

*/



Ministério da Ciência e Tecnologia
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

TRABALHO FINAL DE ANÁLISE ESPACIAL

**Influência dos Fenômenos “El Niño” e “La Niña” no
rendimento da cultura da Soja no RS**

Rodrigo Rizzi
Fabrício Lopes
Francisco Maldonado

INPE
São José dos Campos
Setembro de 2001

SUMARIO

INDICE DE FIGURAS	3
RESUMO.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
1.1. Fundamentação Teórica	6
1.1.1. Os Impactos Climáticos do “El Niño” no Brasil.....	6
1.1.2. Os Impactos Climáticos do “La Niña” no Brasil.....	7
1.1.3. Krigagem Ordinária (KO):	8
1.1.4. Análise por Componentes Principais:.....	10
2. DESCRIÇÃO DA ÁREA	12
3. MATERIAIS E MÉTODO.....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5.1. Geração das amostras para os dados de rendimento:.....	17
5.2. Espacialização dos dados:.....	17
5.2.1. Média ponderada:.....	17
5.2.2. Método geoestatístico – Krigagem ordinária:.....	19
6. CONCLUSÕES	28
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ANEXOS	30

INDICE DE FIGURAS

Fig.1. - Impacto do fenômeno “El Niño” no mundo.....	7
Fig.2. - Impacto do fenômeno “La Niña” no mundo.....	8
Fig. 3 – Rotação da Transformação por Componentes Principais.....	10
Fig. 4 - Localização da área de estudo, correspondente ao Estado do Rio Grande do Sul.....	12
Fig. 4.1 – Mapeamento GEO OMT das classes utilizadas.....	13
Fig. 5 – Distribuição espacial das Estações pluviométricas de Rio Grande do Sul.....	14
Fig. 6 – Distribuição espacial dos Rendimentos por município, a) Anos do evento “El Niño”; b) Anos do evento “La Niña” e c) Anos sem evento.....	15
Fig. 7 – Fluxograma das técnicas utilizadas.....	16
Fig. 8 – Distribuição espacial dos pontos amostrais de rendimento.....	17
Fig. 9 – Distribuição espacial da precipitações em anos sem evento eventos climáticos especializadas pela técnica da média ponderada.....	18
Fig. 10 – Distribuição espacial da precipitações em anos de evento “El Niño” eventos climáticos especializadas pela técnica da média ponderada.....	18
Fig. 11 - Distribuição espacial das medias da Precipitações em anos do evento “La Niña” media ponderada.....	19
Fig. 12 - Ajuste do Semivariograma para os dados de Precipitação.....	20
Fig. 13 - Ajuste do Semivariograma para os dados de rendimento.....	20
Fig. 14 - Os planos de informação resultantes das Técnicas de krigeagem.....	21
Fig. 15 - Precipitação - “El Niño” / Normais.....	22
Fig. 16 - Precipitação - “La Niña” / Normais.....	22
Fig. 17 - Rendimentos - “El Niño” / Normais.....	23
Fig. 18 - Rendimentos - “La Niña” / Normais.....	24
Fig. 19 – Calculo da 2ª Componente da Rotação de Eixos - “El Niño” e “La Niña”.....	25
Fig. 20 – Distribuição espacial dos efeitos do evento “La Niña” em verdes as relações mais positivas e am tons de marrom as relações mais negativas.....	26
Fig. 21 - Distribuição espacial dos efeitos do “El Niño”.....	27

RESUMO

Este ensaio propõe testar a relação existente entre dados pluviométricos de anos com eventos climáticos “El Niño” e “La Niña” e o rendimento de Soja no Estado de Rio Grande do Sul. Foram utilizados dados diários de precipitação provenientes de estações meteorológicas localizadas no Estado do Rio Grande do Sul referentes ao ciclo da cultura. Utilizou-se também dados anuais de rendimento municipais para a cultura da soja. Tais dados foram espacializados com o auxílio de interpoladores geoestatísticos, as informações espacializadas de rendimento e precipitação foram cruzadas com o auxílio da técnica de rotação de eixos, promovendo assim a análise da influência de tais fatores no rendimento da cultura. A interpretação dos dados finais permite dizer que existe influência positiva do fenômeno “El Niño” e uma influência negativa do fenômeno “La Niña” no rendimento da cultura, e estas influências podem ser melhor visualizadas na região norte do Estado. As regiões mais prejudicadas pelo evento “La Niña” são também as favorecidas pelo evento “El Niño” em relação ao rendimento da cultura da Soja.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho propõe analisar a influência dos fenômenos “El Niño” e “La Niña” no rendimento da cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. Para tal serão utilizadas técnicas de espacialização para os dados de pluviometria e rendimento da cultura, utilizando os interpoladores geoestatísticos presentes no software SPRING. Serão utilizadas operações de álgebra com mapas para o cruzamento dos planos de informação.

A produtividade das diferentes culturas agrícolas é altamente dependente da oferta pluviométrica bem como da frequência e intensidade dos períodos secos durante a estação chuvosa denominados veranicos. A época de plantio das culturas agrícolas não está diretamente relacionada com vários fatores climáticos, dentre eles a pluviometria e o solo. E a baixa produtividade apresentada pela maioria dos produtores é provocada principalmente devido ao plantio em épocas impróprias para a cultura, resultando na ocorrência das épocas críticas do desenvolvimento das mesmas coincidindo épocas de baixa precipitação pluvial.

A alteração no regime das precipitações pluviais é um dos fatores de grande importância para a caracterização de climas locais, tornando-se o elemento principal para o adequado crescimento e desenvolvimento dos cultivos agrícolas. A precipitação apresenta variações com o aumento dos eventos “El Niño” e “La Niña”.

A otimização das datas de plantio, pode ser realizada a partir da simulação dos termos de um balanço hídrico, cujos resultados quando georreferenciados, podem ser espacializados por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Assad et al., 1998). Entretanto, a diferença no rendimento final das culturas no decorrer dos anos é um fato cada vez mais frequente no Estado do RS. E a presença dos fenômenos climáticos “El Niño” e “La Niña” tem sido apontada como um dos principais fatores que interferem nas variações anuais de rendimento.

Uma análise que envolva a influência de tais eventos no rendimento final de um cultivo agrícola, exige a disponibilidade de dados pluviométricos homoganeamente distribuídos e com uma alta frequência em toda a área de estudo. Contudo, qualquer trabalho que envolva elementos climáticos esbarra na pouca disponibilidade de dados, devido à baixa densidade das estações meteorológicas instaladas no Brasil. Por este motivo podem ser utilizadas técnicas geoestatísticas de espacialização de dados climáticos de uma forma eficiente e segura, o que facilita e muito a obtenção de informações utilizadas na prática de tal análise.

Para os dados de rendimento final de culturas, também podem ser utilizadas técnicas geoestatísticas para a espacialização de valores fornecidos por cooperativas agrícolas e prefeituras, que representam a produtividade média dos municípios para cada cultura. Porém a confiabilidade dos dados resultantes depende muito da precisão dos dados fornecidos por tais entidades.

De acordo com Feigueiras & Camara, (1993) citado por Pereira et al. (1998), em um país de dimensão continental como o Brasil, existe uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais; diante desta problemática, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) apresentam um enorme potencial de utilização.

Um SIG é constituído por um conjunto de ferramentas para aquisição, armazenamento, recuperação transformação e saída de dados espacialmente distribuído. Estes dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos: (1) do posicionamento com relação a um sistema de coordenadas; (2) de seus atributos, e (3) das relações topológicas existentes (Burrough e McDonnel, 1998).

Tais sistemas são uma fundamental ferramenta capaz de auxiliar na elaboração de um análise dos rendimentos rápido e eficiente, pois possuem a particularidade de promover uma rápida integração entre os diferentes fatores estudados.

Nos SIG's é comum a representação de diferentes variáveis através de mapas coloridos ou cloropléticos, com áreas ou polígonos, onde para cada polígono existe um valor do atributo associado. o uso dos SIG's não se limita as operações de visualização, fazendo análises intuitivas, pelo contrário é possível estabelecer a existência de um padrão espacial nos valores observados. O inconveniente neste tipo de mapas é que a variação do atributo no espaço não é representada por uma superfície contínua, mas apresenta variações abruptas de valores. Para mitigar este problema é necessário utilizar indicadores que permitam estabelecer a continuidade espacial entres as diferentes áreas e que possam medir a correlação espacial entre as ocorrências.

1.1. Fundamentação Teórica

1.1.1. Os Impactos Climáticos do “El Niño” no Brasil

O fenômeno “El Niño” é uma ruptura do sistema oceano-atmosfera no Pacífico Tropical tendo importantes conseqüências para o tempo em todo o globo terrestre. Entre essas conseqüências estão o aumento da precipitação no sul da América do Sul, atingido proporções catastróficas como em 1983, e secas no mesmo período nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil.

O aumento dos fluxos de calor sensível e de vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera, sobre as águas quentes, provoca mudanças na circulação atmosférica e na precipitação em escala regional e global, que, por sua vez, provocam mudanças nas condições meteorológicas e climáticas em várias partes do mundo.

A Figura 1 mostra distribuição global dos efeitos conhecidos do “El Niño” nos meses de verão do Hemisfério Sul.

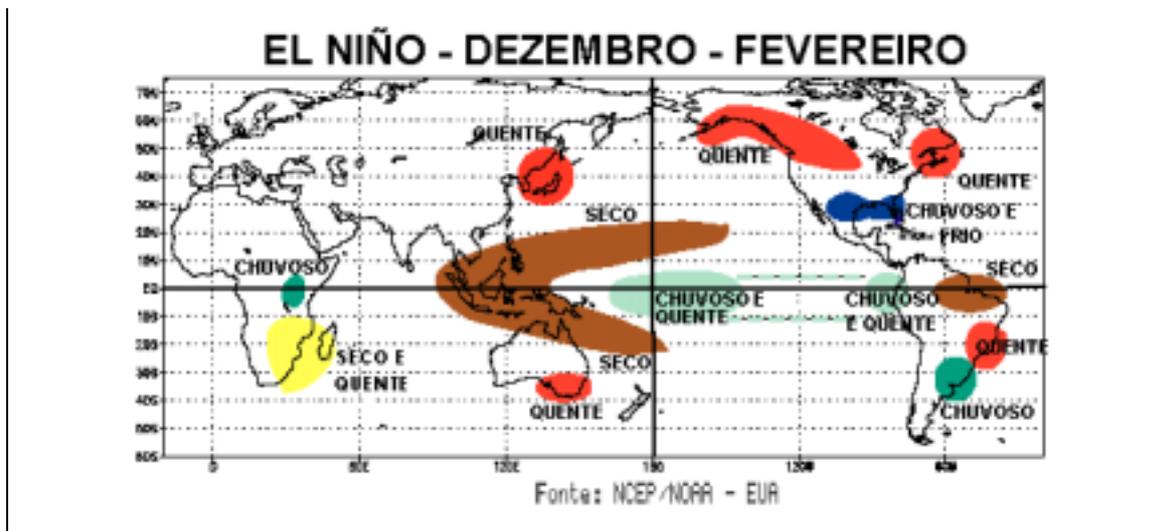


Fig.1. - Impacto do fenômeno “El Niño” no mundo.

