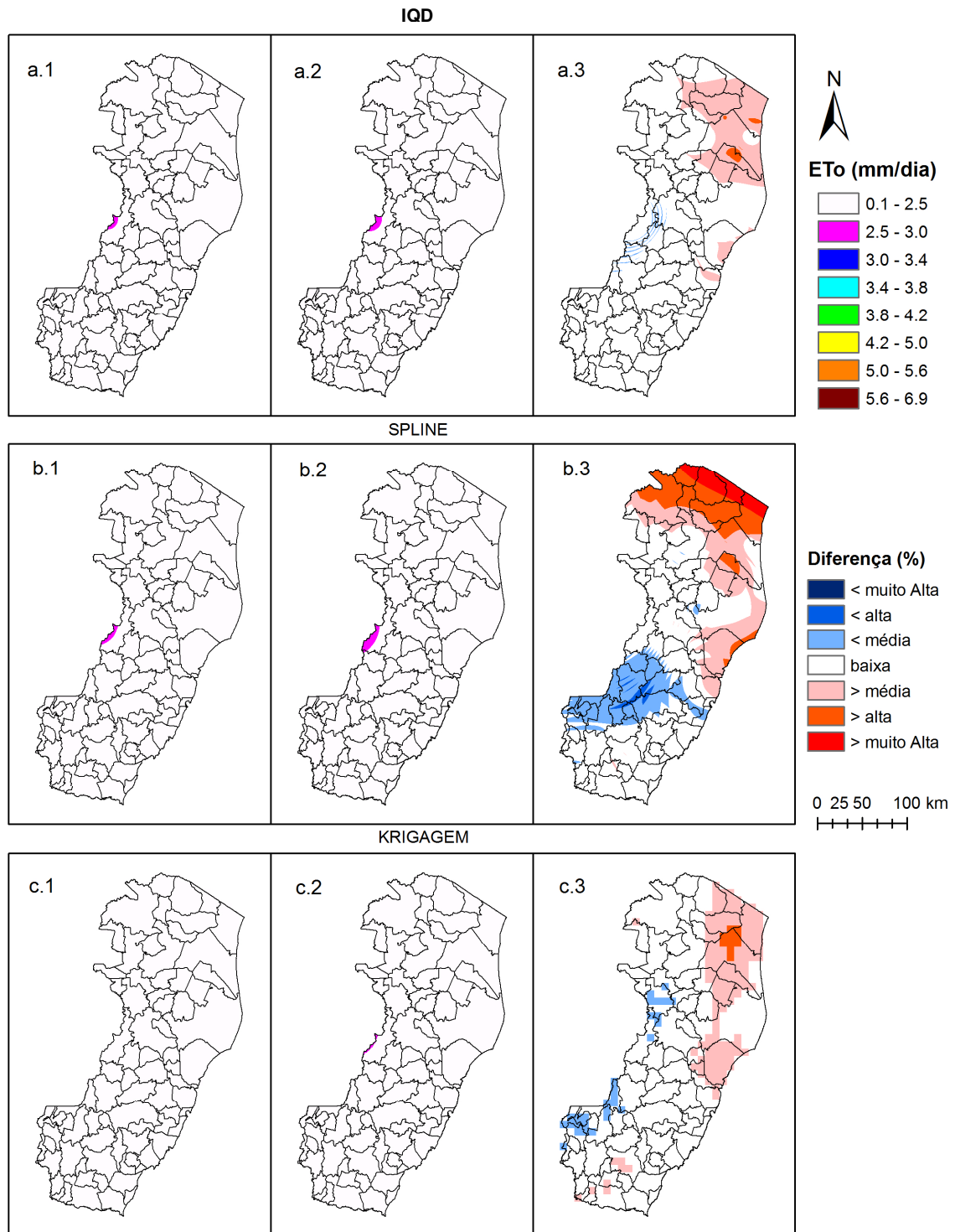
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 14. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 13/11/10.



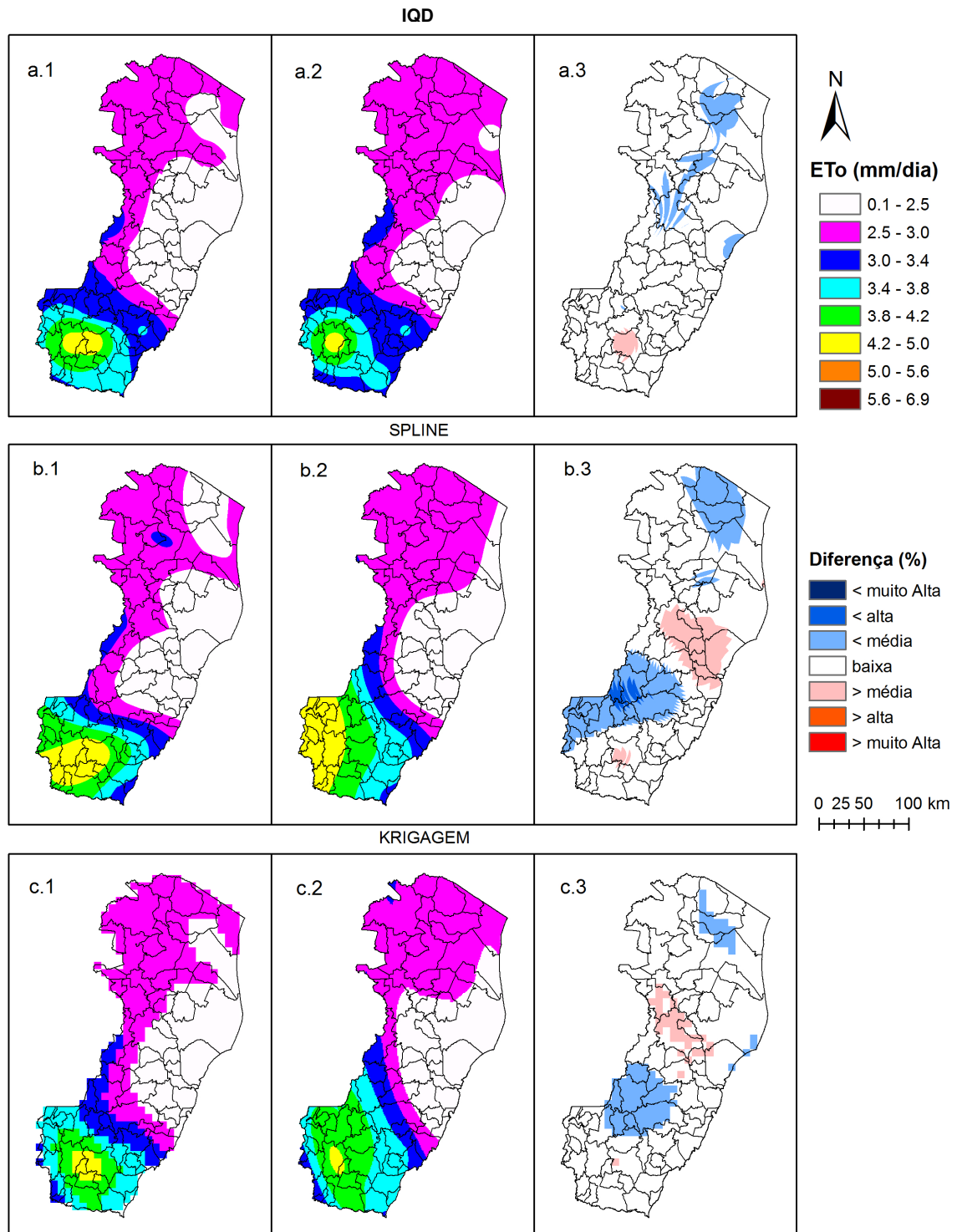
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 15. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 14/11/10.



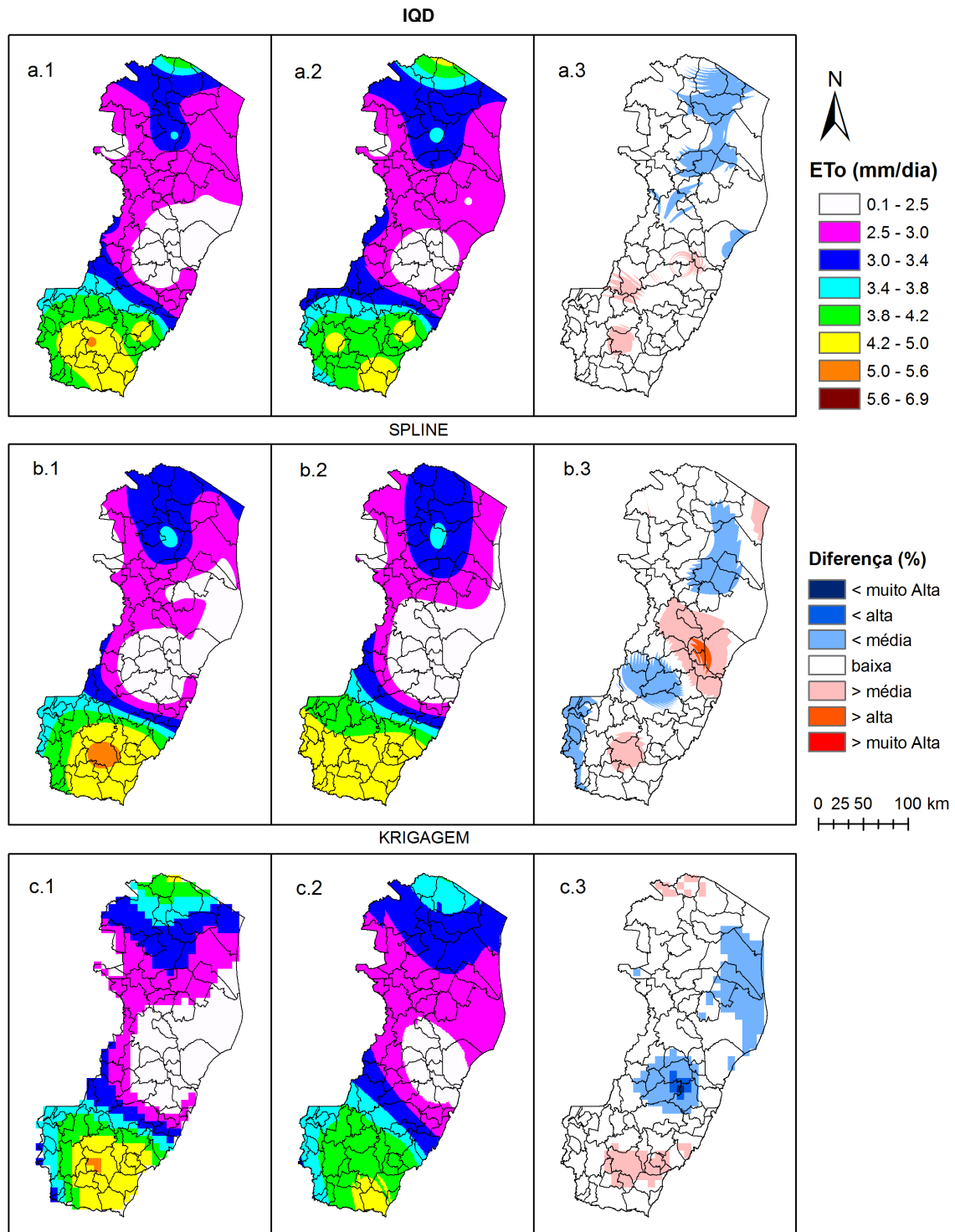
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 16. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 15/11/10.



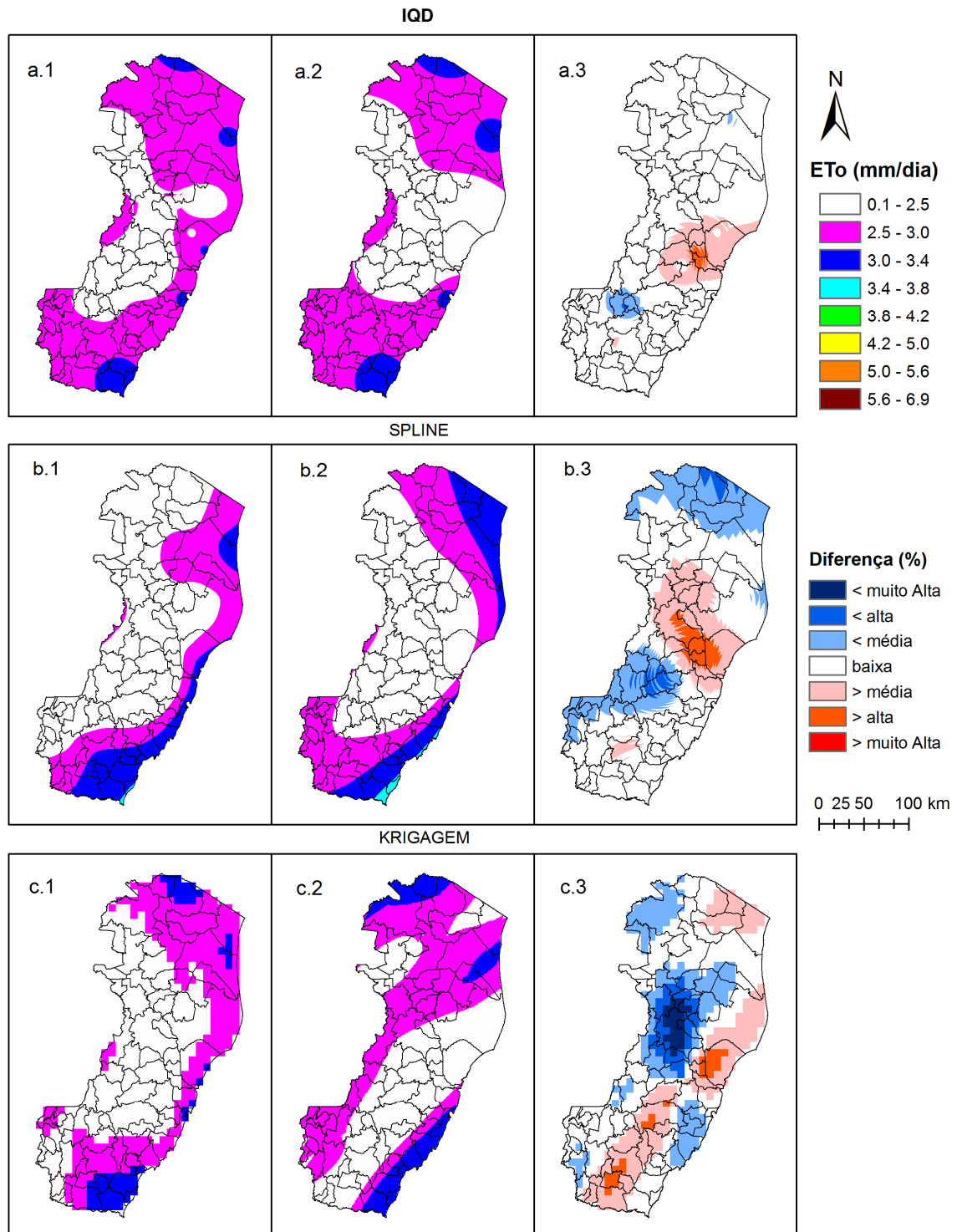
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 17. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 16/11/10.



