



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**A UTILIZAÇÃO DA PROFUNDIDADE DO DISCO DE SECCHI NA DISTINÇÃO DE  
DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA NA PLANÍCIE DO LAGO GRANDE DE CÚRUAI –  
PA.**

Carina Regina de Macedo

Trabalho de Curso  
Disciplina: Introdução ao Geoprocessamento

INPE  
São José dos Campos  
2012

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b>	03
<b>2. Fundamentação Teórica</b>	04
2.1. Classificação das Águas da Planície do Lago Grande de Curuai	04
2.2. Características do Disco de Secchi	05
2.3. Metodologia de Interpolação Espacial	05
2.3.1. Interpolação por Média Móvel	06
2.3.2. Krigeagem	07
2.4. Operadores Zonais	08
<b>3. Materiais e Métodos</b>	08
3.1. Área de Estudo	08
3.2. Dados e Equipamentos	09
3.3. Desenvolvimento do Projeto	10
3.3.1. Interpolação	10
3.3.2. Exclusão da Área do Encontro da Planície de Inundação	11
3.3.3. Classificação não Supervisionada da Planície de Inundação	12
3.3.4. Operação Média Zonal	12
<b>4. Resultados e Discussões</b>	13
4.1. Interpolação	13
4.2. Classificação não Supervisionada da Planície de Inundação	20
4.3. Operação Média Zonal	22
<b>5. Considerações Finais</b>	24
<b>Agradecimentos</b>	25
<b>Referências</b>	26

## 1. Introdução

A bacia amazônica é formada pelo rio Amazonas e seus tributários e, em decorrência de sua evolução geomorfológica, possui uma vasta planície de inundação. As águas que circulam por essa planície, devido a grande dimensão da bacia amazônica, variam muito de composição; essa variação ocorre em função do tipo do solo drenado por essas águas, da origem da água e das condições climáticas (BARBOSA, 2007).

Sioli (1984 *apud* BARBOSA, 2007), baseado na carga sólida e dissolvida e no pH, propôs a classificação dessas águas em três tipos: água branca, preta e clara.

A caracterização desses três tipos de água envolve a coleta e análise de diversas variáveis limnológicas, como, por exemplo, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, total de sólidos suspensos e suas frações orgânicas e inorgânicas, clorofila a e pigmentos acessórios, entre outras. Esse processo envolve alto gasto de recurso e tempo, visto que, algumas dessas variáveis exigem análise laboratorial.

Como forma de contornar os problemas relacionados aos gastos citados acima, a medição de uma única característica física que permita inferir o tipo de água é vista de forma favorável. A variável que pode ser utilizada para essa finalidade é a profundidade do Disco de Secchi que, segundo Esteves (1998), é uma técnica simples, fácil de transportar, com custo reduzido e permite a extração de inúmeras informações a partir de seus valores.

Dessa forma, o objetivo desse presente trabalho consiste em analisar se, utilizando apenas a profundidade do disco de Secchi, é possível distinguir os diferentes tipos de água (pretas, claras e brancas) da Planície do Lago Grande de Curuai, no Estado do Pará. Para que essa análise fosse possível, foram utilizadas técnicas do Sistema de Informação Geográfica (SIG), as quais permitiram relacionar os diferentes tipos de água com os dados de profundidade do Disco de Secchi.

Os diferentes tipos de água na área de estudo foram identificados a partir de classificação não supervisionada por regiões, utilizando-se o algoritmo de classificação ISOSEG. Quanto às amostras irregulares de profundidade do Disco de

Secchi, a partir dessas foram geradas três representações matriciais utilizando-se diferentes interpoladores: média simples, média ponderada e krigeagem ordinária.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Classificação das Águas da Planície do Lago Grande de Curuai

As águas chamadas de pretas, pelo alto conteúdo de húmus e baixo nível de sedimentos em sua constituição, são de uma cor verde-oliva e são originárias das terras baixas do Terciário da Amazônia. O pH dessas águas variam entre 3,8 e 4,9 e o nível de nutriente presente é baixo (JUNK, 1984; FURCH, 1984 *apud* BARBOSA, 2007).