1.1.2. Os Impactos Climáticos do “La Niña” no Brasil

O fenômeno “La Niña”, ou episódio frio do Oceano Pacífico, é o resfriamento anômalo das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental. De modo geral, pode-se dizer que “La Niña” é o oposto do “El Niño”, pois as temperaturas habituais da água do mar à superfície nesta região, situam-se em torno de 25°C, ao passo que, durante o episódio “La Niña”, tais temperaturas diminuem para cerca de 23° a 22° C. As águas mais frias estendem-se por uma estreita faixa, com largura de cerca de 10 graus de latitude ao longo do equador, desde a costa Peruana, até aproximadamente 180 graus de longitude no Pacífico Central.

Assim como o “El Niño”, “La Niña” também pode variar em intensidade. Um exemplo dessa variação é o intenso episódio de “La Niña” ocorrido em 1988/89, comparado ao episódio mais fraco de 1995/96.

LA NIÑA DEZEMBRO - FEVEREIRO

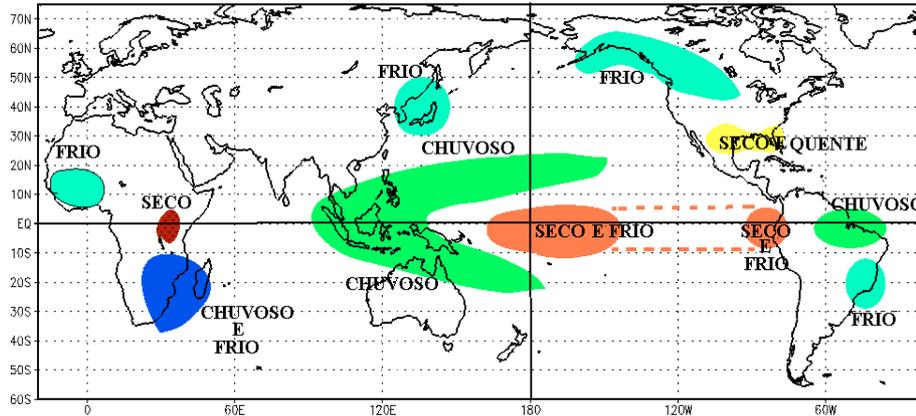


Fig.2. - Impacto do fenômeno “La Niña” no mundo.

1.1.3. Krigagem Ordinária (KO):

A krigagem é um procedimento de inferência espacial estocástico que apresenta uma etapa de análise variográfica anterior aos procedimentos inferenciais onde a estrutura de covariância espacial é modelada (Fuks, 1998). De acordo com Felgueiras (2000), um estimador de krigagem ordinária, utiliza médias locais ou tendências locais estimadas a partir das amostras vizinhas, ao invés de uma única média estacionária, como o faz um algoritmo de krigagem simples. Os valores (z) são estimados em localizações espaciais não observadas (u), sem a necessidade de se conhecer a média estacionária, segundo uma combinação linear dos valores de um subconjunto amostral local. A condição para isso é a somatória dos ponderadores da krigagem ordinária $l_0(u)$ seja igual a 1.

A variância do erro de estimação, conhecida como variância de krigagem também pode ser traçada para informar sobre a confiança dos valores interpolados sobre a área de interesse (Burrough, 1998). Entretanto baseia-se apenas na localização geométrica do atributo não considerando a variabilidade do atributo. Isso implica em que o resultado fornecido é apenas uma comparação entre diferentes configurações geométricas, conforme já observado por Deutsch e Journel (1998), citados por Felgueiras (2000). Analogamente à krigagem simples, o valor desconhecido de $Z(\mathbf{x}_0)$ pode ser estimado por uma combinação linear dos n valores observados adicionado a um parâmetro, l_0 (Journel, 1988):

$$Z_{\mathbf{x}_0}^* = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{x}_i) \quad . \quad (39)$$

Deseja-se um estimador não tendencioso, isto é,

$$E [Z_{\mathbf{x}_0} - Z_{\mathbf{x}_0}^*] = 0. \quad (40)$$

A relação acima impõe que as duas médias sejam iguais; assim aplicando-se a Equação 39 em 40, obtém-se:

$$E [Z_{\mathbf{x}_0}] = E \left[\lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(\mathbf{x}_i) \right] \Rightarrow m = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i m. \quad (41)$$

Diferente da krigagem simples, a krigagem ordinária não requer o prévio conhecimento da média m . Neste caso, para que a igualdade da Equação 41 seja satisfeita é necessário que:

$$\lambda_0 = 0 \quad \text{e} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1.$$

Portanto, o estimador de krigagem ordinária é:

$$Z_{\mathbf{x}_0}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{x}_i) \quad \text{com} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1. \quad (42)$$

Journal (1988) mostra que, minimizando a variância do erro ($\text{Var}[Z_{\mathbf{x}_0} - Z_{\mathbf{x}_0}^*]$) sob a condição

de que $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, os pesos λ_i são obtidos a partir do seguinte sistema de equações, denominado sistema de krigagem ordinária:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) - \alpha = C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_0) & \text{para } i=1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (43)$$

onde,

- $C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$ e $C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_0)$ são definidos como anteriormente; e
- α é o multiplicador de Lagrange necessário para a minimização da variância do erro.

A correspondente variância minimizada do erro, denominada variância de krigagem ordinária (σ_{k0}^2), é dada pela seguinte expressão (Journal, 1988):

$$\sigma_{k_0}^2 = \text{Var}[Z_{x_0} - Z_{x_0}^*] = C(\mathbf{0}) - \sum_{i=1}^n \lambda_i C(x_i, x_0) - \alpha \quad (44)$$

O sistema de krigeagem ordinária (43) pode ser escrito em notação matricial como:

$$\mathbf{K} \cdot \mathbf{l} = \mathbf{k} \quad \mathbf{P} \mathbf{l} = \mathbf{K}^{-1} \cdot \mathbf{k} \quad (45)$$

onde,

\mathbf{K} e \mathbf{k} são matrizes das covariâncias e \mathbf{l} o vetor dos pesos.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} & 1 \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{l} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \alpha \end{bmatrix} \text{ e } \mathbf{k} = \begin{bmatrix} C_{10} \\ C_{20} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

A variância de krigeagem ordinária é dada por (Journel, 1988):

$$\sigma_{k_0}^2 = C(\mathbf{0}) - \boldsymbol{\lambda}^T \cdot \mathbf{k} \quad (46)$$

1.1.4. Análise por Componentes Principais:

A geração de **componentes principais** é uma técnica de realce que reduz ou remove esta redundância espectral, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas. Esta transformação é derivada da matriz de covariância entre as bandas e gera um novo conjunto de imagens onde cada valor de "*pixel*" é uma combinação linear dos valores originais. O número de componentes principais é igual ao número de bandas espectrais utilizadas e são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância de nível de cinza. A primeira componente principal tem a maior variância (maior contraste) e a última, a menor variância.

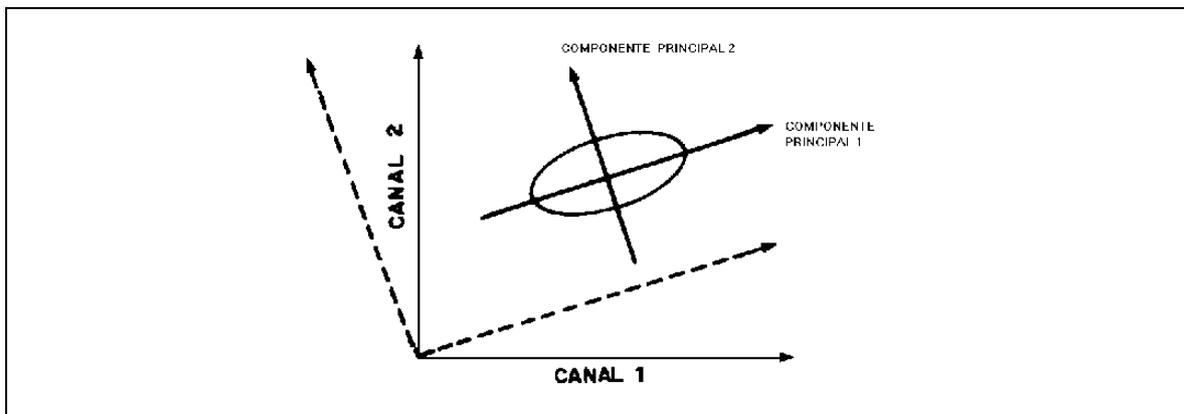


Fig. 3 – Rotação da Transformação por Componentes Principais

A figura mostra que a transformação de componente principal em duas dimensões corresponde à rotação do eixo original da coordenada para coincidir com as direções de **máxima** e **mínima** variância no dado.

Neste processo utiliza-se o coeficiente de correlação, ou da covariância, para se determinar um conjunto de quantidades chamadas de **autovalores**.

Os **autovalores** representam o comprimento dos eixos das componentes principais de uma imagem e são medidos em unidade de variância. Associados a cada autovalor, existe um vetor de módulo unitário chamado autovetor. Os autovetores representam as direções dos eixos das componentes principais. São fatores de ponderação que definem a contribuição de cada banda original para uma componente principal, numa combinação aditiva e linear.

Para facilitar a percepção dessas contribuições, deve-se transformar os autovetores em porcentagens. Sabendo-se o sinal de cada coeficiente do autovetor, pode-se comparar as porcentagens com as curvas espectrais de materiais conhecidos (por exemplo, vegetação, água, diferentes tipos de solo), determinando, assim, em qual(is) componente(s) principal(is) a informação espectral desejada irá ser concentrada.