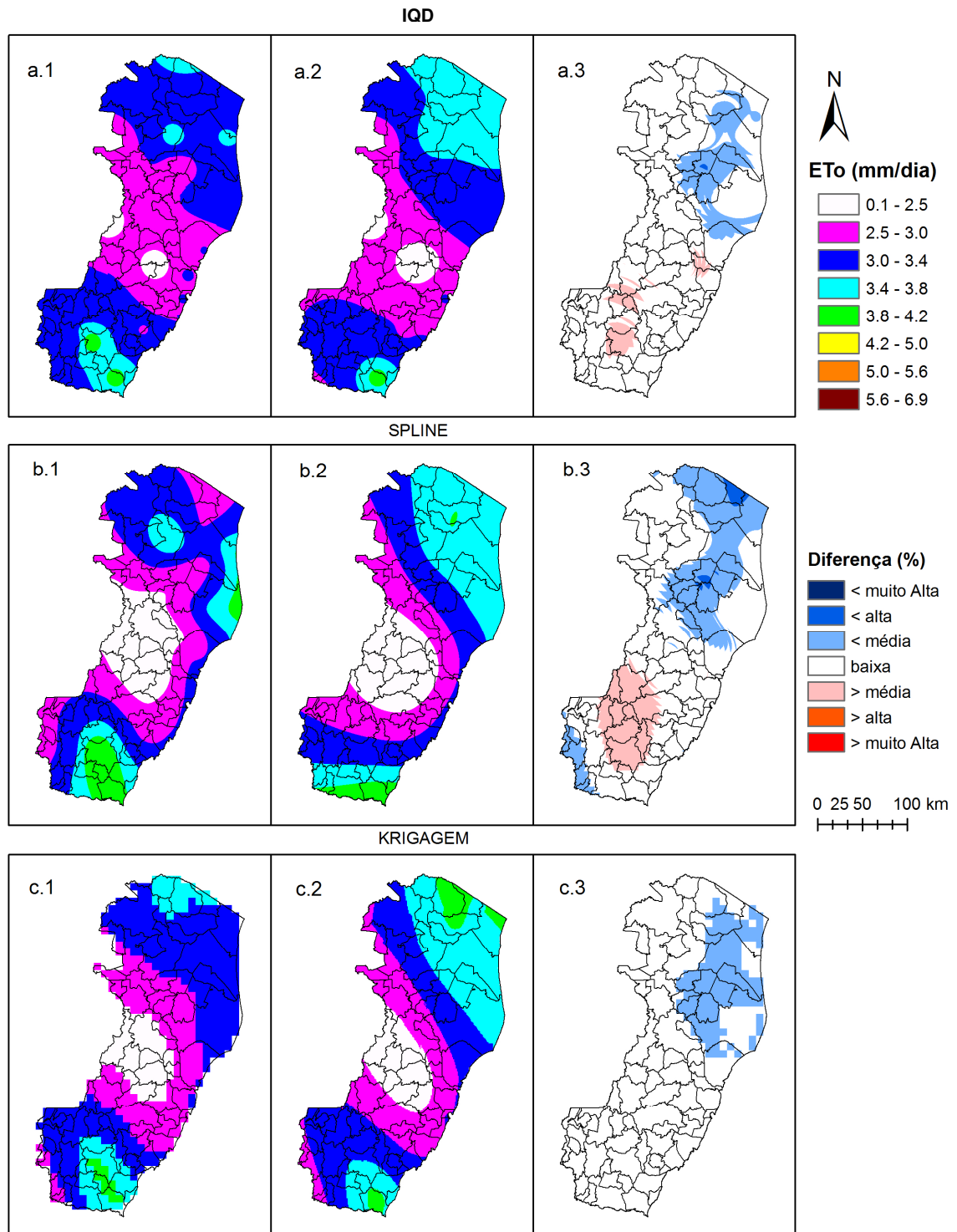
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 18. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fribia e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 23/11/10.



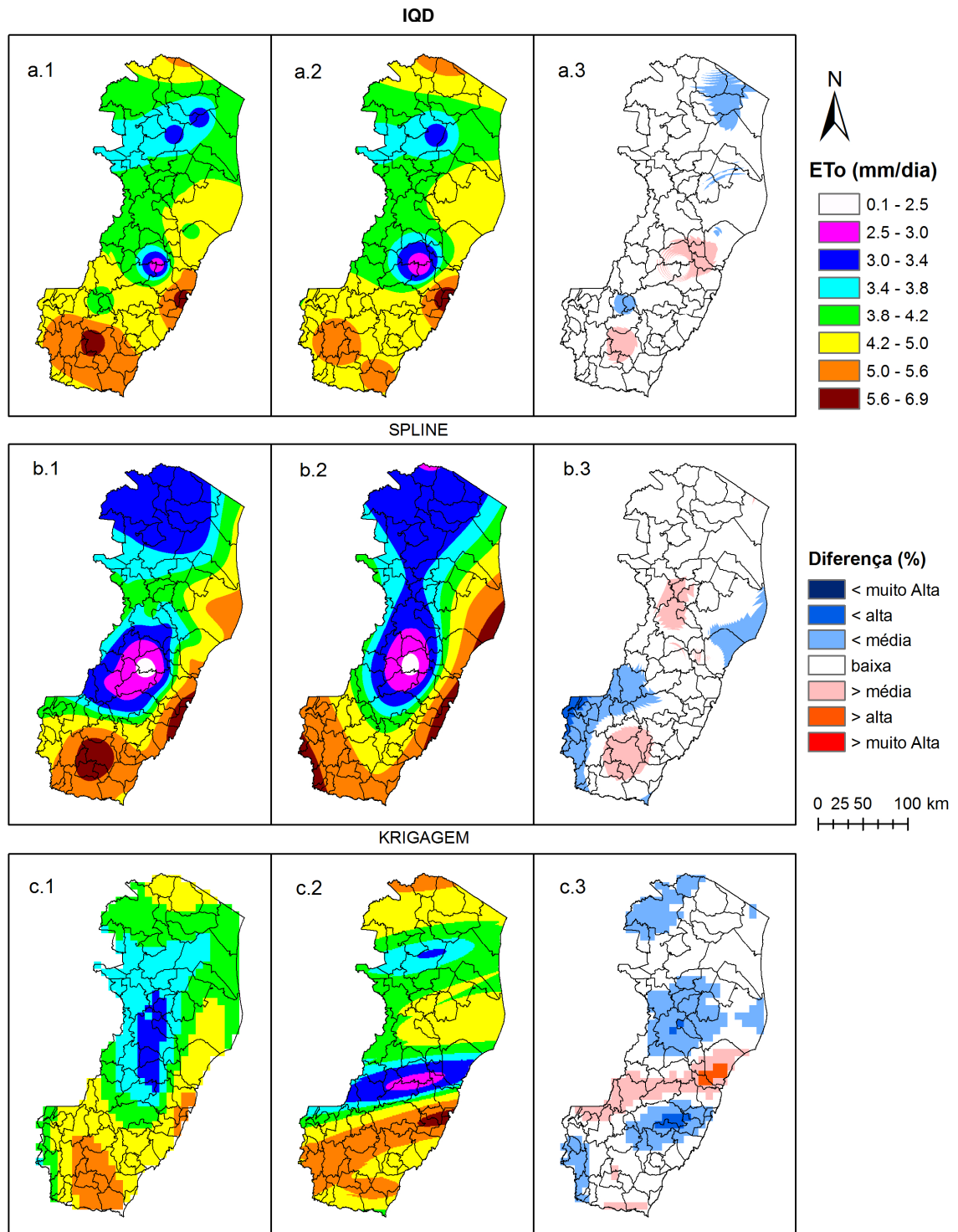
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 19. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 24/11/10.



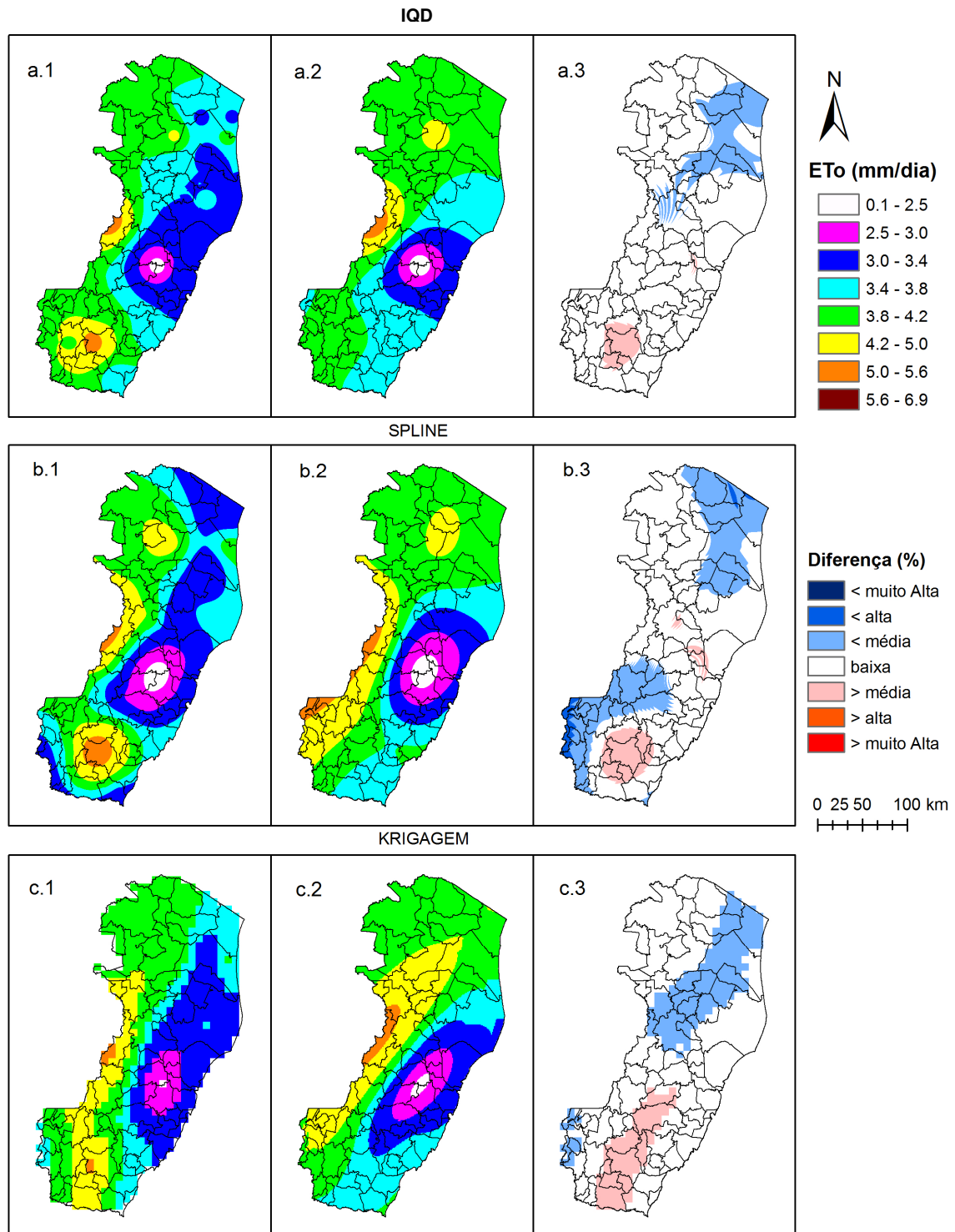
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 20. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 26/11/10.



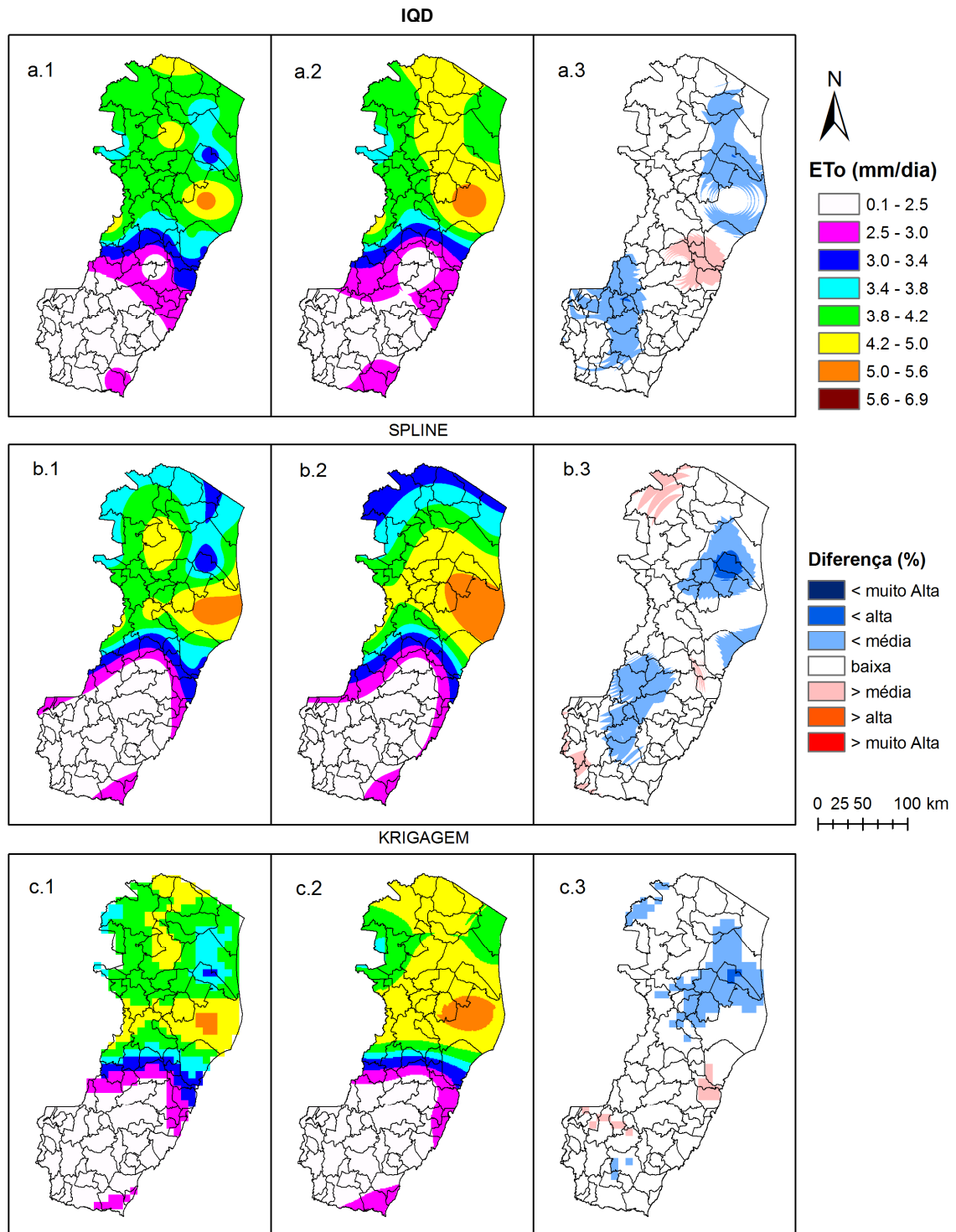
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 21. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fribia e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 04/12/10.