Segundo Furch (1984) *apud* Barbosa (2007), as águas brancas, por apresentarem alta concentração de sólidos suspensos, são águas turvas, barrentas e de cor amarela. Apresentam pH neutro e possuem alta carga de nutrientes.

As águas claras têm origem nos Escudos Brasileiro e das Guianas, nos sedimentos do cretáceo. São pobres em sedimentos e ricas em matéria orgânica dissolvida, sua faixa de variação de pH é ampla, variando entre 4,5 e 7,8 (BARBOSA, 2007).

Tabela 1 – Principais Características Físicas e Químicas e Origem dos Principais tipos de Águas Amazônicas

Parâmetros	Tipos de águas		
	Águas brancas	Águas pretas	Águas claras
Cor	Ocre	Marrom-oliva ou marrom-café	Verde ou verde-oliva
Transparência no disco de Secchi	0,1-0,5 m	1,3-2,9 m	1,1-4,3 m
Geomorfológica/Origem (2) superfície terrestre	Encosta de montanhas (como supridores primários de matéria suspensa). Andino ou pré-Andino	Relevo plano da superfície da Terra (Archean lowlands)	Relevo plano dos Escudos Brasileiro e das Guianas
Sedimentos (g/litro) (3)	0,08-0,40	-	0,02-0,1
Conteúdo húmico (miligramas/litro) (4)	14,1	26,6	2,3
pH da água (2)	6,2-7,2	3,8-4,9	4,5-7,8
Nutrientes inorgânicos (5,6)	Rico	Pobre	Variável
Classificação dos solos (FAO) (7)	Fluviosolos e gleysolos	Gleysolos dístricos e acrisolos geycos	-
Cobertura vegetal da área de inundação (2,8)	Várzeas e campos de várzea	Caatingas e igapós	Igapós e campos de cerrado
Exemplos de rios (2,1,6)	Amazonas, Madeira, Purus e Juruá	Negro, Cuieiras, Tefé, Jutai, Cururu	Araguaia, Jari, Tapajós, Xingu

FONTE: Ayres, 1995 *apud* Barbosa, 2007.

## **2.2 Características do Disco de Secchi**

O Disco de Secchi consiste em um disco circular branco ou com setores branco e preto preso ao centro por um cabo graduado. Este disco é mergulhado na água, sendo continuamente afundado até seu completo desaparecimento; essa primeira profundidade é anotada. Posteriormente, o disco é levantado até sua completa visualização, esse segundo valor é também anotado. A profundidade do Disco de Secchi é dada, então, pelo valor médio da primeira e segunda profundidade obtida (POMPÊO, 1999).

Segundo a CETESB (2011), a profundidade do Disco de Secchi corresponde a profundidade de transparência e, a partir dessa medida, é possível estimar a profundidade da zona fótica, que corresponde a profundidade de penetração vertical da luz solar na coluna d'água. Essa zona indica o nível da atividade fotossintética de lagos ou reservatórios.

## **2.3 Métodos de Interpolação Espacial**

Com a técnica de interpolação é possível estimar o valor de um atributo em locais não amostrados, utilizando para isso pontos amostrados na mesma área ou região. Esse processo converte dados de observações pontuais em representação contínua do fenômeno em questão, produzindo padrões que possam ser comparados com outras entidades contínuas. O raciocínio base do processo de interpolação é que, em geral, pontos vizinhos no espaço têm valores mais correlacionados que pontos distantes (CÂMARA et al, 1998).

Segundo Camargo et al (2002), são três os modelos que tem como meta gerar superfícies a partir de procedimentos de interpolação, quer sejam:

- Modelos determinísticos de efeitos locais: os pontos da superfície são estimados a partir da interpolação das amostras mais próximas. Não são feitas hipóteses estatísticas sobre a variabilidade espacial, pois se supõe que há o predomínio dos efeitos puramente locais.
- Modelos determinísticos de efeitos globais: tem como suposição implícita que há o predomínio da variação em larga escala na caracterização do fenômeno de estudo.