Analogamente a Análise por componentes principais a rotação pode ser controlada para obter resultados segundo outras considerações diferentes das estatísticas, ou não paramétricas. A continuação apresenta-se as equações que utilizam a matriz de autovetores da ACP a que pode ser modificada para uma rotação de ângulo diferente **reemplazando** os autovetores por o seno e o co-seno:

$$P1 = B1 \times (+ 0.5271) + B2 \times (+ 0.8498)$$

$$P2 = B1 \times (+ 0.8498) + B2 \times (- 0.5271)$$

Desta forma, entende-se que para P1 a banda 2 (B2) está contribuindo com mais informação. Este mesmo raciocínio pode ser adotado para as "n" componentes principais.

A **primeira componente** principal contém a informação da maior variabilidade dos dados. Portanto esta componente principal possui a maior parte da variância total dos dados, concentrando a informação, antes diluída, em várias dimensões. A **segunda componente** apresenta a maior variabilidade perpendicular a primeira componente, geralmente a segunda maior variabilidade do set de dados.

Z. DESCRIÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está situada entre as coordenadas geográficas $26^{\circ} 59' 50.51''$ S, $49^{\circ} 30' 19.64''$ W e $33^{\circ} 47' 51.51''$ S, $57^{\circ} 41' 41.06''$ W Datum horizontal Córrego Alegre, cobrindo uma superfície de 28.018.200 hectares. Delimitada pela divisão política do Estado do Rio Grande do Sul. (Figura 2).

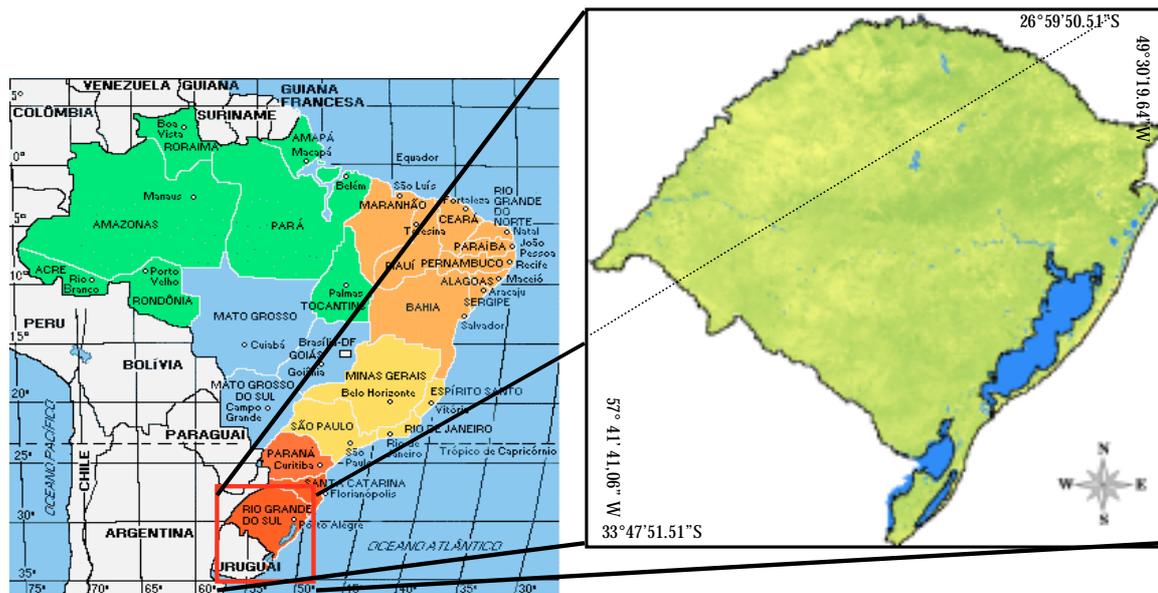


Fig. 4 - Localização da área de estudo, correspondente ao Estado do Rio Grande do Sul.

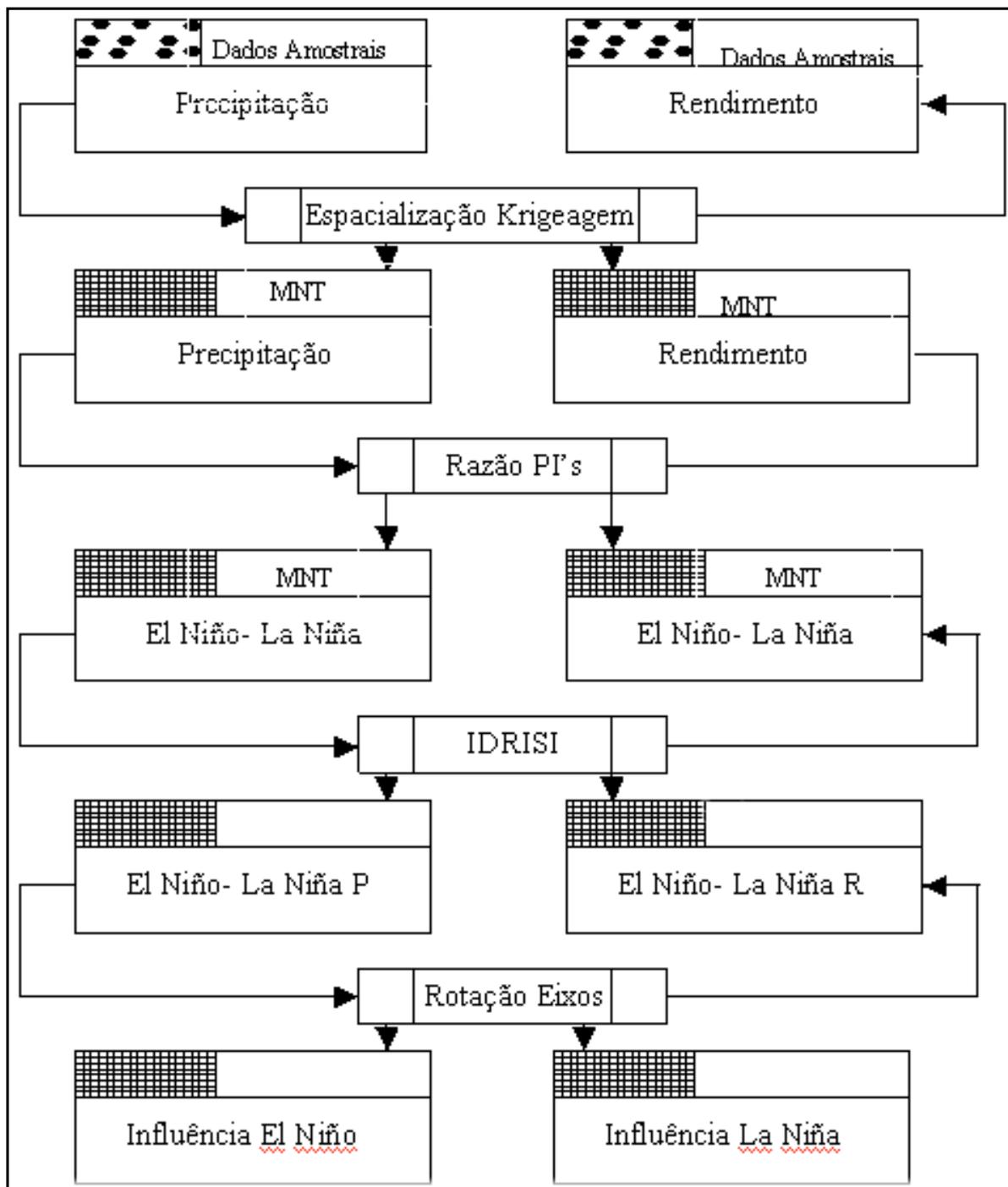


Fig. 4.1 – Fluxograma GEO OMT das classes utilizadas.

3. MATERIAIS E MÉTODO

Foram utilizados dados de pluviometria diários (mm) de 250 estações pluviométricas, de 1950 até 1997, e dados municipais de rendimento anual da cultura da Soja ($\text{kg} \times \text{ha}^{-1}$) de 1950 até 2000. Os dados utilizados foram fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER/RS). Na Figura 2 visualiza-se a distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas.

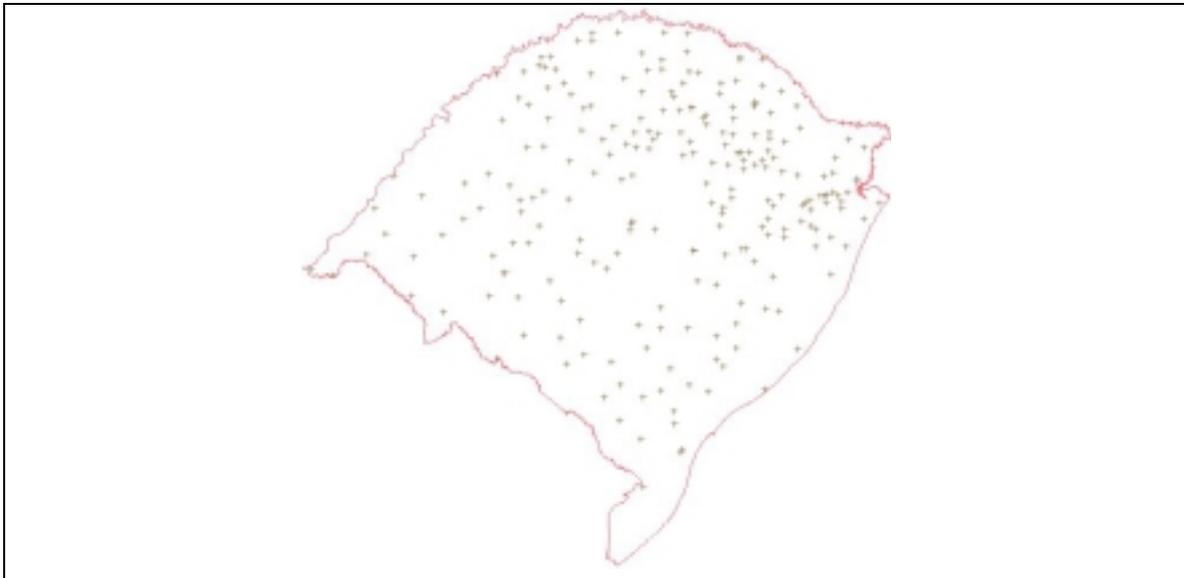


Fig. 5 – Distribuição espacial das Estações pluviométricas de Rio Grande do Sul.

Os dados de precipitação foram selecionados de acordo com a exigência do ciclo da cultura da soja, perfazendo a média dos anos da precipitação acumulada do período de novembro a dezembro do ano onde inicia o fenômeno, e de janeiro a março do ano subsequente. Foram feitas as médias destes valores para todos os anos de ocorrência dos fenômenos “El Niño”, “La Niña” e anos sem eventos, gerando um valor por estação, para cada evento e para anos sem evento. O mesmo procedimento foi adotado para os dados de rendimento, perfazendo um valor para cada município para cada evento e para anos sem evento. Na figura 3 visualizam-se os planos de informação referentes à média do rendimento da cultura da soja para cada município do Estado.