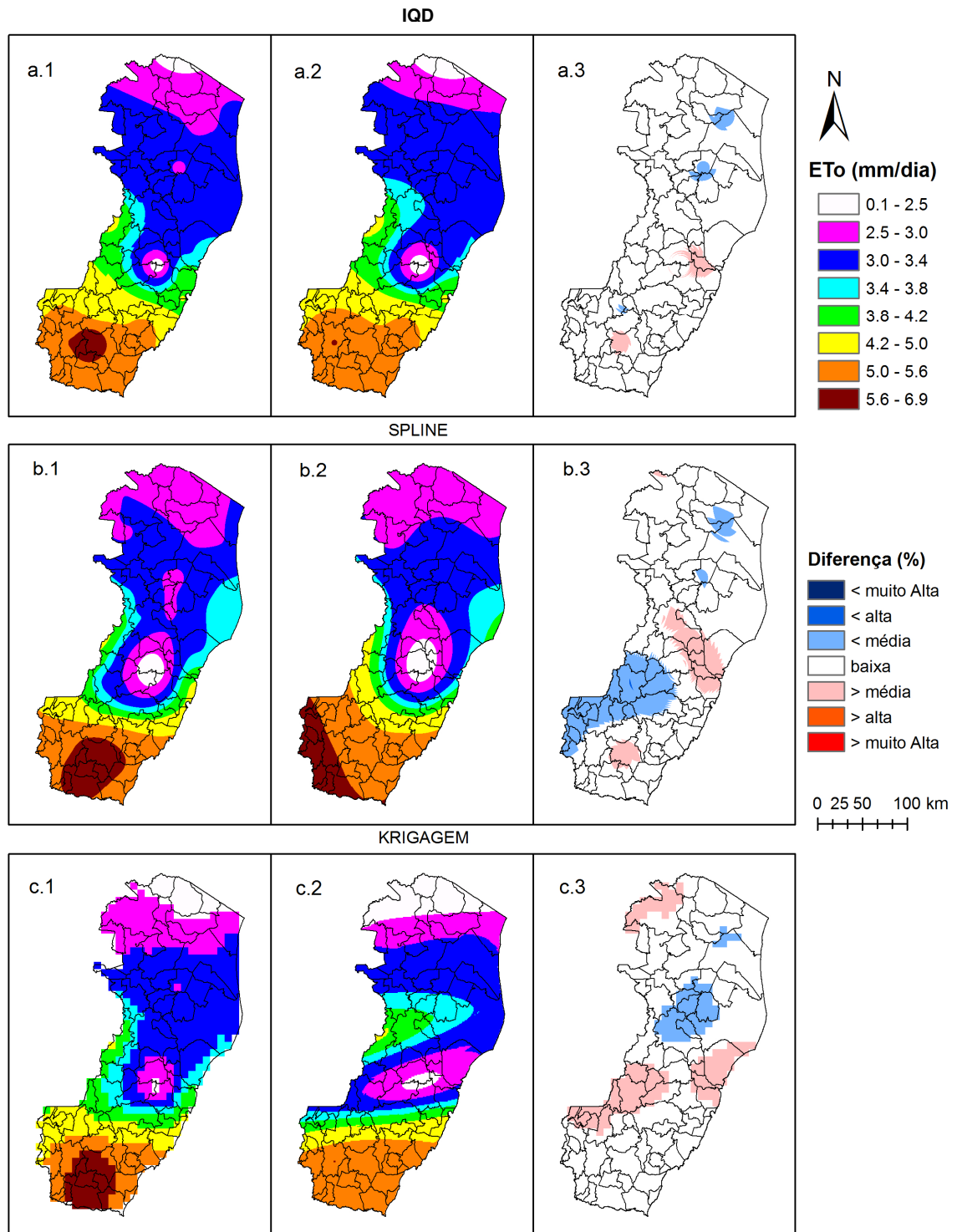
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 22. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 25/02/11.



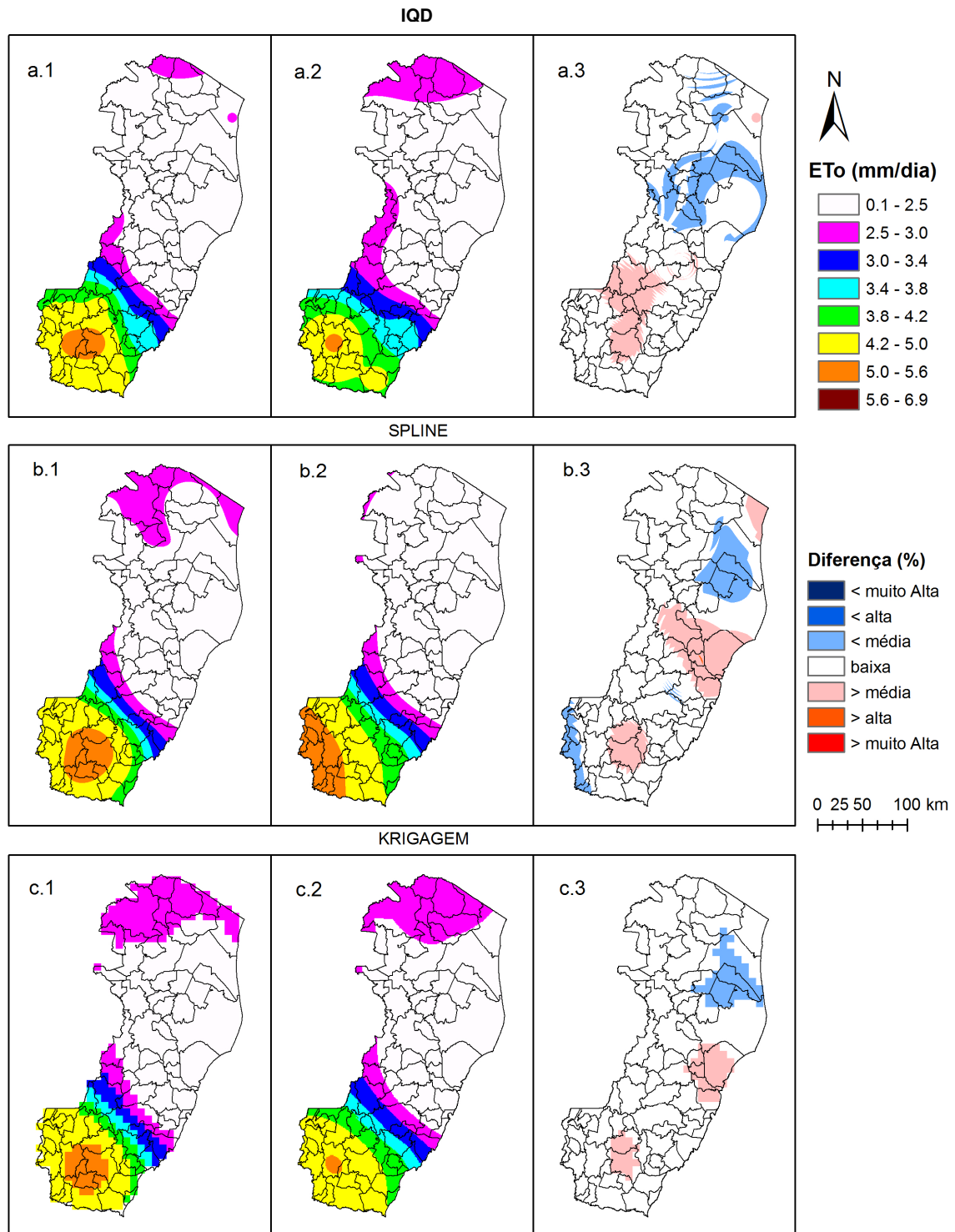
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 23. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 04/03/11.



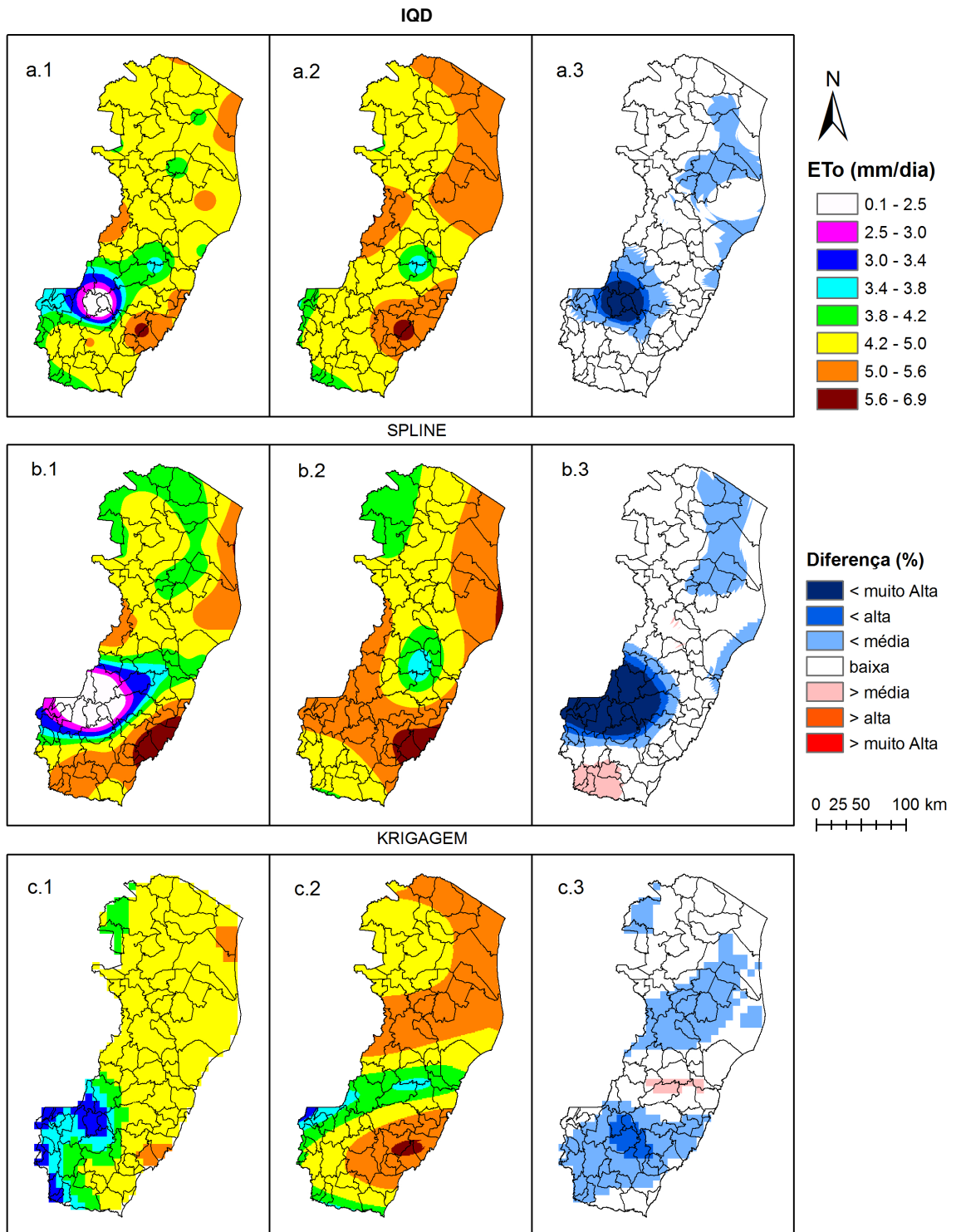
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 24. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 08/11/11.



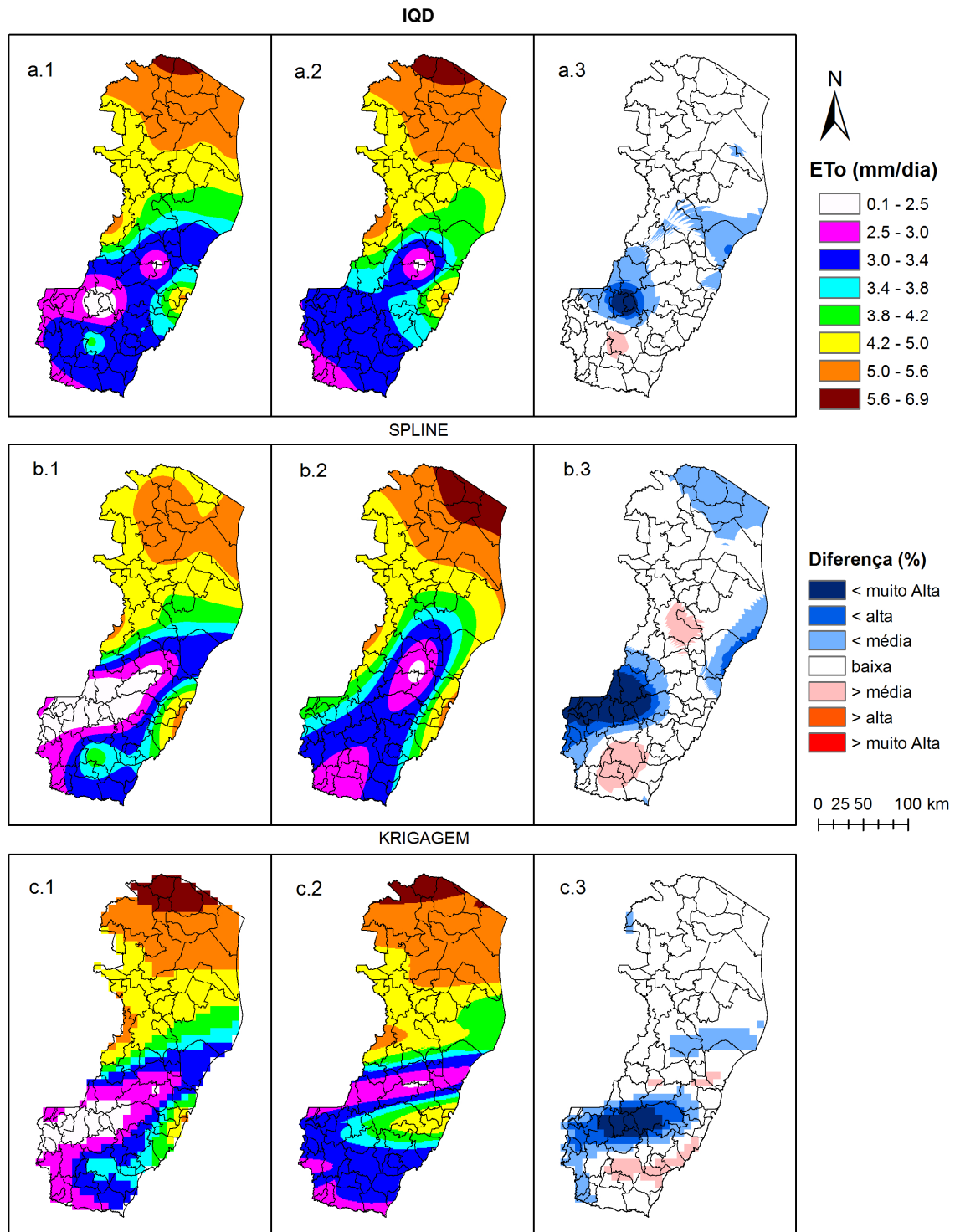
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 25. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 12/12/11.