- Modelos estatísticos de efeitos locais e globais (krigeagem): os pontos da superfície são estimados a partir de amostras mais próximas e é utilizado um interpolador estatístico.

Nesse estudo comparativo serão apresentados resumidamente os três métodos de interpolação utilizados: dois determinísticos (média simples e média ponderada) e o método estatístico (krigeagem).

### 2.3.1 Interpoladores por Média Móvel

De acordo com Felgueiras et al. (2002), os interpoladores por média móvel são um dos interpoladores mais simples para estimar valores dos pontos de uma grade regular. Segue a seguinte fórmula geral:

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} Z_j}{\sum_{j=1}^n W_{ij}}$$

Sendo que  $Z_i$  é o valor de cota de um ponto  $i$  da grade,  $Z_j$  é o valor de uma amostra  $j$  vizinha do ponto  $i$  e  $W_{ij}$  é um fator de ponderação.

A interpolação por *média simples* considera o valor  $z$  do elemento da grade igual a média aritmética dos valores das amostras vizinhas. Considera-se que o valor do fator de ponderação  $W_{ij}$  vale  $1/n$  para qualquer amostra considerada (FELGUEIRAS et al, 2002).

Segundo Felgueiras et al (2002), no caso da interpolação por *média ponderada*, o valor  $z$  do elemento da grade é a média ponderada dos valores das amostras vizinhas. O fator de ponderação mais utilizado é o inverso da distância euclidiana entre o ponto da grade e a amostra considerada:

$$W_{ij} = \frac{1}{d_{ij}^k}$$

Onde  $k$  é o expoente da distância,  $d_{ij}$  é a distância da amostra  $j$  ao ponto  $i$  da grade.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

O valor de k utilizado nesse projeto foi de 2.

### 2.3.2 Krigeagem

A estrutura teórica da krigeagem está baseada no conceito de variável regionalizada, ou seja, uma variável distribuída no espaço (ou tempo) cujos valores são considerados como realizações de uma função aleatória (CAMARGO et al, 2002). Segundo Camargo et al (2002), os passos num estudo empregando técnicas de krigeagem incluem:

- a) Análise exploratória dos dados;
- b) Análise estrutural;
- c) Interpolação estatística da superfície.

A diferença entre o método de krigeagem e os demais métodos de interpolação está no fato de que os pesos dados a cada observação são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental (CAMARGO, 1997).

A técnica da krigeagem engloba um conjunto de métodos (krigeagem simples, krigeagem universal, entre outros), sendo que a krigeagem ordinária, método utilizado no presente projeto, é apenas um dos existentes.

De acordo com Imai et al (2007), a variância da krigeagem ordinária está relacionada com a distribuição espacial das amostras, ou seja, depende da distância dos atributos e não de seus valores. Assim, a variância da krigeagem não pode ser utilizada como medida de incerteza do atributo. A equação a seguir apresenta a formulação para o estimador de krigeagem ordinária:

$$Z_0^* = \sum_{\alpha=0}^n W_{0\alpha}(u) \cdot Z(u)$$

Onde  $Z_0^*$  é a estimativa do valor na posição  $u$ ,  $W_{0\alpha}$  corresponde aos ponderadores e  $Z(u)$  é o valor da variável na posição  $u$ .

## **2.4 Operadores Zonais**

As operações que resultam em campos podem ser classificadas como: locais, de vizinhança e zonais (TOMLIN, 1990 *apud* CORDEIRO et al, 2002).

As operações locais têm como resultado campos cujos valores locais são em função de valores associados ao mesmo local por uma ou várias representações de outros campos. A operação de vizinhança computa o campo de saída com base na dimensão e forma de uma vizinhança em torno de cada local. Já as operações zonais são definidas sobre determinadas regiões de um campo de entrada, sendo que as restrições são fornecidas por zonas; estas zonas são definidas através de operações booleanas envolvendo outros campos, que são associados a objetos através de mapas cadastrais (CORDEIRO et al, 2002).