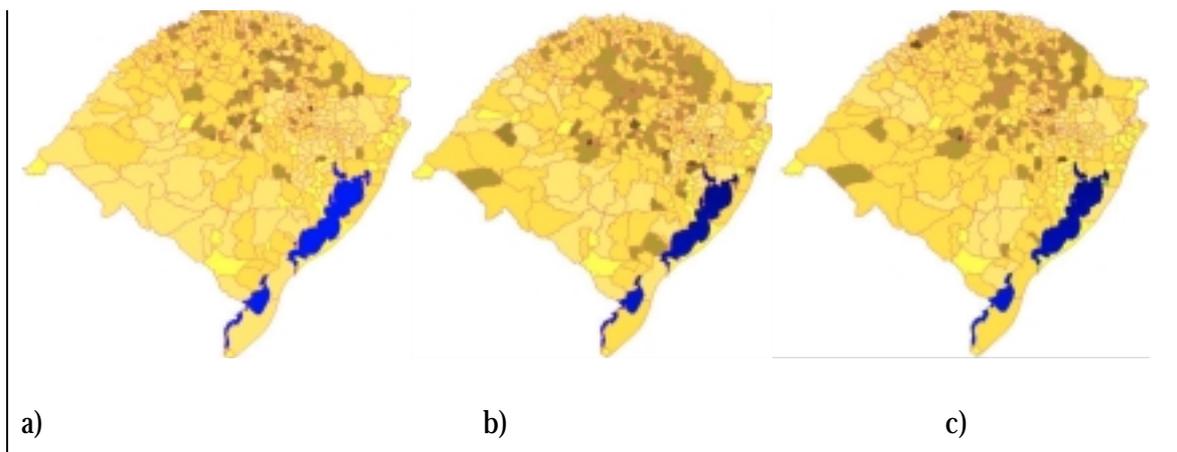


Fig. 6 – Distribuição espacial dos Rendimentos por município, a) Anos do evento “El Niño”;
b) Anos do evento “La Niña” e c) Anos sem evento.

De acordo com Borrough e McDonnell (1998), os tipos de técnicas analíticas que podem ser usadas em dados espaciais variam em função dos tipos de representações e serem utilizadas no modelo de dados. A seguir, visualiza-se o fluxograma geral das técnicas e cruzamentos utilizados no ensaio.

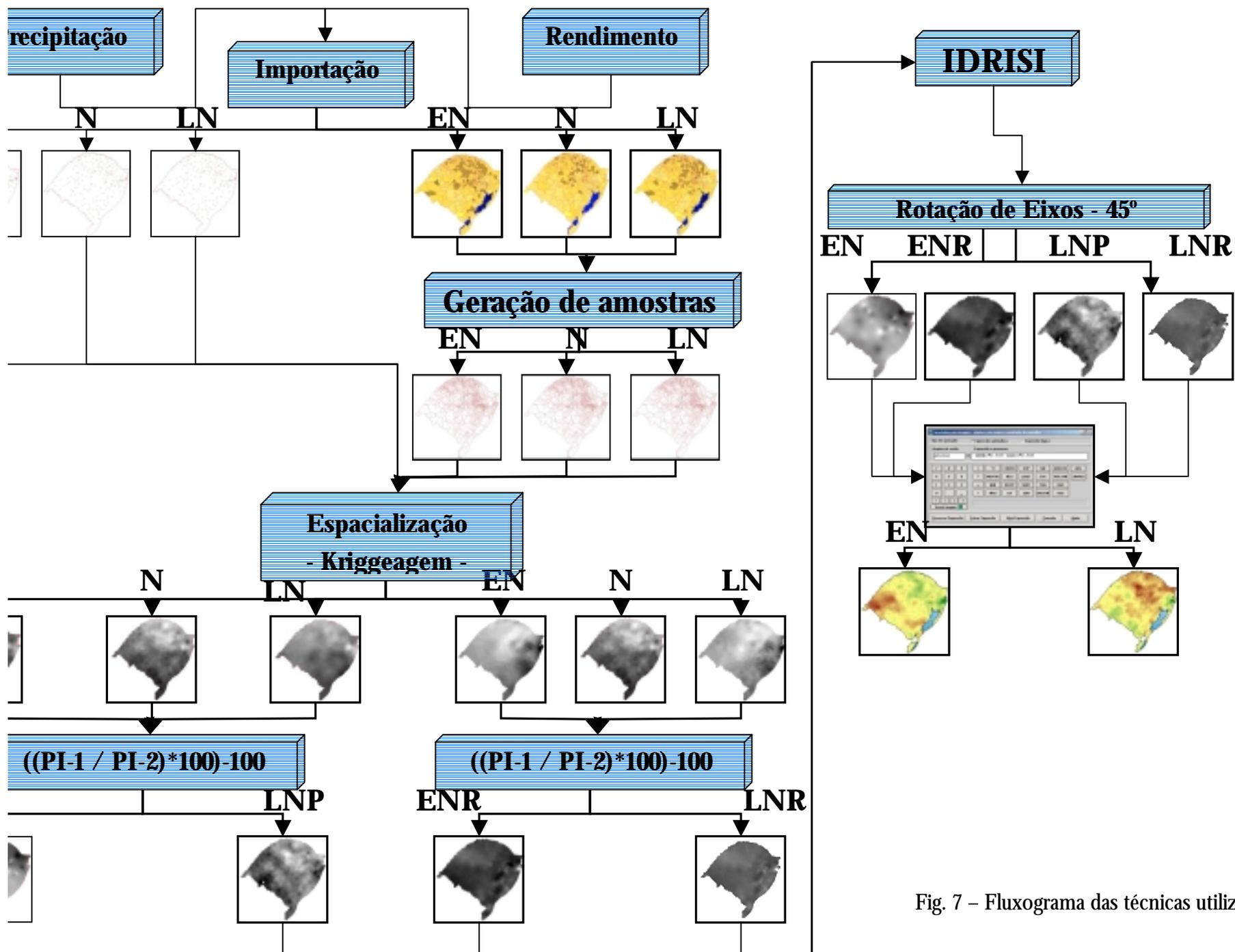


Fig. 7 – Fluxograma das técnicas utilizada

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Geração das amostras para os dados de rendimento:

Para a espacialização dos dados de rendimento fez-se necessária a transformação dos dados de rendimento localizados no banco de dados para a forma de pontos amostrais. Este procedimento foi feito adotando o centro de massa do município como a localização do ponto amostral. Na figura 8 visualiza-se um plano de informação referente à geração dos pontos amostrais.

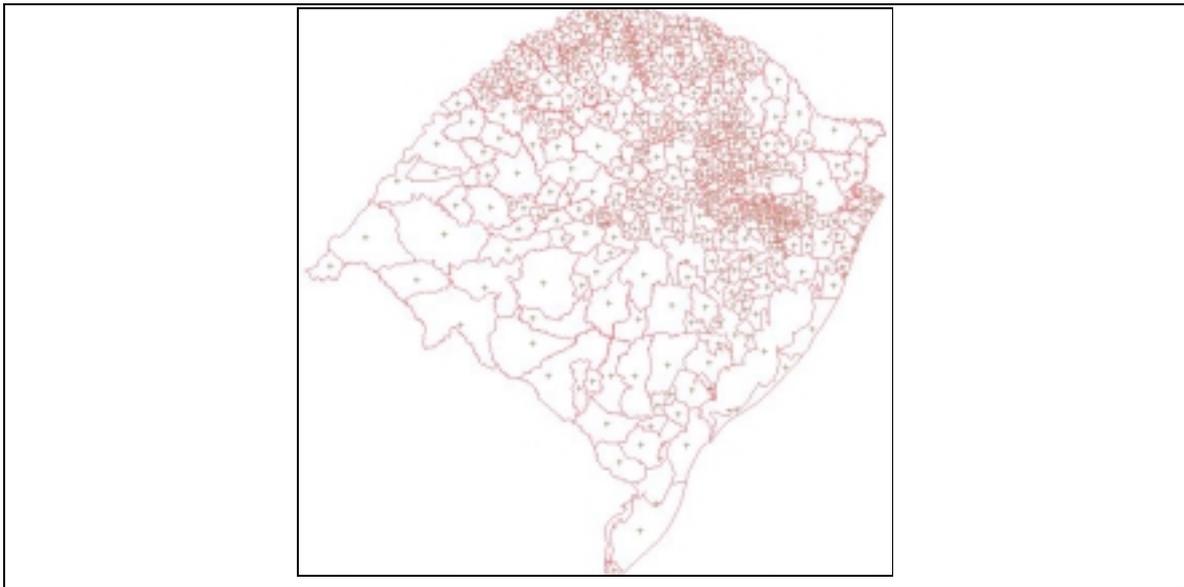


Fig. 8 – Distribuição espacial dos pontos amostrais de rendimento

5.2. Espacialização dos dados:

5.2.1. Média ponderada:

Foi realizada espacialização utilizando a técnica de média ponderada dos dados de pluviometria, por se tratar de uma técnica extremamente rápida, porém, os resultados não foram satisfatórios e a técnica não foi empregada para os dados de rendimento. Nas Figuras 9, 10 e 11 visualizam-se a espacialização destes dados. As áreas escuras representam os menores valores de Precipitação pluvial e as áreas mais claras representam os valores mais elevados.