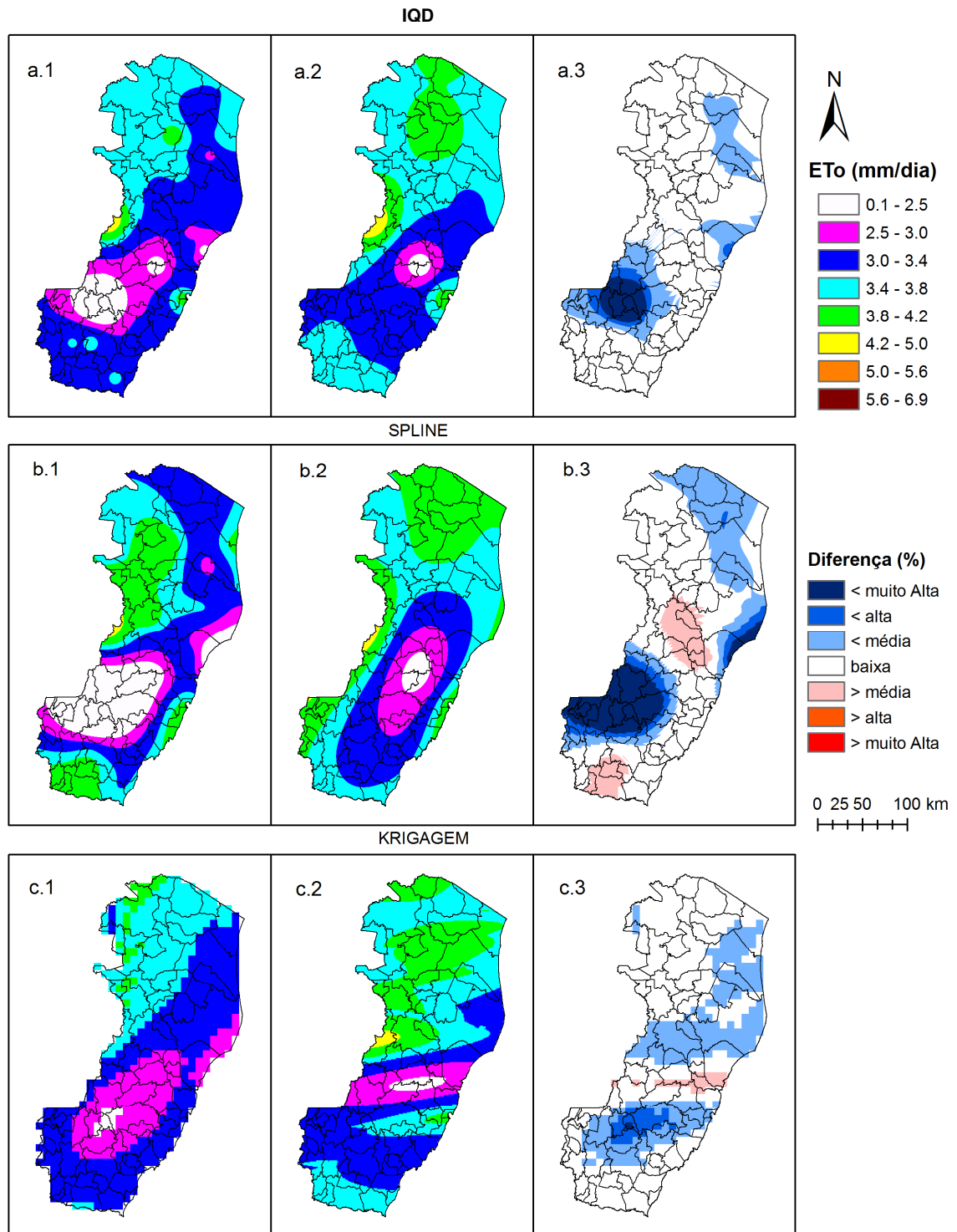
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 26. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 29/01/12.



Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

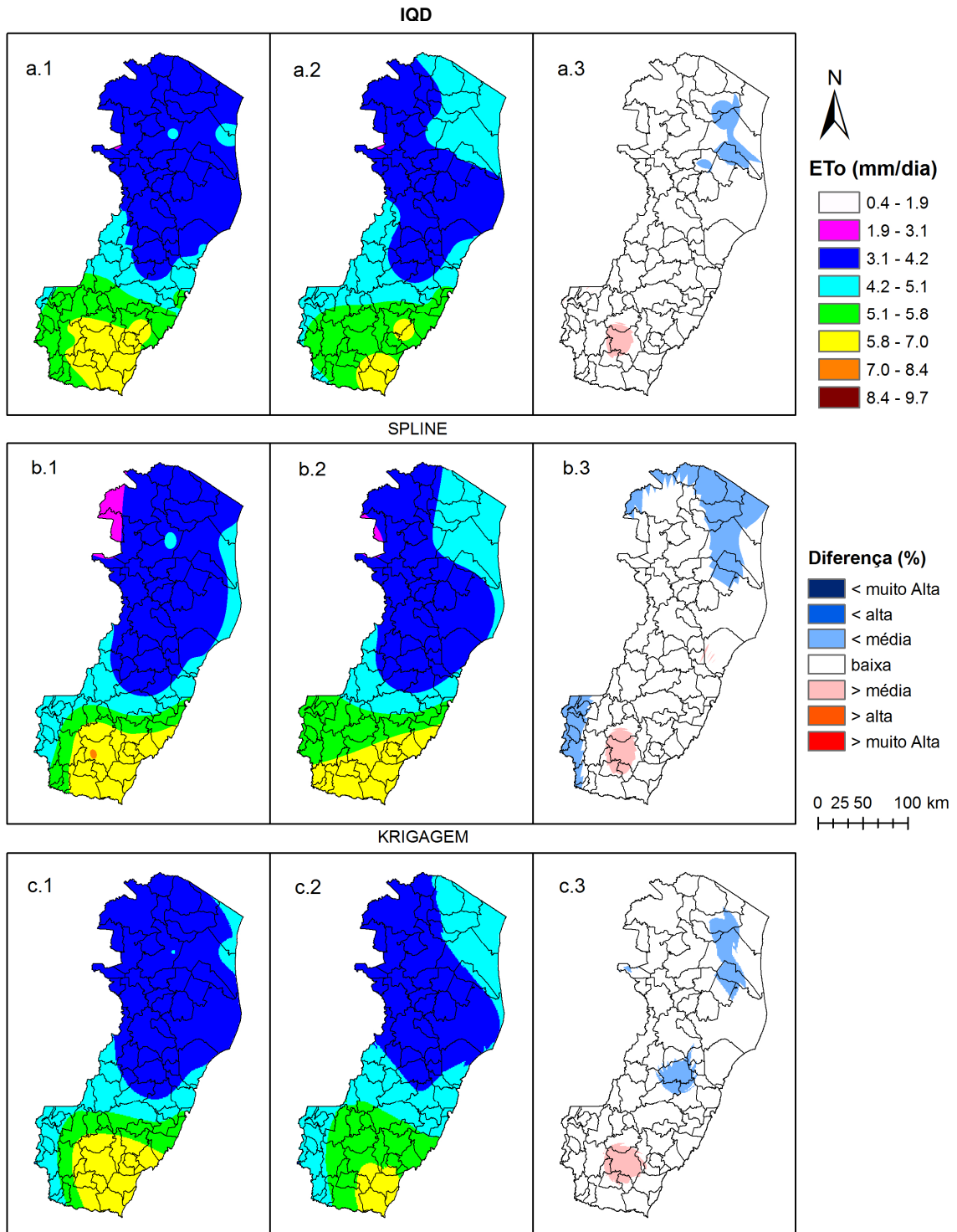
FIGURA 27. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 25/03/12.



Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

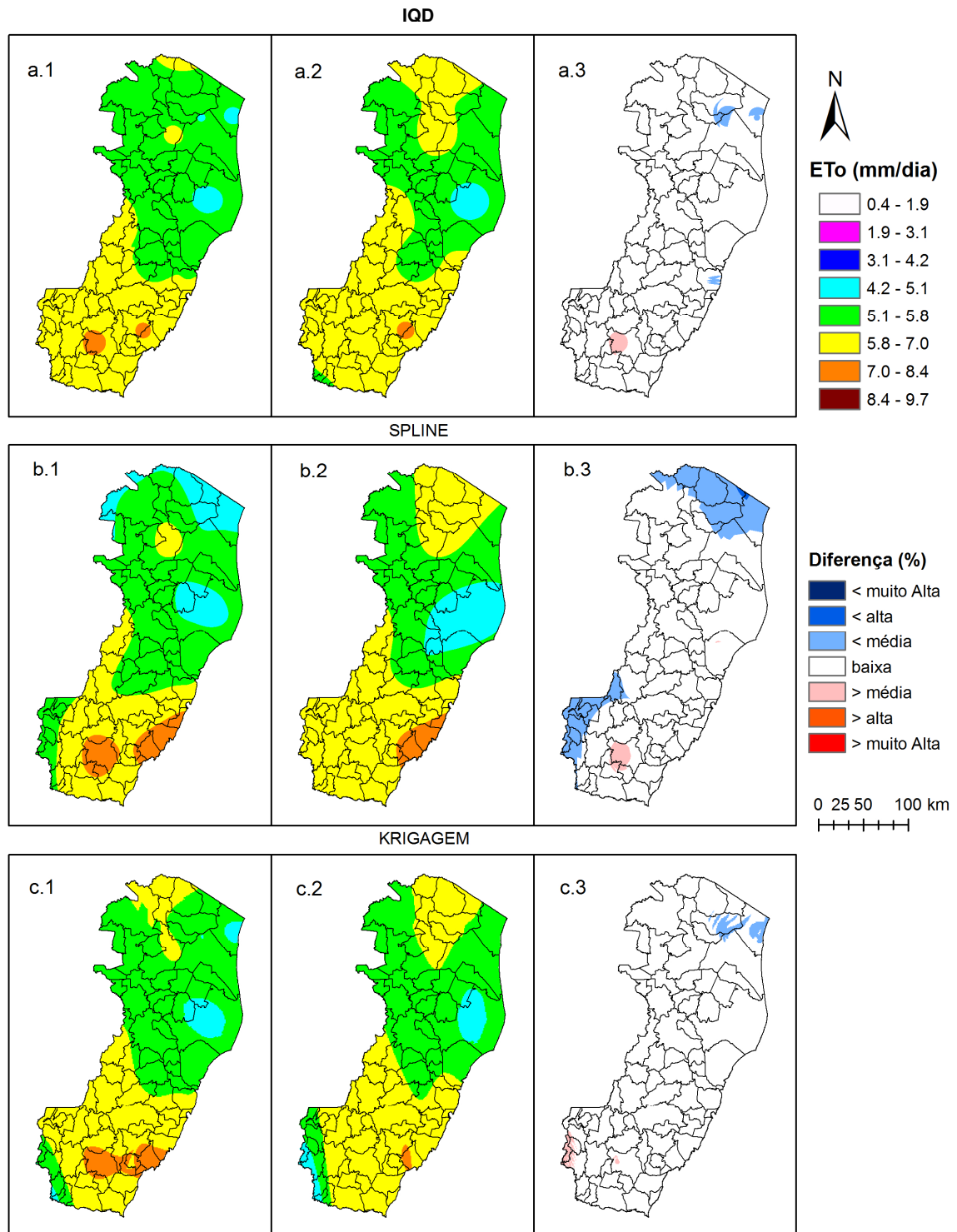
FIGURA 28. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 01/04/12.

ANEXO B – “Dias com alta radiação”



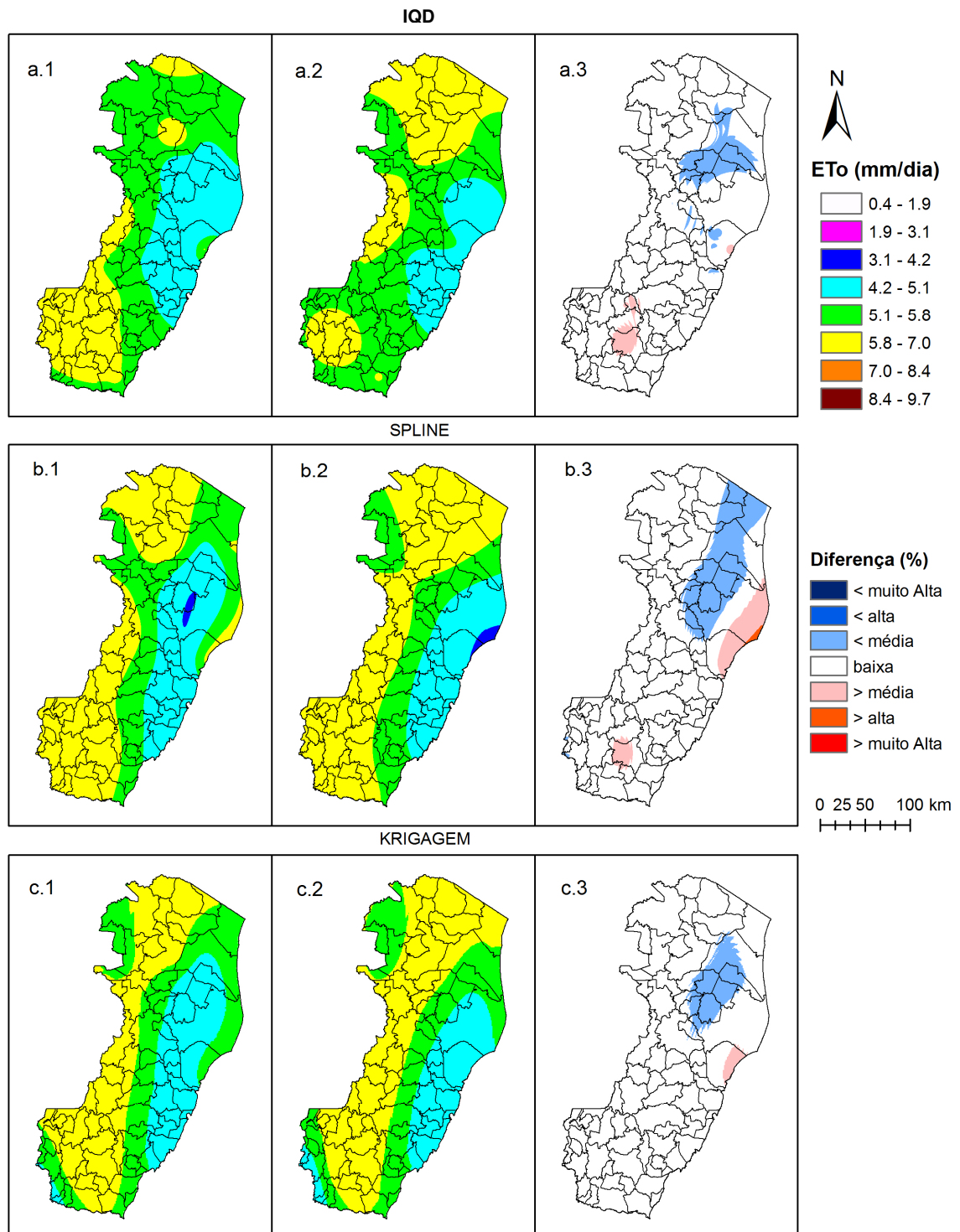
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 29. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 29/10/10.