Os operadores zonais incluem estatísticas simples como moda, média (operador utilizado no projeto em questão), máximo, mínimo, desvio padrão, entre outros. Envolvem valores associados a locais de regiões específicas, dadas por alguma forma de restrição (CORDEIRO et al, 2002).

## **3. Materiais e Métodos**

### **3.1 Área de Estudo**

A área selecionada para o desenvolvimento desse trabalho, a planície do Lago Grande de Curuai, está localizada ao longo do baixo rio Amazonas, ao sul da cidade de Óbidos, no Estado do Pará.

De acordo com Barbosa (2007), a área em questão tem aproximadamente 3500 km<sup>2</sup>, sendo constituída por mais de 20 lagos interligados por canais de comunicação e é caracterizada como uma planície inundável.



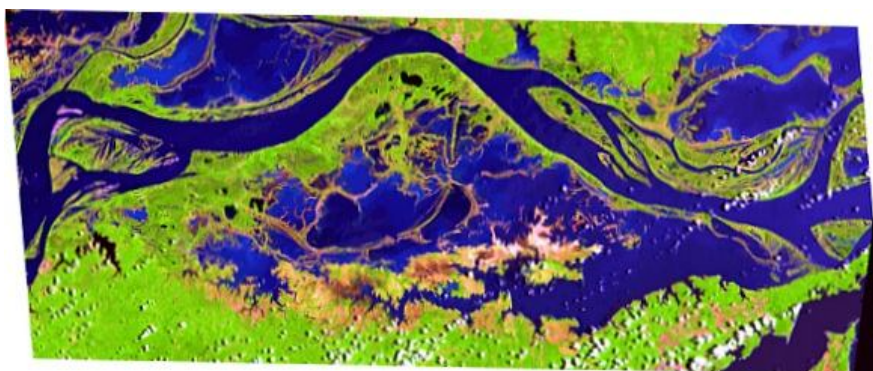


Figura 1 – Planície do Lago Grande de Curuai

A planície recebe diferentes volumes de águas brancas, que ocorrem em maior proporção e vêm do rio Amazonas, águas claras, provenientes de pequenos rios da margem sul, e águas pretas que se originam de florestas dentro da área de captação local (BARBOSA, 2007).

### 3.2 Dados e Equipamentos

Os dados da profundidade do Disco de Secchi utilizados nesse projeto foram adquiridos durante trabalhos de campo realizados na planície do Lago Grande de Curuai nos períodos de vazante (setembro de 2003) e enchente (fevereiro de 2004). No período de vazante foram coletadas 208 amostras e no período de enchente 219.

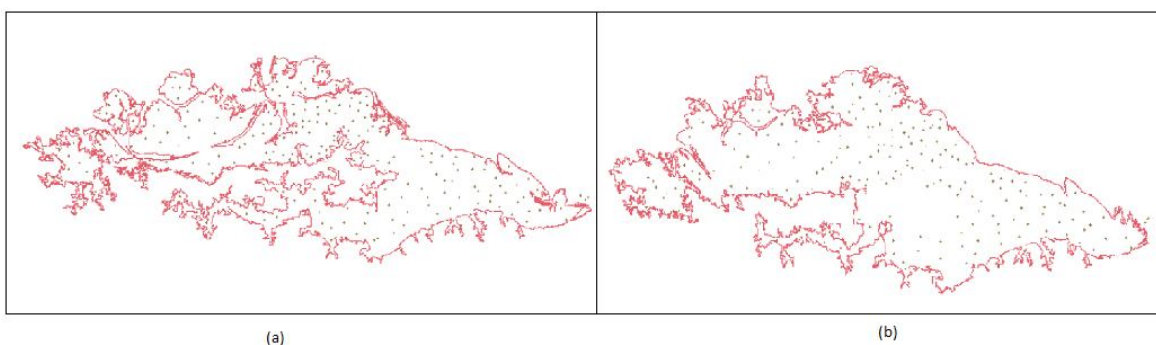


Figura 2 – Distribuição das amostras na área de estudo: (a) fevereiro (b) setembro.

As imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 que foram utilizadas correspondiam a duas datas: 21 de setembro de 2003 e 27 de janeiro de 2004. Essas imagens tinham passado anteriormente por correção atmosférica.

Todos os dados foram organizados em uma base de dados em ambiente SIG, sendo que o software utilizado foi o Spring 5.1.6.

### 3.3 Desenvolvimento do Projeto

As etapas realizadas para que o objetivo desse projeto fosse alcançado, podem ser vistas no diagrama OMT-G (Figura 3).

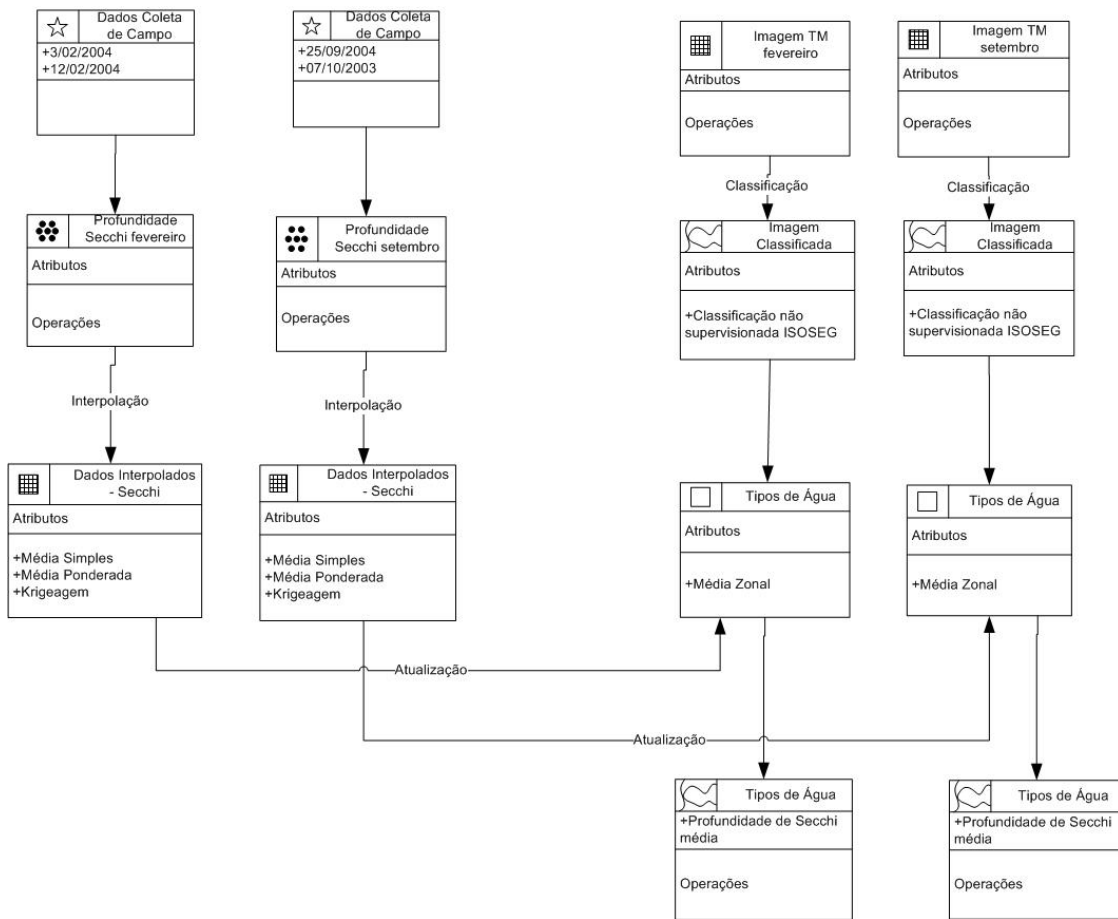


Figura 3 – Diagrama OMT-G do Projeto

#### 3.3.1 Interpolação

##### Interpolação por Média Móvel

Paramodelara distribuição no espaço dos dados de profundidade do Disco de Secchi nos dois períodos considerados (vazante e enchente), foi gerado um Modelo Numérico do Terreno (MNT) na forma de grade regular (matricial) com resolução de 30 por 30 metros. Para isso foram utilizados os métodos de