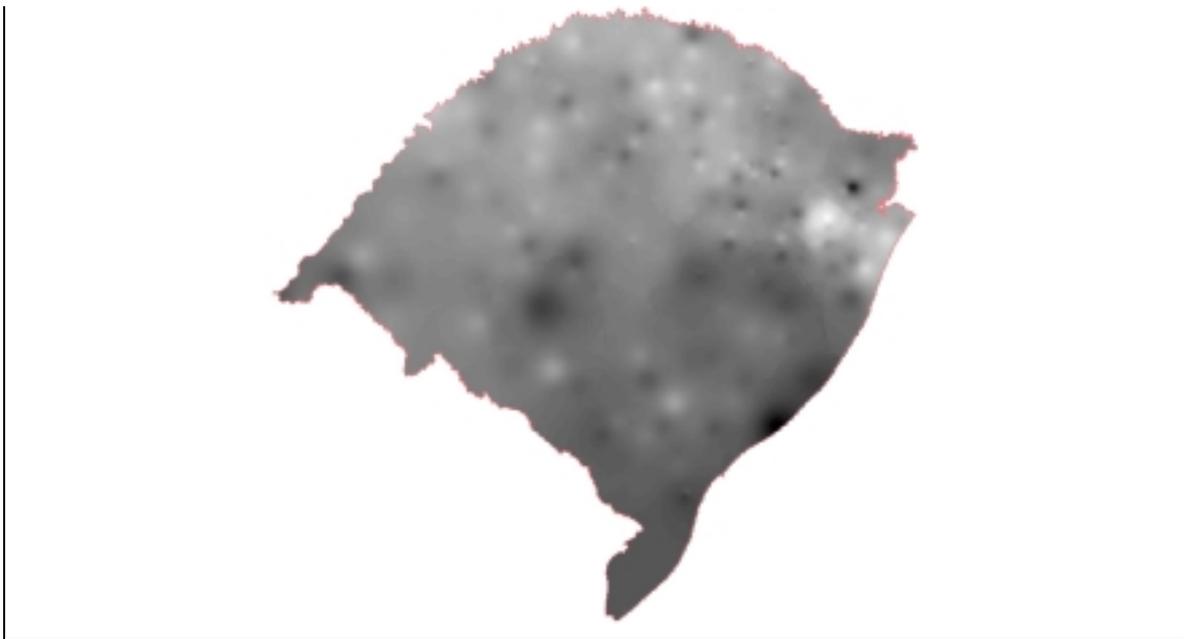


Fig. 9 – Distribuição espacial da precipitações em anos sem evento eventos climáticos espacializadas pela técnica da média ponderada.

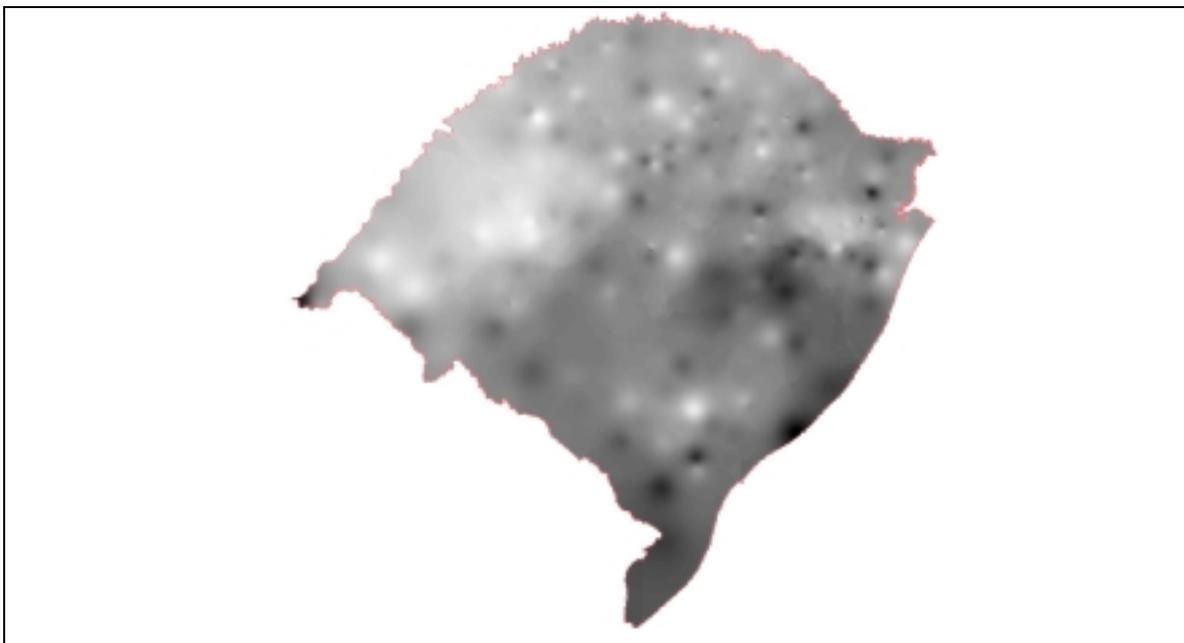


Fig. 10 – Distribuição espacial da precipitações em anos de evento “El Niño” eventos climáticos espacializadas pela técnica da média ponderada.

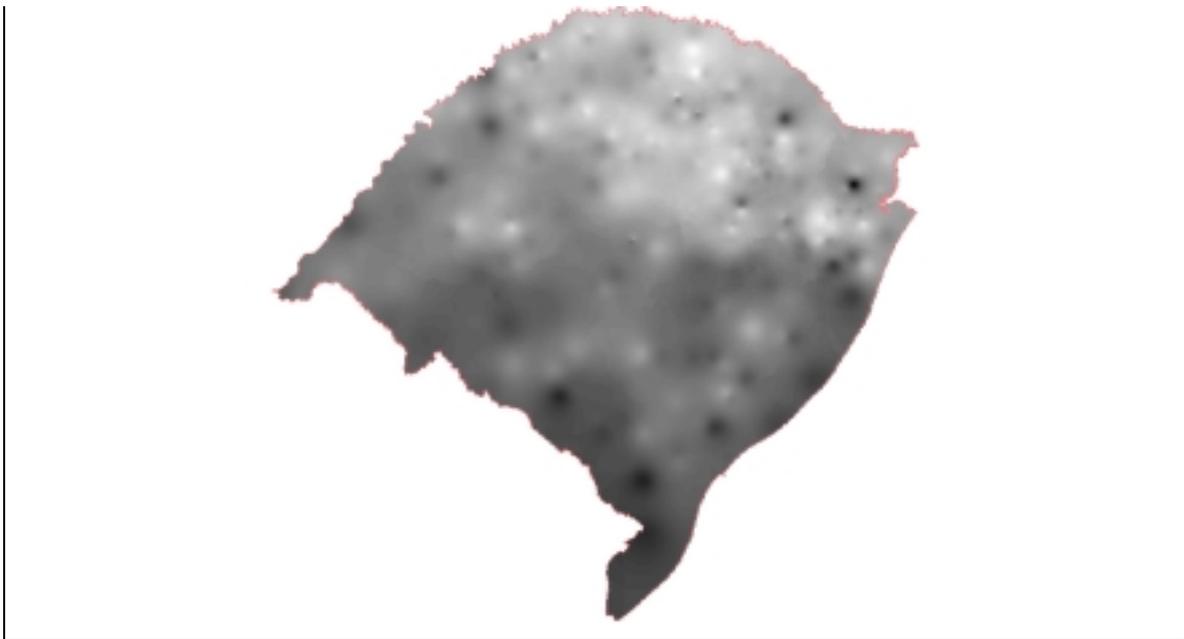


Fig. 11 - Distribuição espacial das medias da Precipitações em anos do evento “La Niña”
media ponderada.

5.2.2. Método geoestatístico – Krigagem ordinária:

Para a aplicação desta técnica primeiramente é necessário a adequação da correlação espacial dos dados a um modelo teórico existente no software, esta pratica denomina-se “ajuste do semivariograma”, os resultados são visualizados nas figuras X e XX e percebe-se que as curvas teóricas e ajustadas ao modelo praticamente se equivalem em todos os caso.

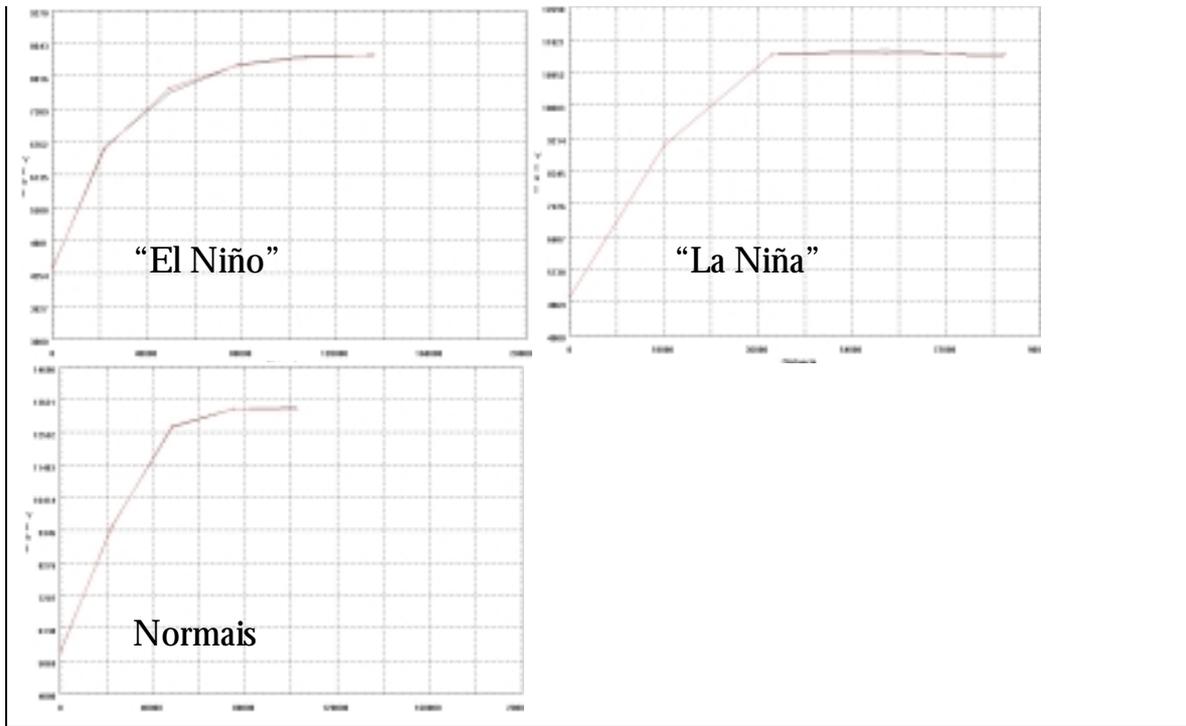


Fig. 12 - Ajuste do Semivariograma para os dados de Precipitação.