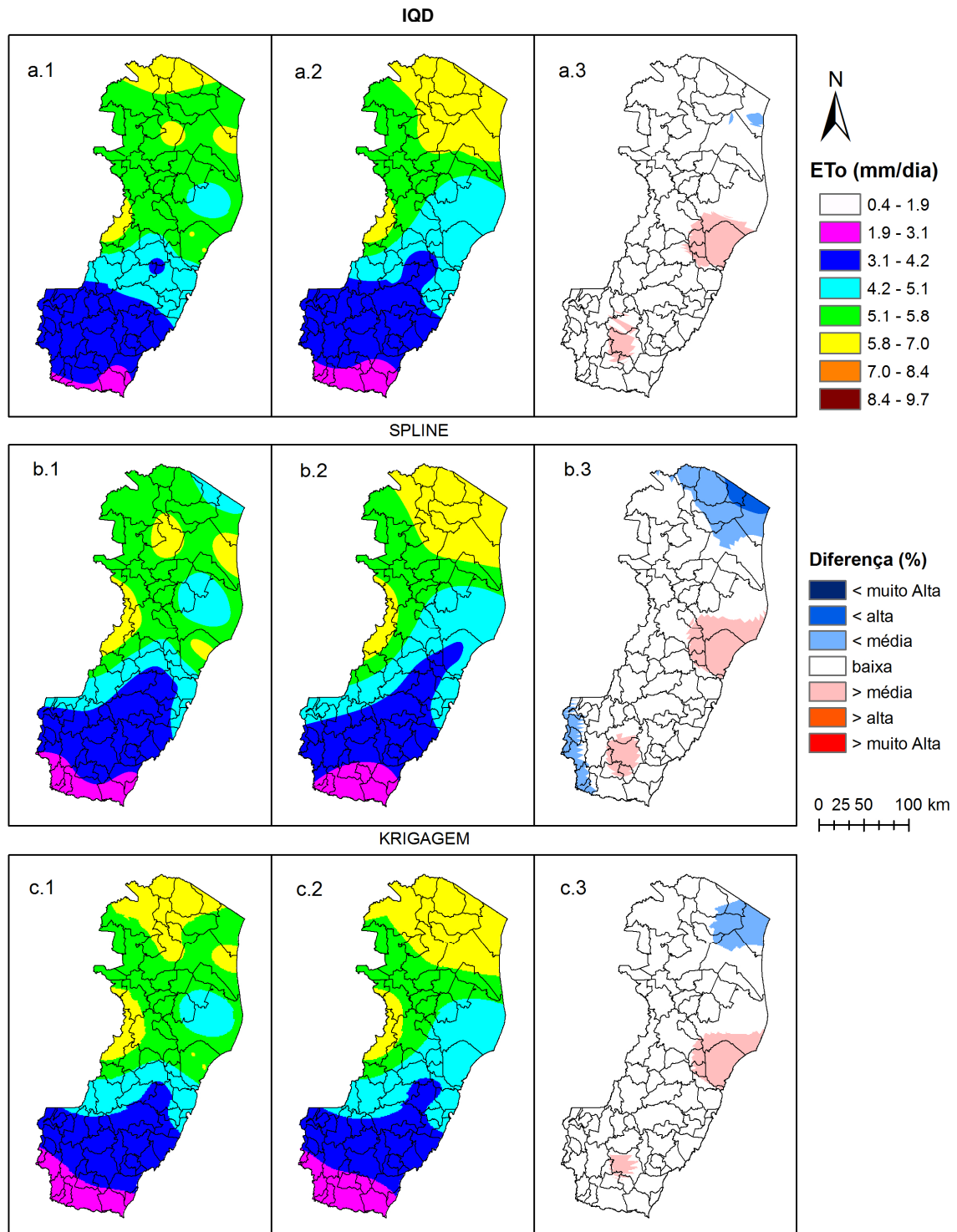
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 30. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 30/10/10.



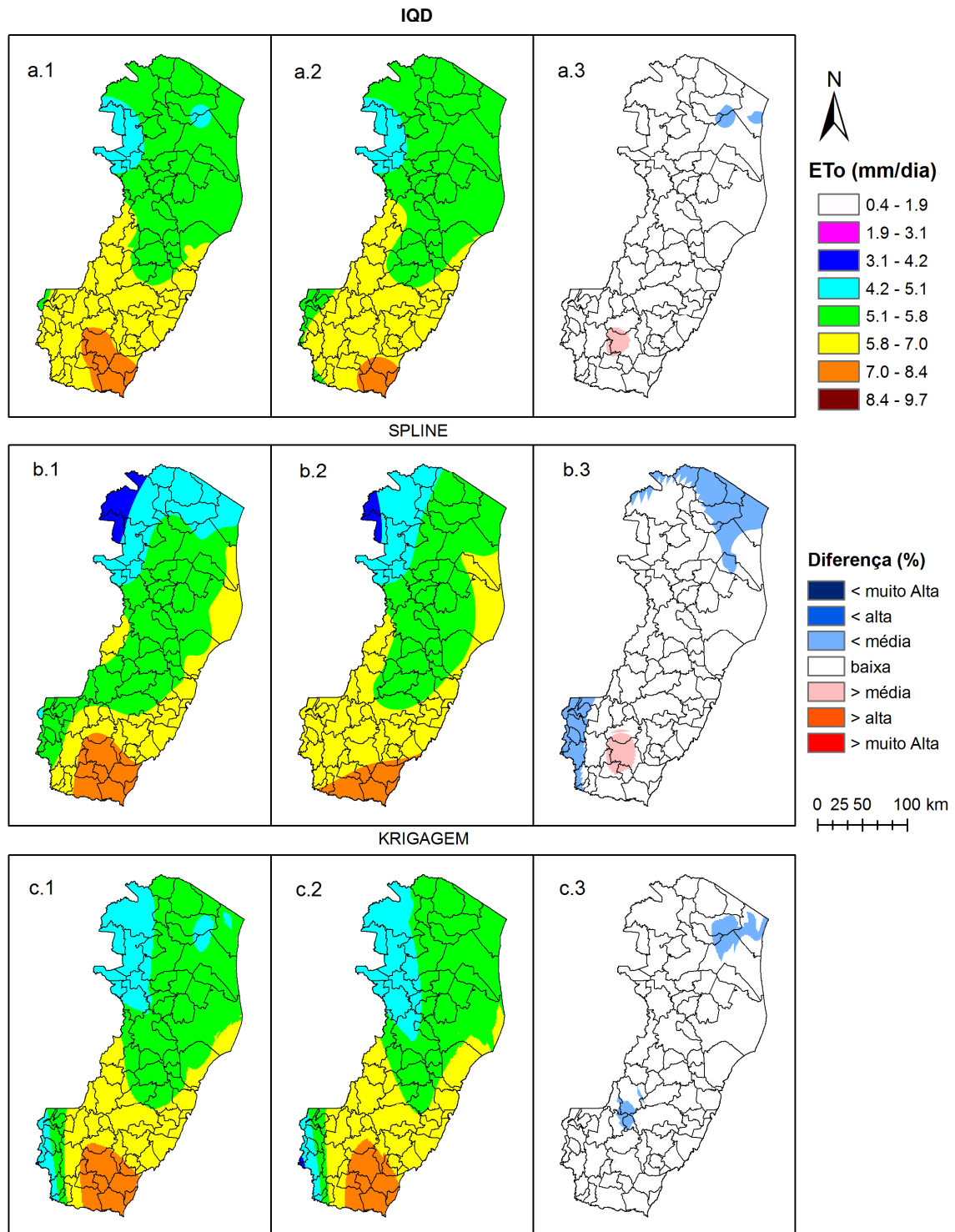
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 31. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 19/11/10.



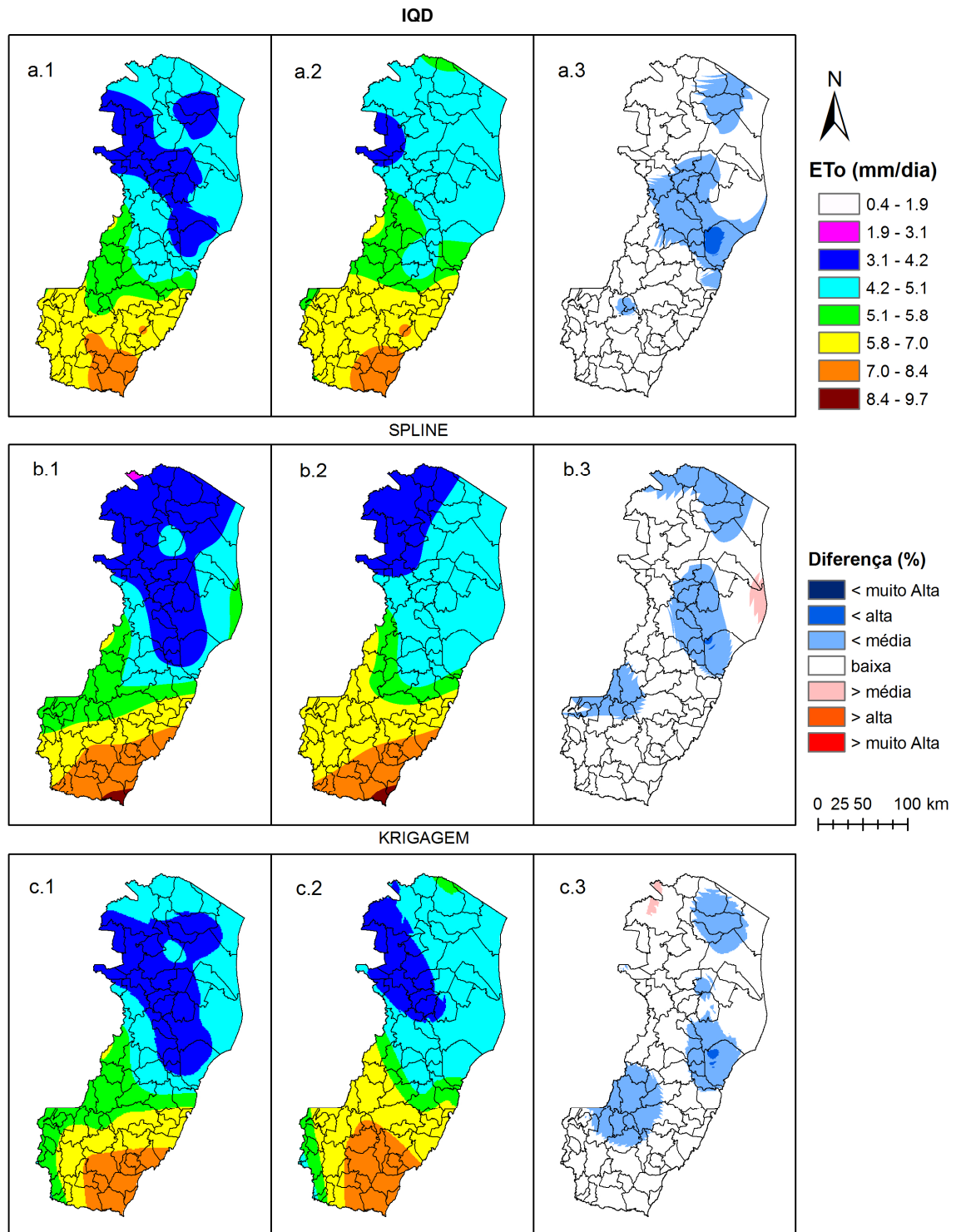
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 32. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 21/11/10.



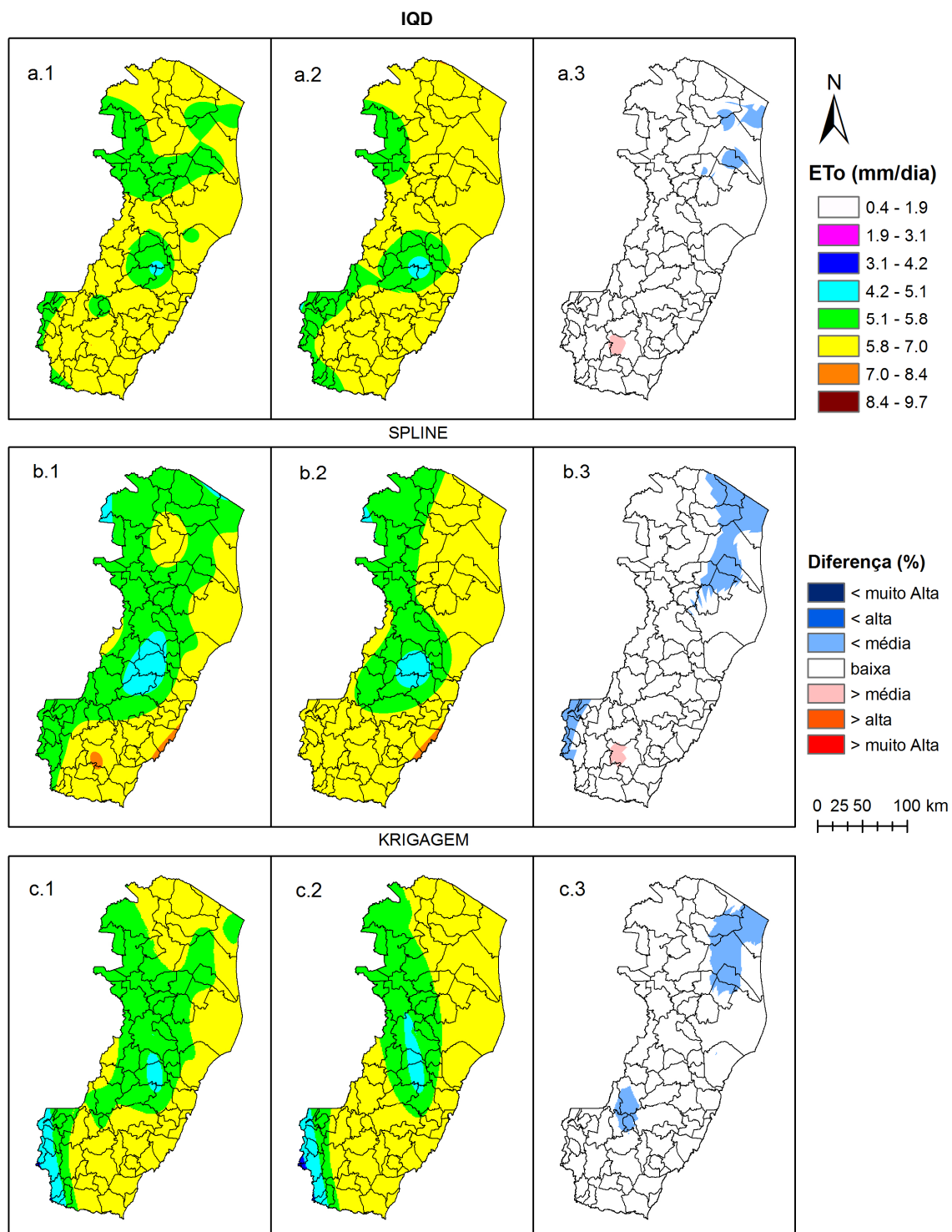
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 33. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 29/11/10.