interpolação por média ponderada (utilizando o valor da potência igual a 2) e média simples, ambos os métodos utilizam o valor da variável dos 8 vizinhos mais próximos para estimar o valor de um ponto.

### **Interpolação por Krigeagem Ordinária**

Para a análise geoestatística de Krigeagem Ordinária, cinco etapas foram sequencialmente aplicadas aos conjuntos de dados. Como resultado dessa aplicação, obteve-se a espacialização dos dados da variável profundidade do Disco de Secchi para dois períodos considerados.

A primeira etapa realizada foi a análise exploratória, etapa na qual foram analisadas as estatísticas descritivas dos dados, o histograma, o gráfico de probabilidade normal e o diagrama de dispersão. Logo após, a partir da superfície de semivariograma, foi constatada a anisotropia do fenômeno estudado e os eixos de anisotropia foram detectados.

Em seguida, os semivariogramas direcionais foram gerados e modelados para os eixos de maior e menor continuidade. Fez-se, então, a modelagem da anisotropia, que consiste em unir os dois modelos (para o eixo de maior e menor continuidade) definidos na etapa anterior em um único modelo consistente. O modelo que leva em conta a anisotropia dos dados foi validado, ou seja, foram analisados o diagrama espacial do erro, o histograma do erro, as estatísticas do erro e o diagrama dos valores observados versus os valores estimados. A última etapa realizada foi a interpolação por krigeagem ordinária.

### **3.3.2 Exclusão da Área do Entorno da Planície de Inundação**

Para que fosse possível gerar as máscaras com o contorno da planície em questão, foi necessário classificar a imagem TM de fevereiro e setembro utilizando um classificador supervisionado por regiões, sendo que o algoritmo utilizado foi o de Bhattacharya.

Primeiramente, foi feita a segmentação das imagens utilizando similaridade 10 e área de pixel 30 para os dois períodos estudados (janeiro e setembro). Após isso foi feito o treinamento do classificador, ou seja, foram coletadas amostras que

caracterizavam as duas classes de interesse: água e demais áreas. Foi utilizado o classificador Bhattacharya com um limiar de aceitação de 99%.

O mapa temático gerado passou por edição matricial, de maneira que fossem excluídos todos os demais corpos d'água, restando apenas a Planície do Lago Grande de Curuai. Esse mapa temático, então, passou por conversão e foi gerada uma representação vetorial da planície.

Essa representação vetorial foi utilizada como máscara para que todos os planos de informação fossem recortados, incluindo as imagens TM e as superfícies geradas pelos diferentes métodos de interpolação.

### **3.3.3 Classificação não Supervisionada da Planície de Inundação**

Para classificar os diferentes tipos de água existentes na Planície do Lago Grande de Curuai, foi utilizado um classificador não supervisionado por regiões, sendo que o algoritmo de classificação utilizado foi o ISOSEG.

Como resultado um mapa temático com diversas classes foi gerado (em torno de treze). Esse mapa passou, então, por edição matricial, de forma a deixar apenas três classes.

O mapa temático foi transformado para modelo cadastral e uma tabela foi associada a cada uma das três classes finais.

### **3.3.4 Operação Média Zonal**

Essa operação teve como objetivo obter o valor médio da profundidade do Disco de Secchi para cada uma das três classes obtidas na etapa anterior. Os polígonos representando cada classe foram utilizados como restrição e o operador utilizado foi o chamado média zonal.