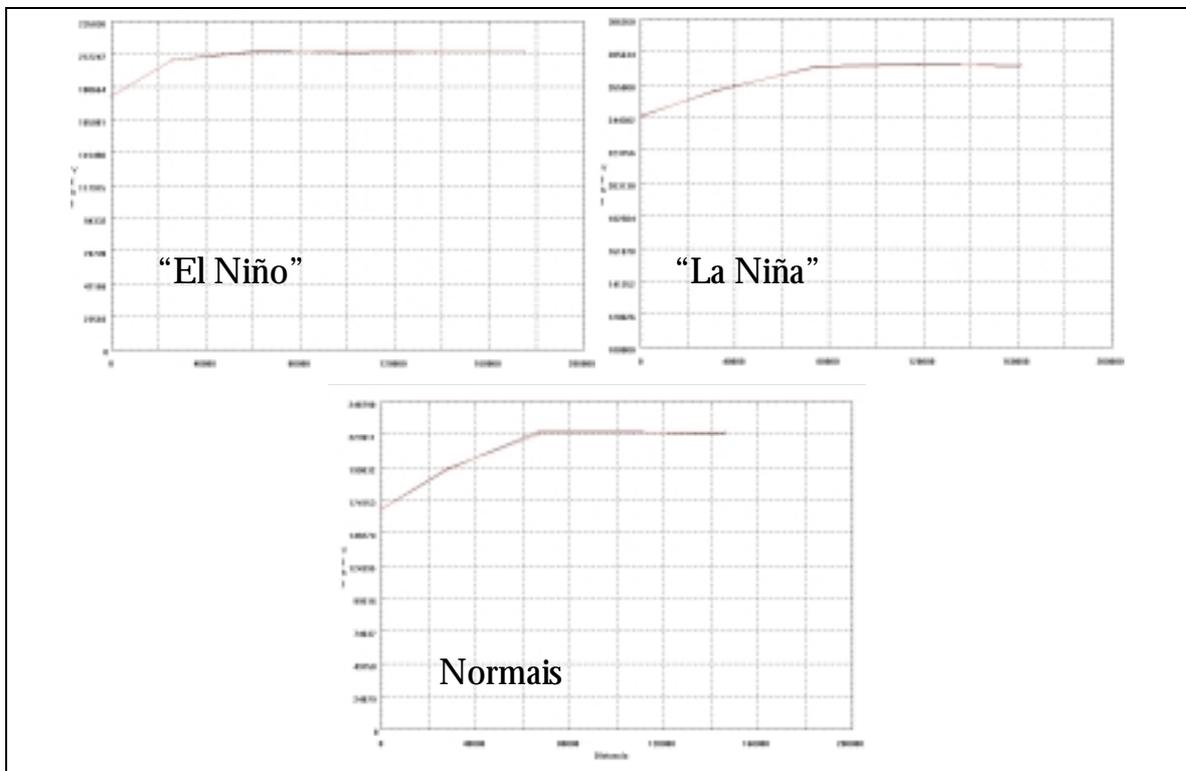


Fig. 13 - Ajuste do Semivariograma para os dados de rendimento.

Apos o ajuste dos semivariogramas, o software nos fornece parametros para a adequação dos dados ao modelo teórico, o programa é então alimentado com tais parâmetros e executa a espacialização dos dados, tais parâmetros podem ser visualizados nos anexos. Esta espacialização é denominada de técnica de krigagem, e os planos de informação resultantes podem ser visualizados na Figura 14.

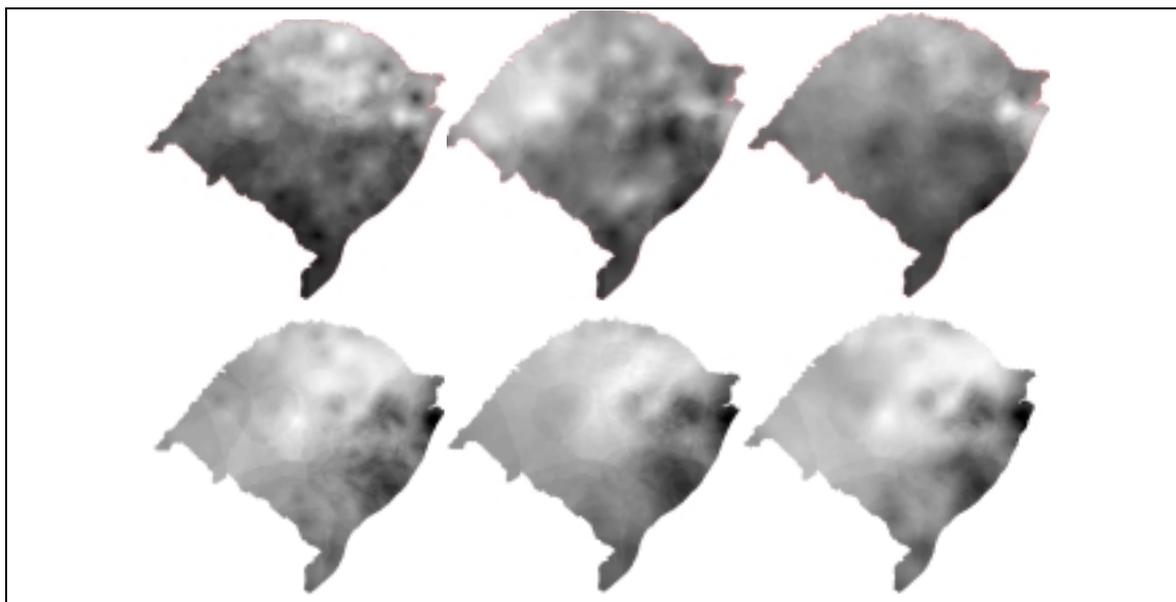


Fig. 14 - Os planos de informação resultantes das Técnicas de krigagem.

Após a espacialização dos dados de rendimento e precipitação, foi utilizada a técnica de álgebra com mapas em linguagem legal, para a determinação da porcentagem de alteração de precipitação e rendimento dos anos de ocorrência dos fenômenos “El Niño” e “La Niña” para os anos sem a ocorrência destes fenômenos. Para o cálculo desta operação, utilizou-se a seguinte fórmula: $((PI-1 / PI-2)*100)-100$ onde, PI-1 representa os PI's de “El Niño” e “La Niña” para rendimento e precipitação, e PI-2 representa os PI's de anos normais. Os programas em LEGAL estão descritos nos anexos, e os planos resultantes são visualizados nas figuras 14, 15, 16 e 17.