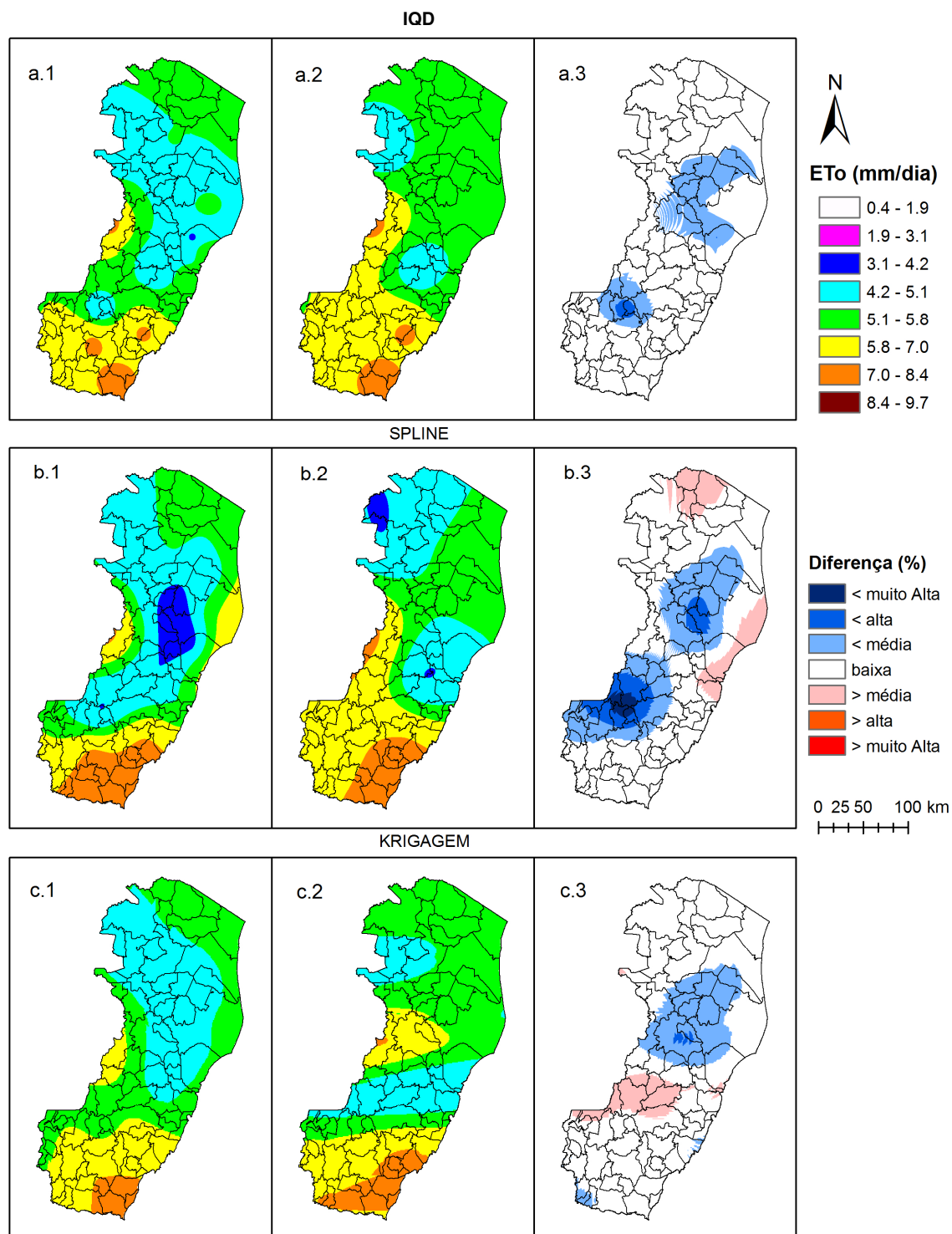
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 34. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fribia e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 30/11/10.



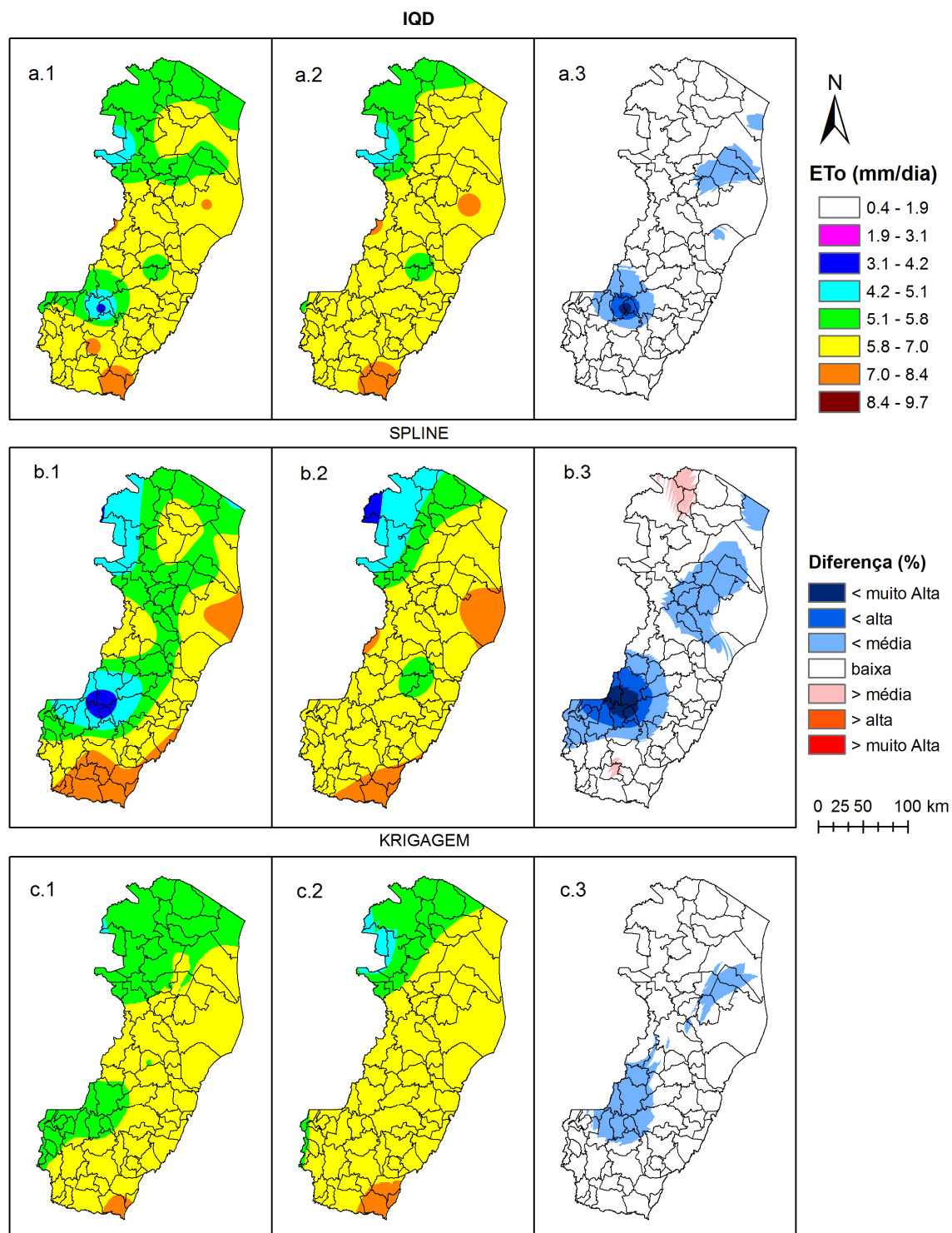
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 35. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 05/12/10.



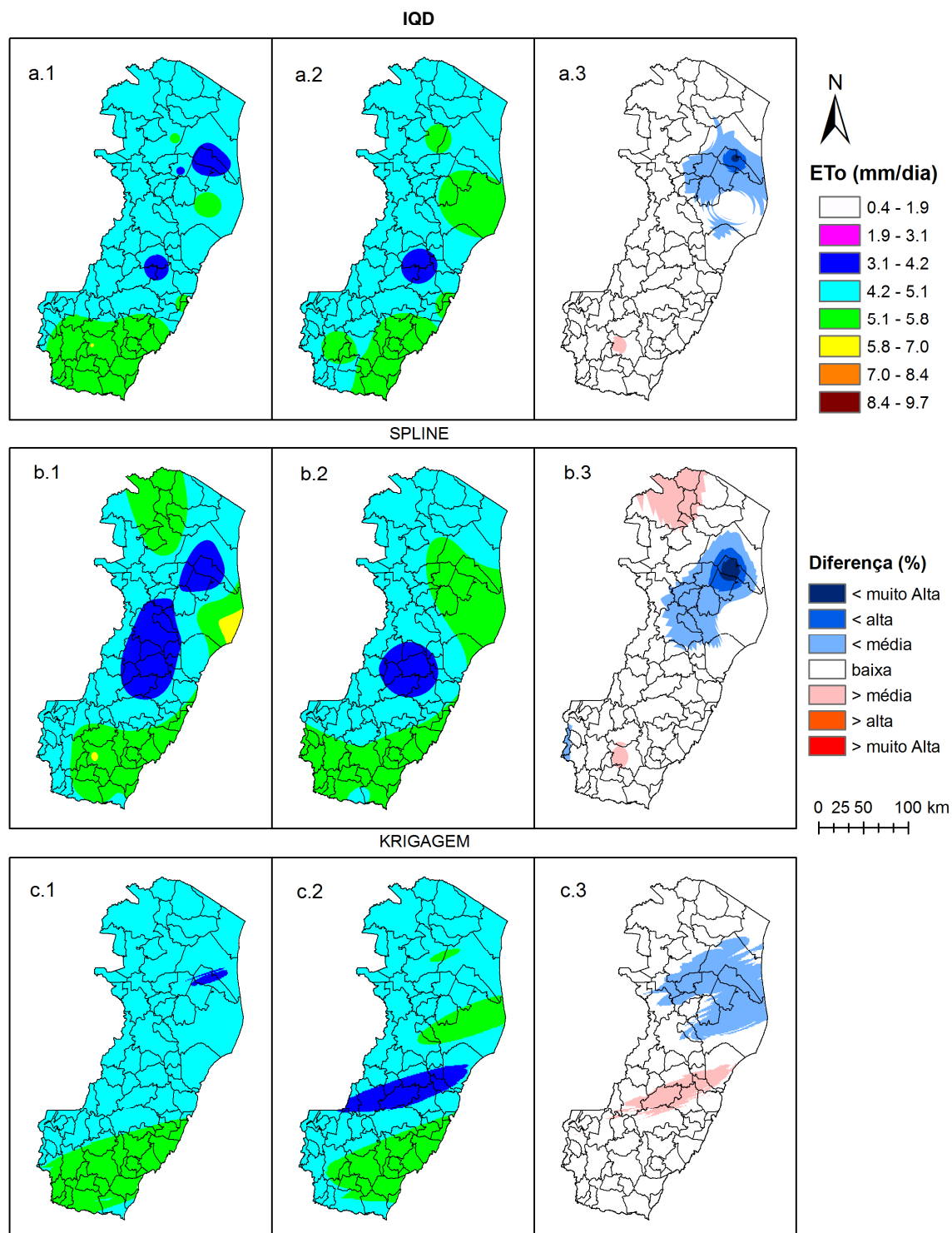
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 36. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 16/02/11.



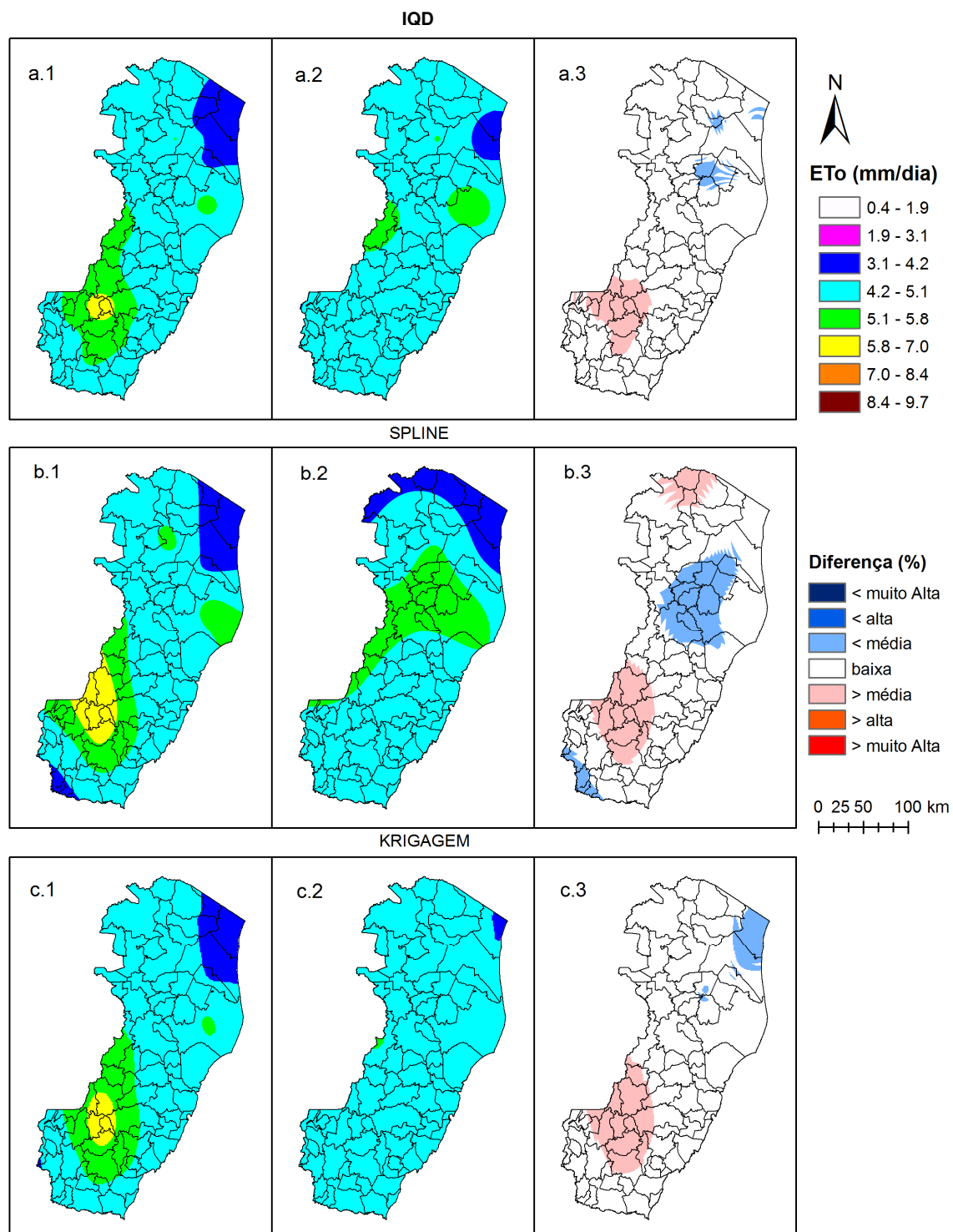
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 37. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 22/02/11.