Este procedimento foi realizado com a utilização da ferramenta “Linguagem LEGAL” presente no software Spring.

```

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
{
//Programa para atualizar o atributo MEDKRIG da categoria de Objetos
set,
//através do operador MEDIA ZONAL

//Declaração das variáveis
Objeto   aguas ("set");
Cadastral cad ("setembro");
Numerico secchi ("secchi");

//Instanciação (Recuperação das variáveis do banco)

cad = Recupere (Nome = "setembro");
secchi = Recupere (Nome = "Krig_ANIS_set_RECORTE");

//Atualização do atributo "DMCOR1" com os valores obtidos pelo operador
//Media Zonal, para cada objeto (setor censitário).

aguas. "MEDKRIG" = MediaZonal (secchi, aguas OnMap cad);
}

```

Figura 4 – Programa LEGAL para realizar a operação média zonal.

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1 Interpolação

#### Interpolação por Média Móvel

As superfícies de profundidade do Disco de Secchi geradas utilizando os interpoladores média simples e ponderada para os períodos de enchente (fevereiro) e vazante (setembro) podem ser visualizadas nas Figuras 5 a 8. Os níveis de cinza mais escuros correspondem às profundidades menores do Disco de Secchi.



Figura 5 - superfícies de profundidade do Disco de Secchi obtida com o interpolador média simples – fevereiro.

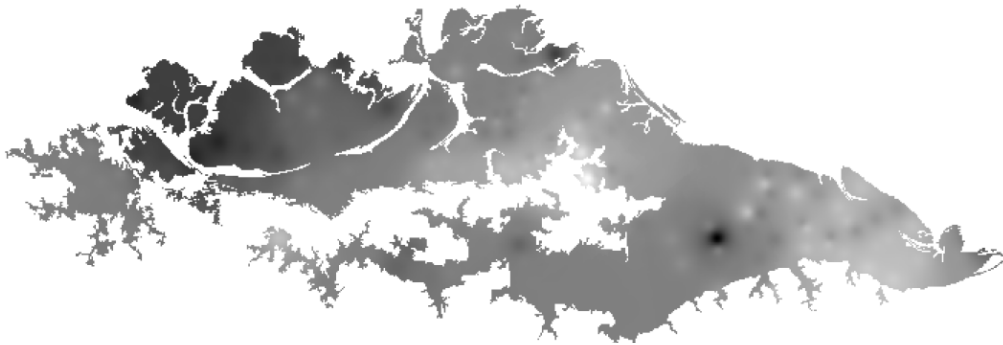


Figura 6 - superfícies de profundidade do Disco de Secchi obtida com o interpolador média ponderada - fevereiro.



Figura 7 - superfícies de profundidade do Disco de Secchi obtida com o interpolador média simples - setembro.

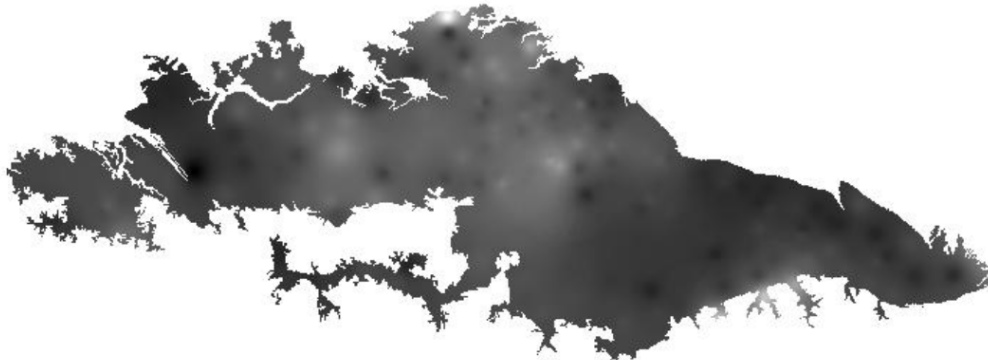


Figura 8 - superfícies de profundidade do Disco de Secchi obtida com o interpolador média ponderada - setembro.