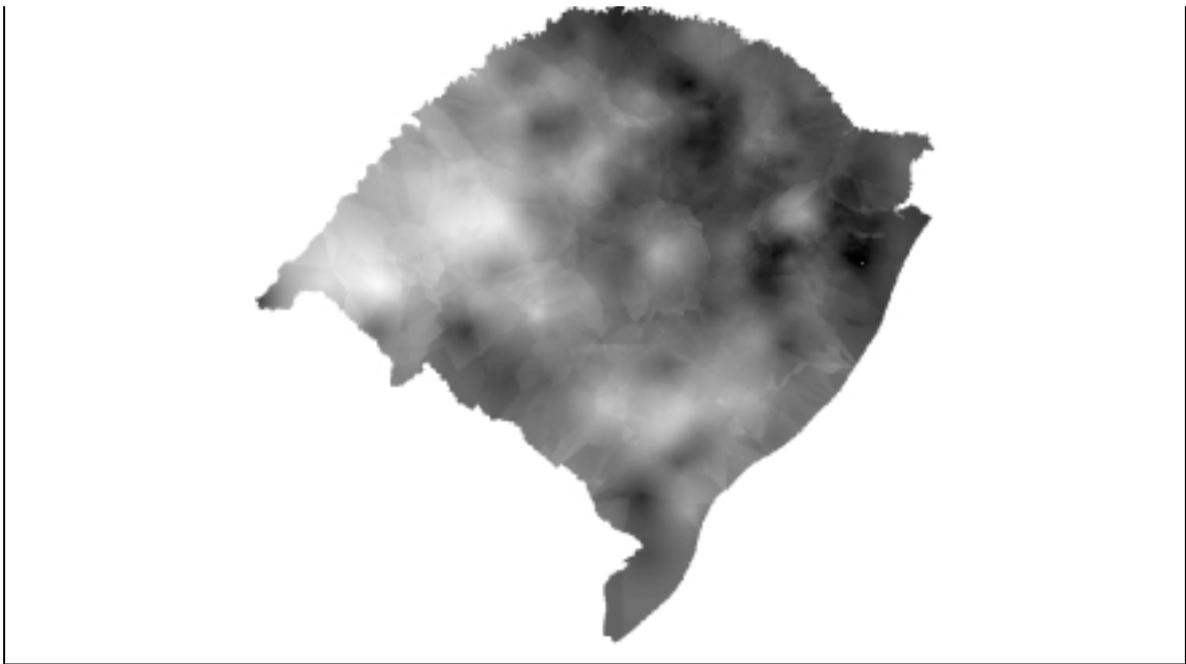


Fig. 15 - Precipitação - “El Niño” / Normais

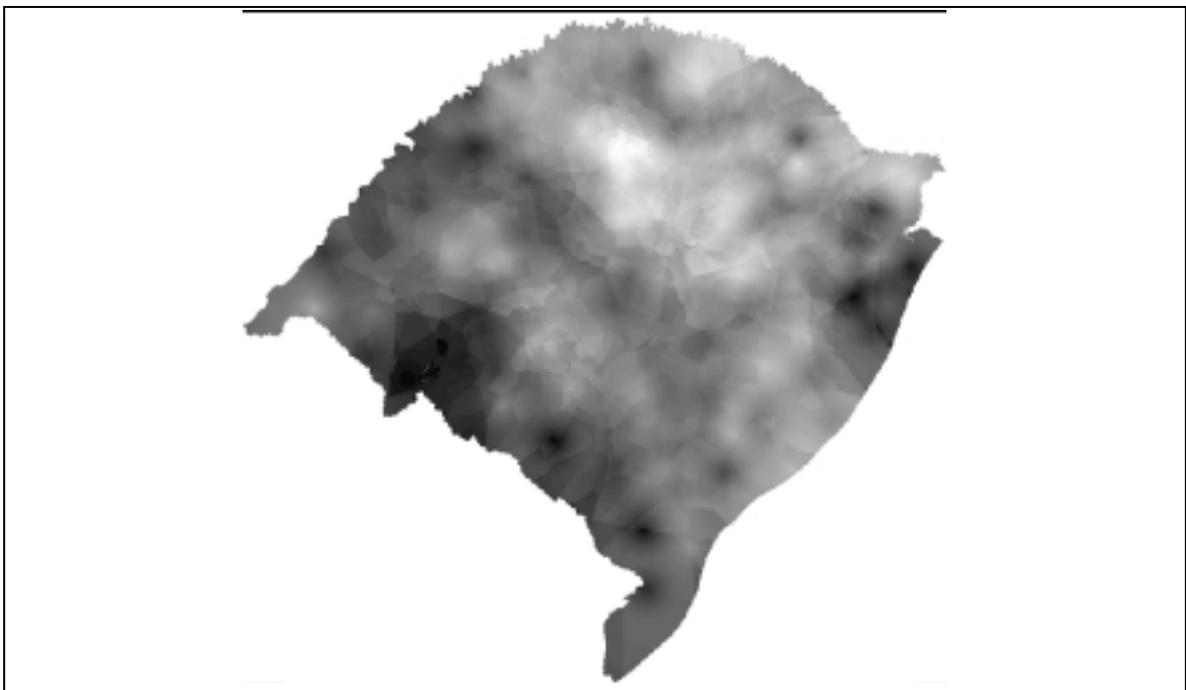


Fig. 16 - Precipitação - “La Niña” / Normais

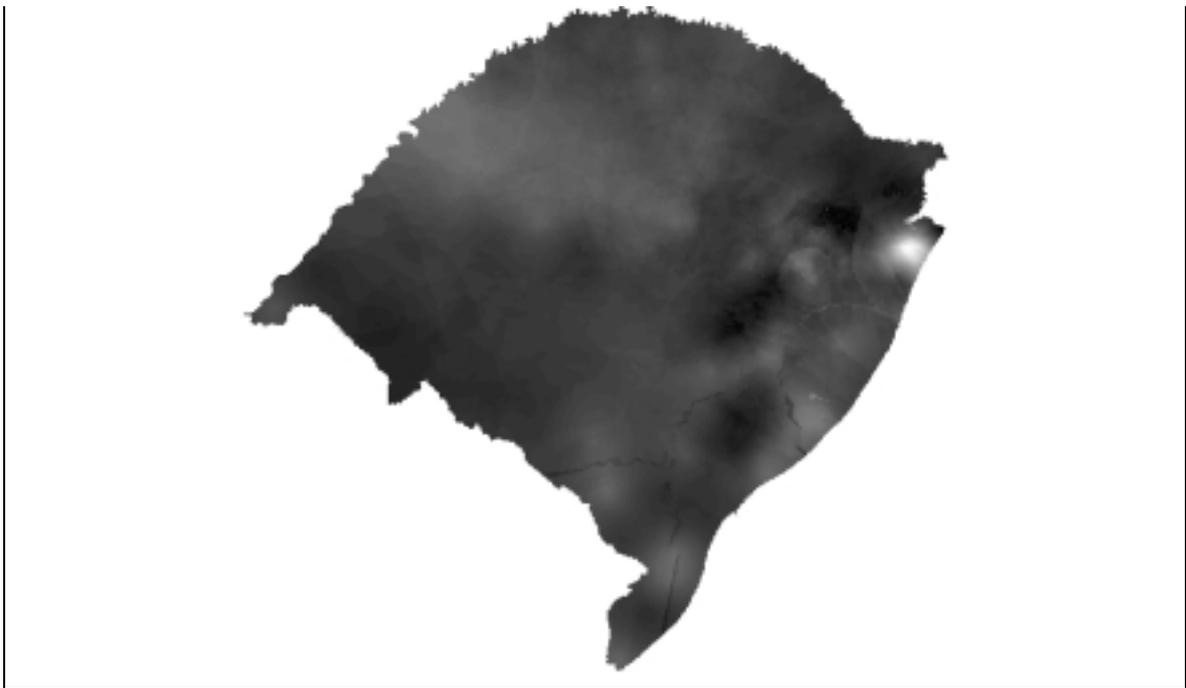


Fig. 17 - Rendimentos - "El Niño" / Normais



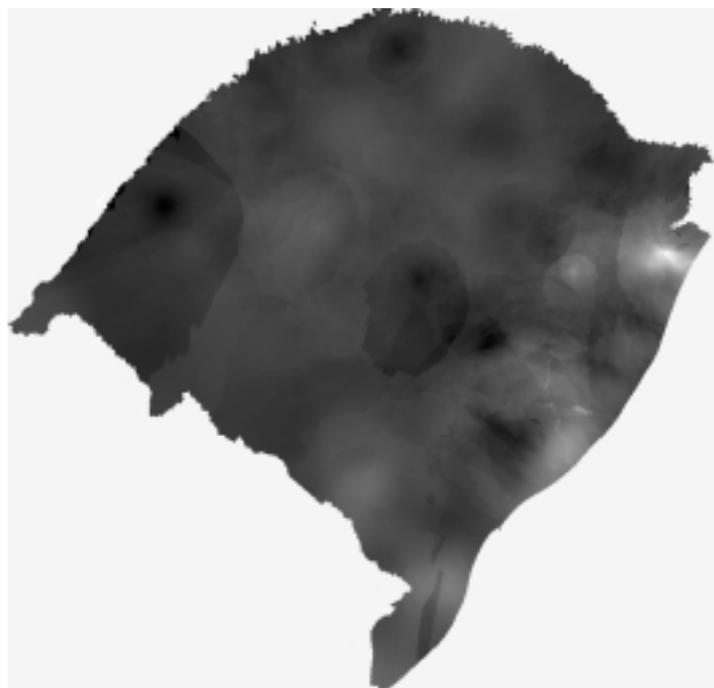


Fig. 18 - Rendimentos - “La Niña” / Normais

Apos a geração dos planos de diferença de rendimento e precipitação, foi aplicada a técnica de rotação de eixos em 45° entre os planos referentes à precipitação e rendimento para “El Niño” e “La Niña” (equação 1 e 2). Este procedimento fornece o comportamento relativo da influência da precipitação no rendimento para anos de “El Niño” e “La Niña”.

$$- \text{PI REN} * \text{sen } 45^\circ + \text{PI CEN} * \text{cos } 45^\circ \quad \text{onde,}$$

Eq. 1

$$\text{PI REN} = \text{PI Rendimentos} - \text{“El Niño”} / \text{Normais}$$

$$\text{PI CEN} = \text{PI Precipitação} - \text{“El Niño”} / \text{Normais}$$

$$- \text{PI RLN} * \text{cos } 45^\circ + \text{PI CLN} * \text{sen } 45^\circ \quad \text{onde,}$$

Eq. 2

PI RLN = PI Rendimentos - “La Niña” / Normais

PI CLN = PI Precipitação - “La Niña” / Normais

Na Figura 19 mostra-se a interfase de calculadora do IDRISI 2.0 com a fórmula para a Rotação de Eixos 45° para a obtenção da segunda componente.



Fig. 19 – Cálculo da 2ª Componente da Rotação de Eixos - “El Niño” e “La Niña”

Este cálculo resultou em 2 PI's com valores positivos e negativos onde os valores representam a relação das razões de pluviometria e de rendimentos. Como foi observado anteriormente o rendimento foi afetado positivamente pelo fenômeno do “El Niño” na Figura 17. A Figura 18 foi afetado negativamente pelo fenômeno de “La Niña”. Globalmente a precipitação pluvial foi 13% maior durante o evento “El Niño” e 2,2% menor durante o evento “La Niña” que nos anos sem evento climático.

Nas Figuras 20 e 21 apresentam-se a relação das razões de pluviometria e razões de rendimentos. Na Figura 20 apresenta-se os efeitos do fenômeno de “La Niña”, nesta figura os valores das relações iguais representam, regiões onde uma diminuição porcentual de chuva e acompanhada por uma diminuição porcentual do rendimento de similar valor. Nas regiões que apresentam valores mais positivos são as que apresentam uma diminuição porcentual dos rendimentos menor que a diminuição porcentual de chuva durante o evento; os valores mais negativos são os que apresentaram um decréscimo porcentual de chuva que produziu o maior decréscimo porcentual nos rendimentos.

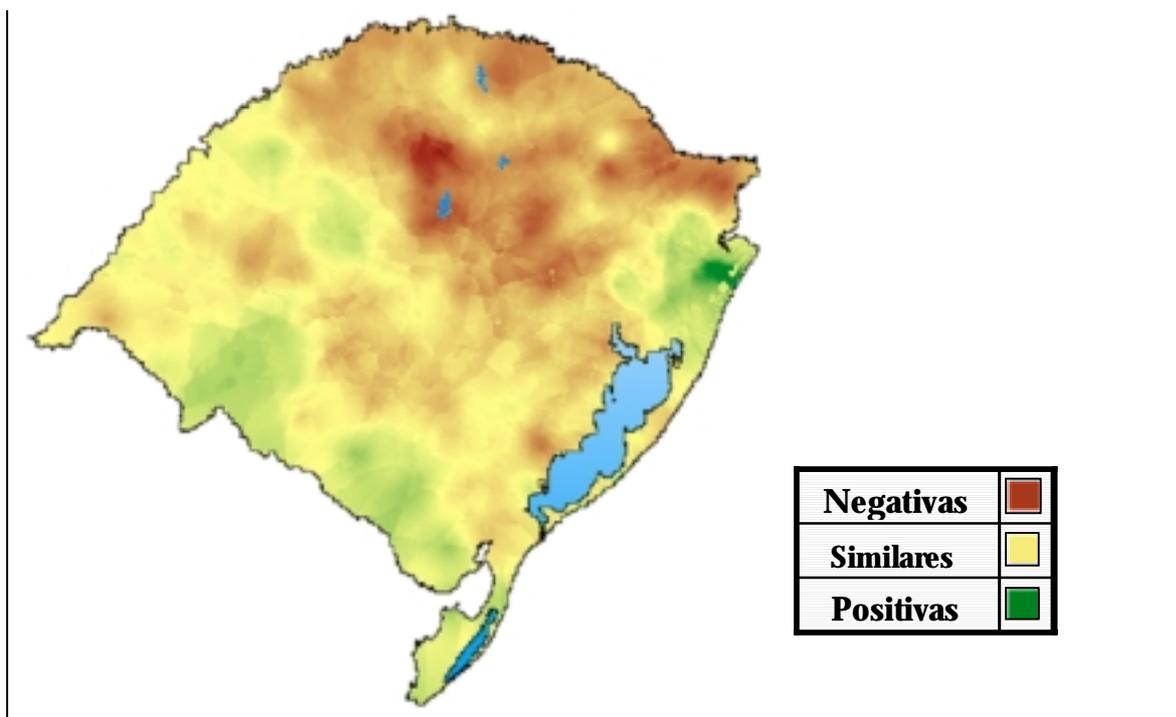


Fig. 20 – Distribuição espacial dos efeitos do evento “La Niña” em verdes as relações mais positivas e em tons de marrom as relações mais negativas

Na Figura 21 apresenta-se os efeitos do fenômeno de “El Niño”. Nesta figura os valores das relações similares representam, regiões onde um aumento porcentual das precipitações é acompanhado por um aumento similar nos rendimentos. E os valores mais positivos em tons esverdeados representam regiões onde um aumento de chuva produz um aumento porcentual maior nos rendimentos. E os valores negativos são regiões onde um aumento porcentual de chuva causa um pequeno aumento nos rendimentos da cultura de soja.