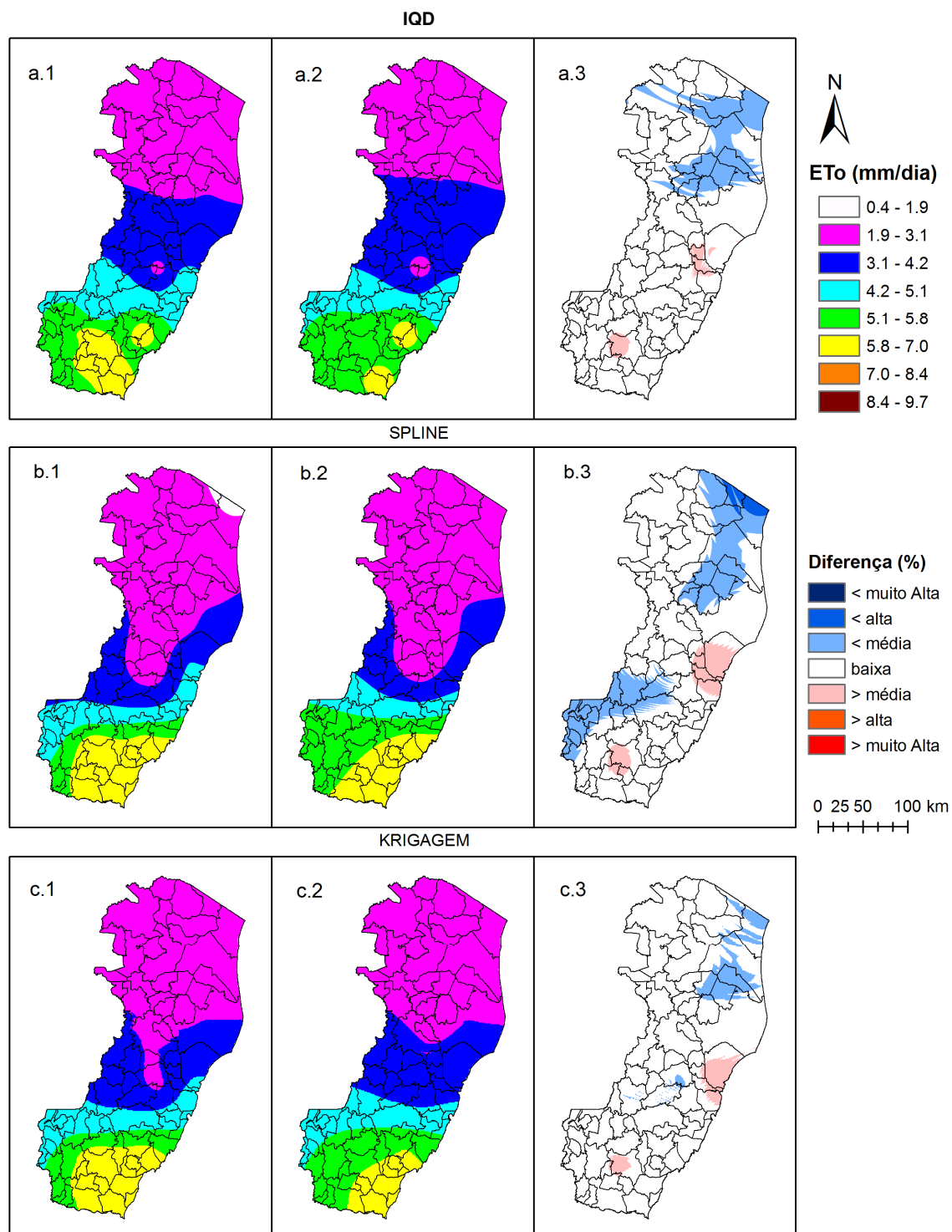
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 38. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 27/03/11.



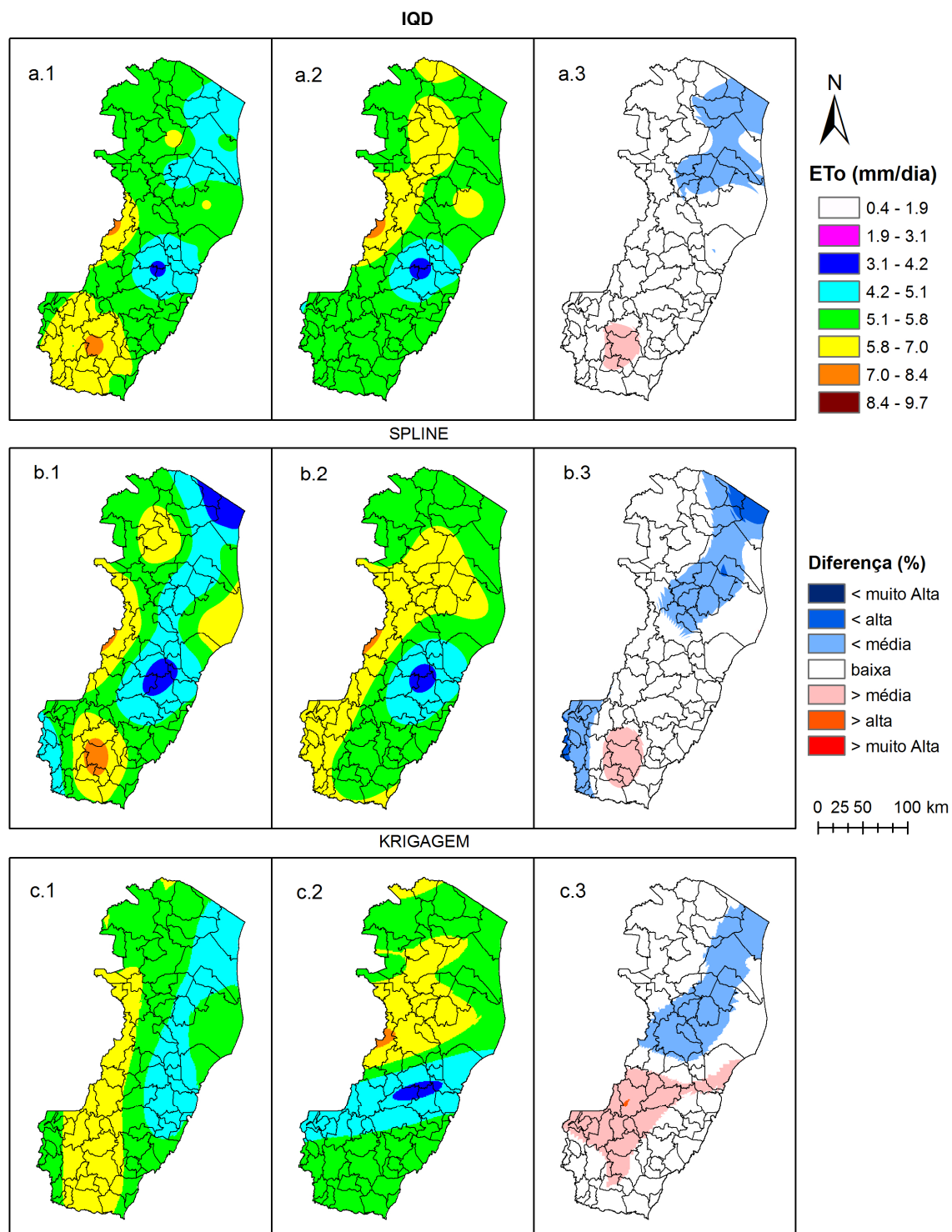
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 39. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 29/03/11.



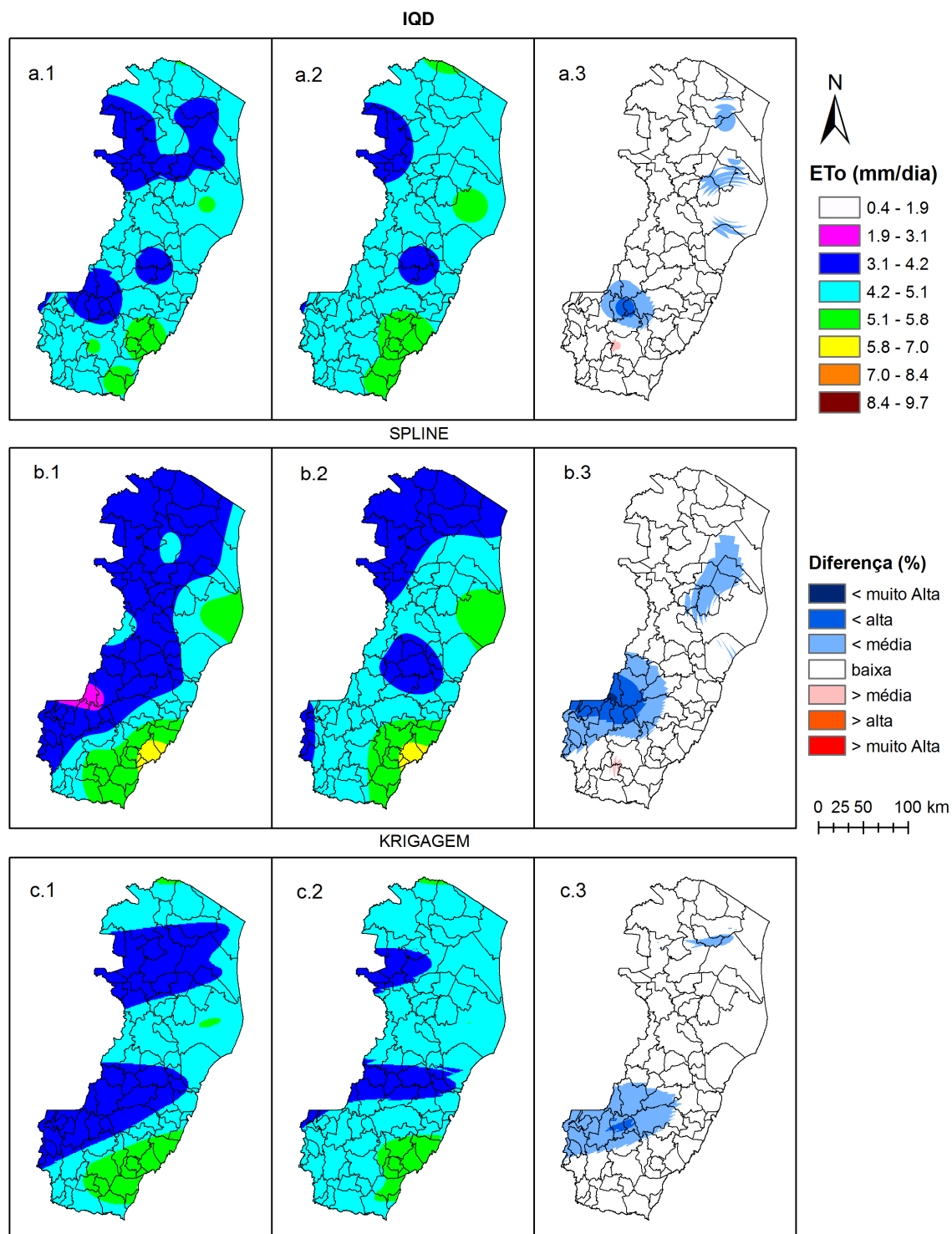
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 40. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 09/11/11.



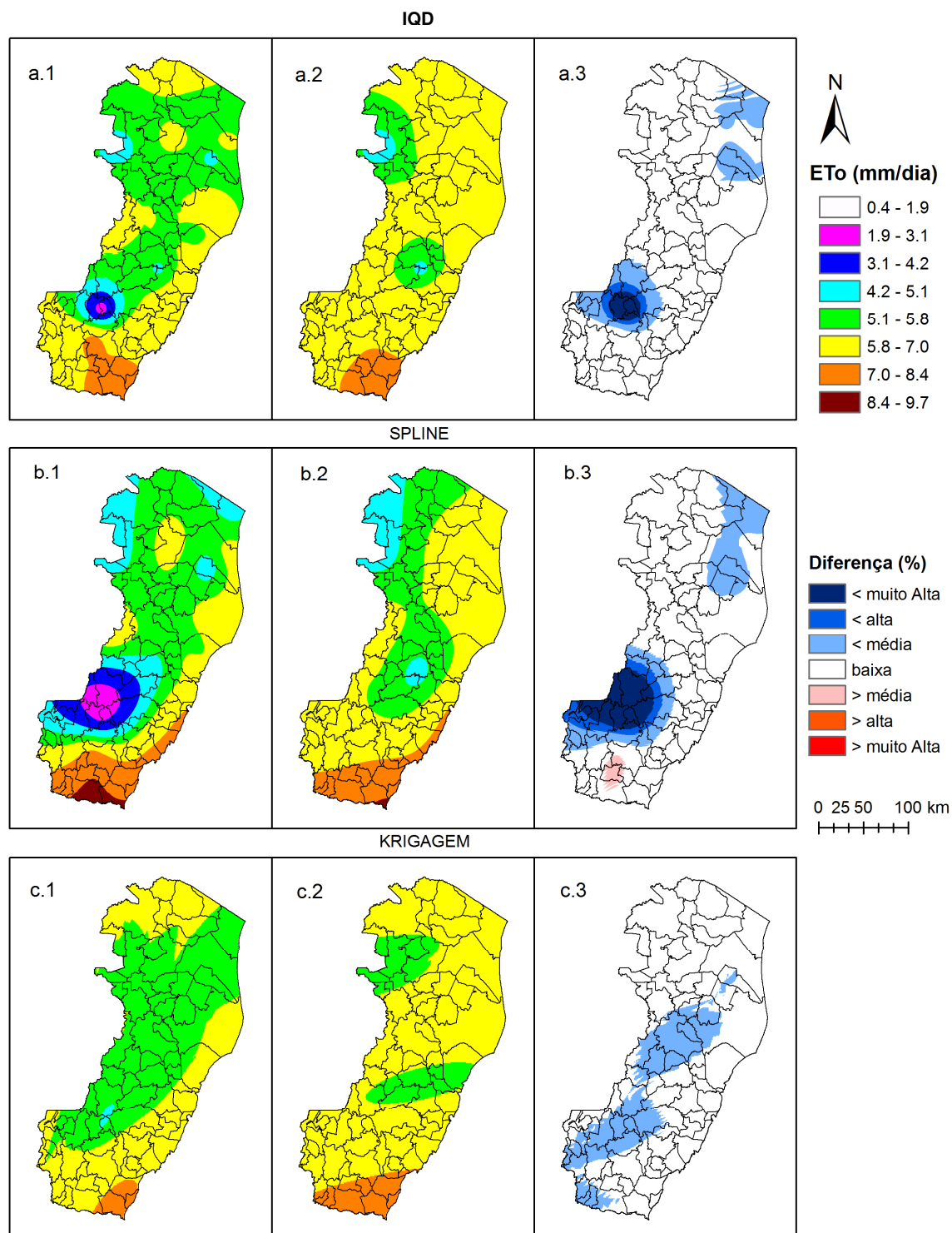
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 41. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 12/11/11.