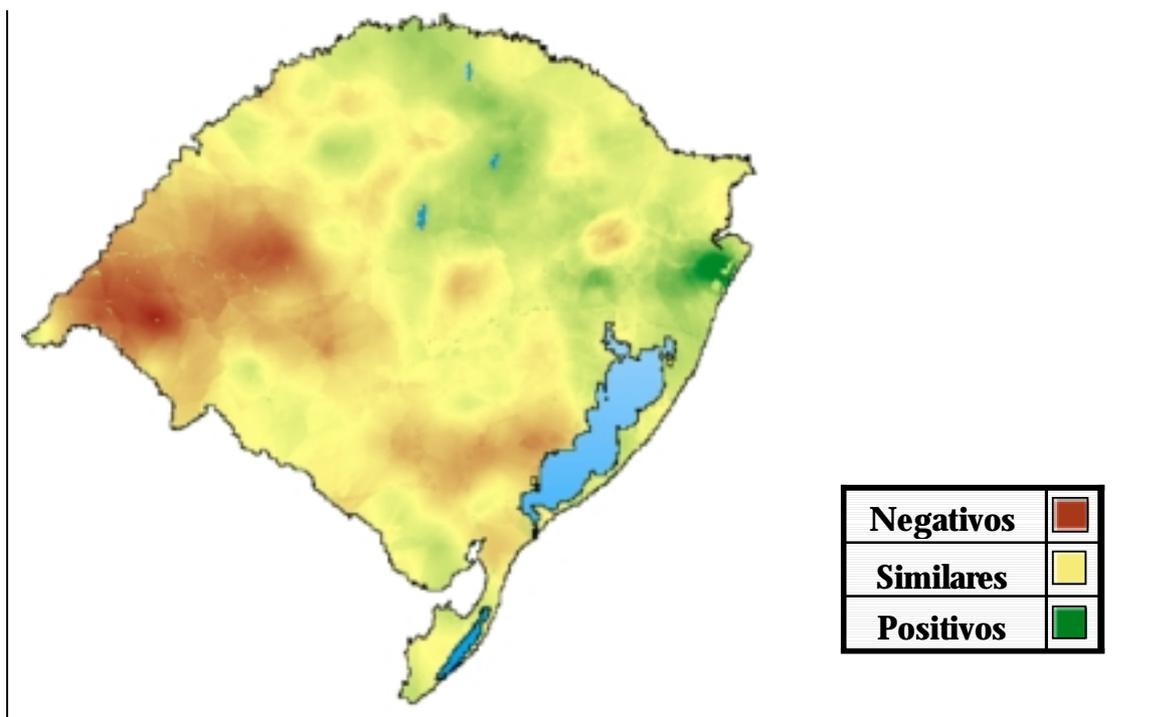


Fig. 21 - Distribuição espacial dos efeitos do “El Niño”

Comparando as Figuras 20 e 21 pode-se observar que as regiões de valores negativos durante o fenômeno do “El Niño” também são as regiões de valores mais positivos do evento “La Niña”. Ou seja, são regiões que apresentam uma diminuição porcentual dos rendimentos menor que a diminuição porcentual de chuva durante o evento de “La Niña” e durante o evento “El Niño” um aumento porcentual de chuva causa um pequeno aumento nos rendimentos da cultura de soja.

Também pode-se observar que as regiões de valores positivos durante o fenômeno do “El Niño” ainda assim são as regiões de valores negativos durante o evento “La Niña”. Ou seja, são regiões que apresentam uma diminuição porcentual dos rendimentos maior que a diminuição porcentual de chuva durante o evento de “La Niña” e durante o evento de “El Niño” apresentam um aumento porcentual nos rendimentos da cultura de soja maior que o aumento porcentual de chuva.

6. CONCLUSÕES

Existe influência positiva do fenômeno de “El Niño” e uma influência negativa do fenômeno “La Niña”, e estas influências podem ser melhor visualizadas na região norte do Estado do Rio Grande do Sul.

As regiões mais prejudicadas pelo evento “La Niña” são também as favorecidas pelo evento “El Niño” em relação ao rendimento da cultura da Soja.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borrough, P. A.; McDonnell, R. A. **Principles of Geographic information systems**. Oxford University Press. 333 p. 1998.
- Câmara et al. **Geoprocessamento: Teoria e aplicação**. [online] <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>>. Março 2000.
- Camargo, E. C. G. Análise Espacial de Superfície por Geoestatística..In: **Análise Espacial**. [online]. <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser 301/ cap3 superficies.pdf>>. Nov. 2000.
- Eastman, J. R.; Jin, W.; Kyem, P. A. K.; Toledano, J. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.61, n.5, 539-547 p. may, 1995.
- Felgueiras, C. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em Sistemas de Informação Geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação**. [online]. <<http://www.dpi.inpe.br/teses/carlos>> Agosto 2001.
- Felgueiras, C. A.; Monteiro, A. M. V.; Fuks, S. D. e Camargo, E. C. G.. "**Inferências e Estimativas de Incertezas Utilizando Técnicas de Krigeagem Não Linear**". [CD-ROM]. In: V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina, 7, Salvador, 1999a. **Anais**. Bahia, gisbrasil'99. Seção de Palestras Técnico-Científicas.
- Fuks, S. D. Novos Modelos para mapas derivados de informações de solos. In: In: Assad, E. D.;
- INPE. **Manual do Spring**. São José dos Campos , INPE, 1997.
- Pereira, N.R.; Schuback, P.de A.; Junior, W.C. **O uso de técnicas de geoprocessamento na detecção de áreas de incompatibilidade de uso, com bases na aptidão agrícola das terras e o uso atual - Estudo aplicado no município Engº Paulo de Frountin-RJ**. [CD ROM].In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, 1998.

ANEXOS

Precipitação:

El nino:

No. de variáveis: 3

No. de Lags: 5

No. de Lags usados: 5

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 5352.769

Para modelo transitivo: Esférico

Contribuição (C1): 7766.678

Alcance (a): 51286.520

Modelo de Semivariograma Esférico

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-48.163	5357.286	7843.978	60756.391
2	-60.527	5355.504	7959.476	62887.613

La Nina:

No. de variáveis: 3

No. de Lags: 5

No. de Lags usados: 5

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 5013.501

Para modelo transitivo: Esférico

Contribuição (C1): 6417.013

Alcance (a): 41559.004

Modelo de Semivariograma Esférico

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-50.830	5013.577	6420.534	40602.641
2	-50.831	5013.505	6421.585	40618.801

Normais:

No. de variáveis: 3

No. de Lags: 6

No. de Lags usados: 6

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 4345.796

Para modelo transitivo: Exponencial

Contribuição (C1): 3999.707

Alcance (a): 67956.742

Modelo de Semivariograma Exponencial

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-65.503	4348.692	4081.692	80527.461
2	-66.156	4348.780	4098.665	81996.266

Rendimento:

El nino:

No. De variáveis: 3

No. De Lags: 5

No. De Lags usados: 5

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 63655.871

Para modelo transitivo: Gaussiano

Contribuição (C1): 8382.001

Alcance (a): 207728.656

Modelo de Semivariograma Gaussiano

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-38.364	64549.809	9072.799	389631.031
2	-43.679	64136.277	13040.110	584047.000

La Nina:

No. de variáveis: 3

No. de Lags: 6

No. de Lags usados: 6

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 181745.859

Para modelo transitivo: Esférico

Contribuição (C1): 31520.166

Alcance (a): 87412.313

Modelo de Semivariograma Esférico

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-65.335	183267.344	29618.945	40767.555
2	-75.529	181747.188	31777.230	40878.359

Normais

No. de variáveis: 3

No. de Lags: 5

No. de Lags usados: 5

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 170295.156

Para modelo transitivo: Esférico

Contribuição (C1): 55391.637

Alcance (a): 73099.195

Modelo de Semivariograma Esférico

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-47.606	170060.563	55939.074	83144.477
2	-47.913	169749.750	55914.324	79440.242

La Nina:

No. de variáveis: 3

No. de Lags: 6

No. de Lags usados: 6

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 181745.859

Para modelo transitivo: Esférico

Contribuição (C1): 31520.166

Alcance (a): 87412.313

Modelo de Semivariograma Esférico

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-65.335	183267.344	29618.945	40767.555
2	-75.529	181747.188	31777.230	40878.359

Normais

No. de variáveis: 3

No. de Lags: 5

No. de Lags usados: 5

Parâmetros iniciais:

Efeito Pepita (Co): 170295.156

Para modelo transitivo: Esférico

Contribuição (C1): 55391.637

Alcance (a): 73099.195

Modelo de Semivariograma Esférico

No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-47.606	170060.563	55939.074	83144.477
2	-47.913	169749.750	55914.324	79440.242

Programas LEGAL

```
{
// Declaracao
Numerico normaisK("MNT");
Numerico ElNinok ("MNT");
Numerico ivdn ("MNT");
// Instanciacao
normaisK = Recuperar (Nome="normaisK");
ElNinok= Recuperar (Nome="ElNinok");
ivdn = Novo (Nome="Reselnino", ResX= 1000, ResY= 1000, Escala = 100000, Min=0,
Max=100);
// Operacao
ivdn = (((ElNinok/normaisK)*100) - 100);
}
-----
{
// Declaracao
Numerico normaisK("MNT");
Numerico LaNinakrig ("MNT");
Numerico ivdn ("MNT");
// Instanciacao

normaisK = Recuperar (Nome="normaisK");
LaNinakrig= Recuperar (Nome="LaNinakrig");

ivdn = Novo (Nome="Resu", ResX= 1000, ResY= 1000, Escala = 100000, Min=0,
Max=100);

// Operacao

ivdn = (((LaNinakrig/normaisK)*100) - 100);

}
{
// Declaracao

Numerico NormalRend("MNTFINAL");
```

```
Numero NinoKend("MNTFINAL");
Numero ivdn ("MNTFINAL");

// Instanciacao

NormalRend = Recuperar (Nome="NormalRend");
NinoRend= Recuperar (Nome="LaNinaRend");

ivdn = Novo (Nome="Laninaraz1", ResX= 1000, ResY= 1000, Escala = 1000, Min=-1000,
Max=1000);

// Operacao

ivdn = (((NinoRend/NormalRend)*100) - 100);

}
```