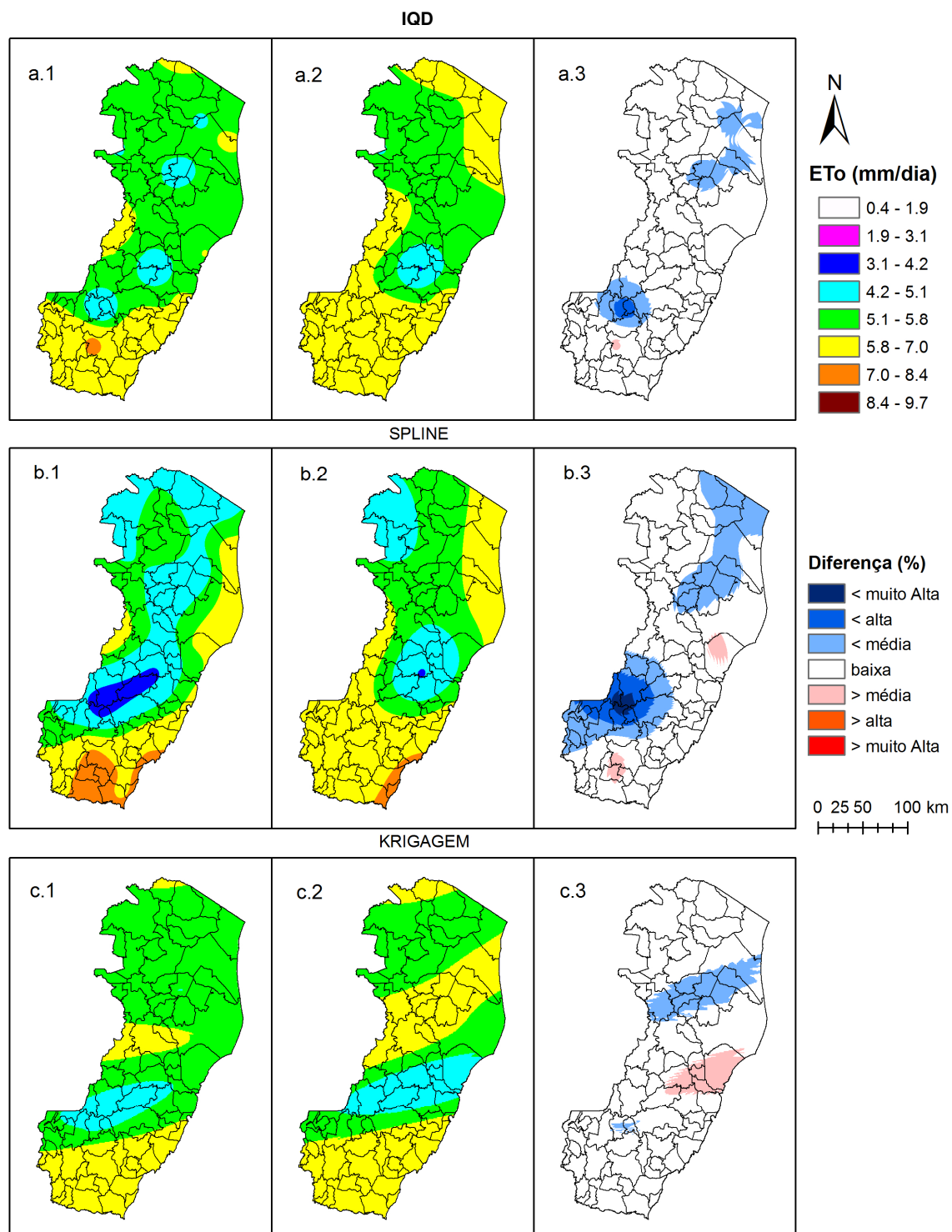
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 42. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 14/12/11.



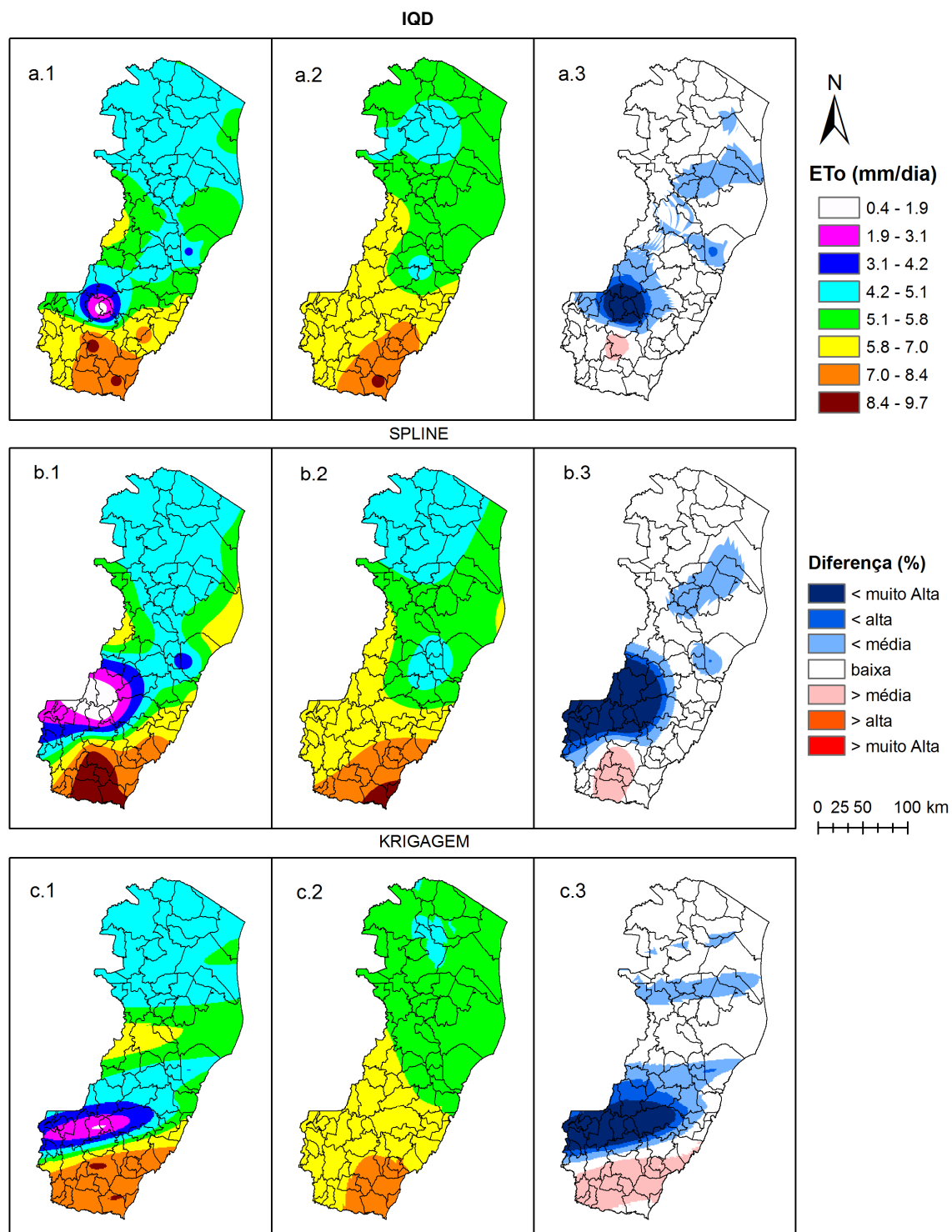
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 43. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 15/01/12.



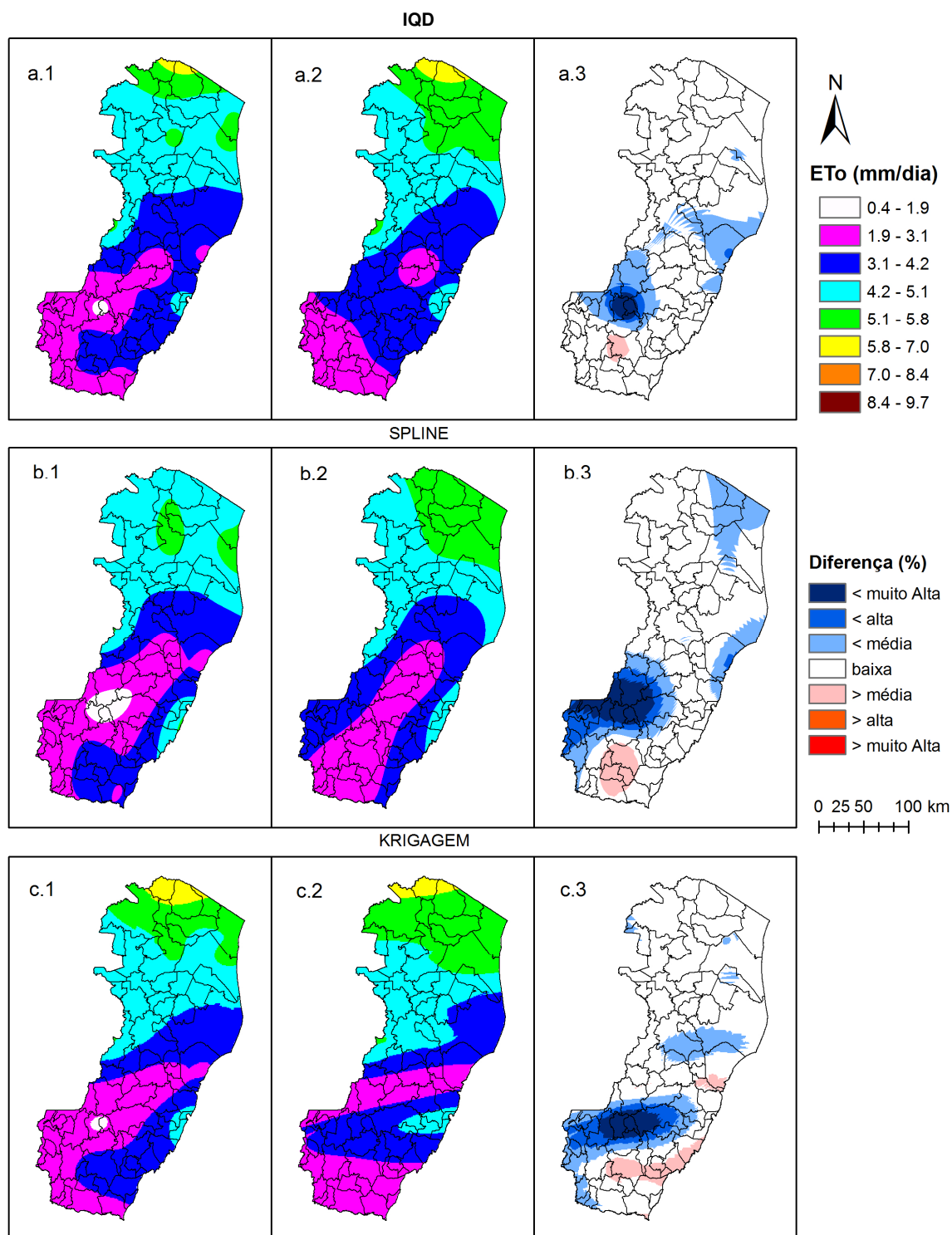
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 44. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 18/01/12.



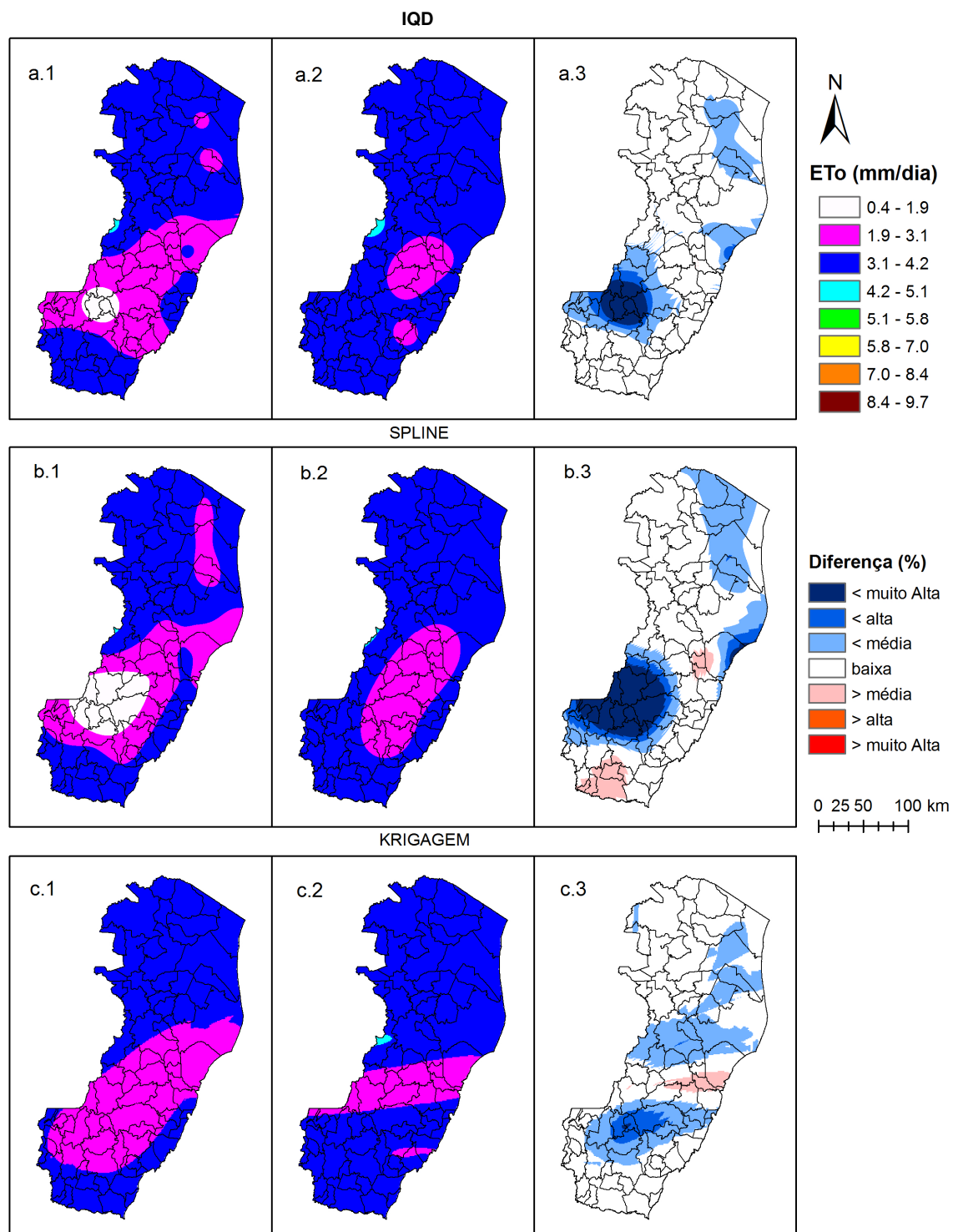
Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 45. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 26/02/12.



Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 46. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fribia e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 25/03/12.



Diferença (%): “< muito alta” (> -50%); “< alta” (-50% a -30%); “< média” (-30% a -10%); “baixa” (0% a $\pm 10\%$); “> média” (10% a 30%); “> alta” (30% a 50%); e “> muito alta” (> 50%).

FIGURA 47. Espacialização da ETo (mm dia^{-1}) pelos métodos de interpolação IQD (a), Spline (b) e Krigagem (c), considerando as estações do INMET, Fibria e CPTEC/INPE (1), somente as estações do INMET (2), e a diferença percentual entre as interpolações (3) em função das diferentes amostragens para o dia 01/04/12.