Observa-se que a superfície obtida através da média simples apresenta varrições abruptas, enquanto que a superfície obtida por média ponderada apresenta variações mais suaves e acentuação dos máximos locais, formando picos artificiais.

## Interpolação por Krigeagem Ordinária

A análise exploratória executada sobre os dados de fevereiro e setembro obteve resultados satisfatórios, visto que a média e a variância das amostras apresentavam valores muito próximos a zero. Assim, foi possível continuar o processo geostatístico.

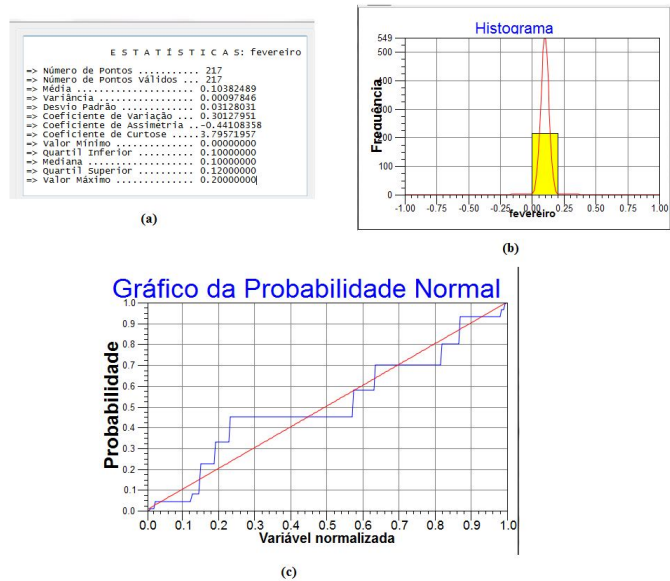


Figura 9 – (a) estatísticas descritivas dos dados, (b) histograma, (c) gráfico de probabilidade normal – fevereiro.

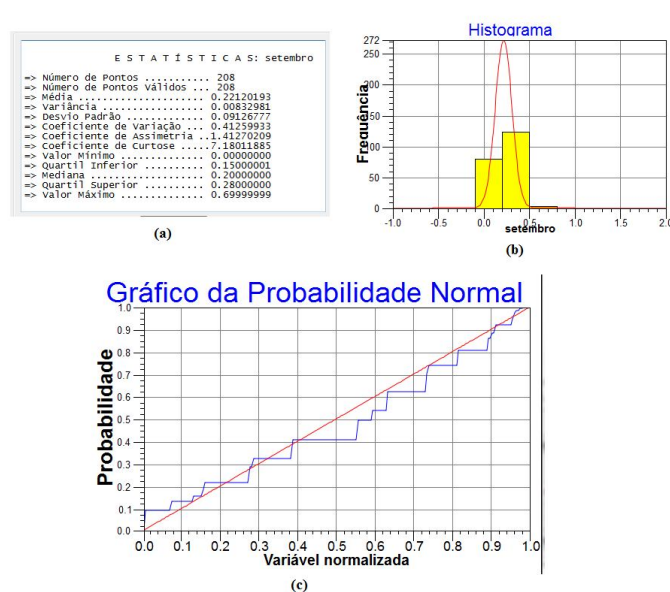


Figura 10 – (a) estatísticas descritivas dos dados, (b) histograma, (c) gráfico de probabilidade normal – setembro.

O procedimento de detecção da anisotropia consistiu na análise da superfície dosemiograma das amostras dos períodos considerados. Esse procedimento permitiu detectar os eixos de anisotropia.

A direção de maior continuidade espacial dos dados de fevereiro foi  $183^\circ$  e a de menor continuidade foi  $93^\circ$ . Para os dados de setembro, a direção de maior continuidade foi  $186^\circ$  e a menor foi  $96^\circ$ . Conforme pode ser visualizado na Figura 11.

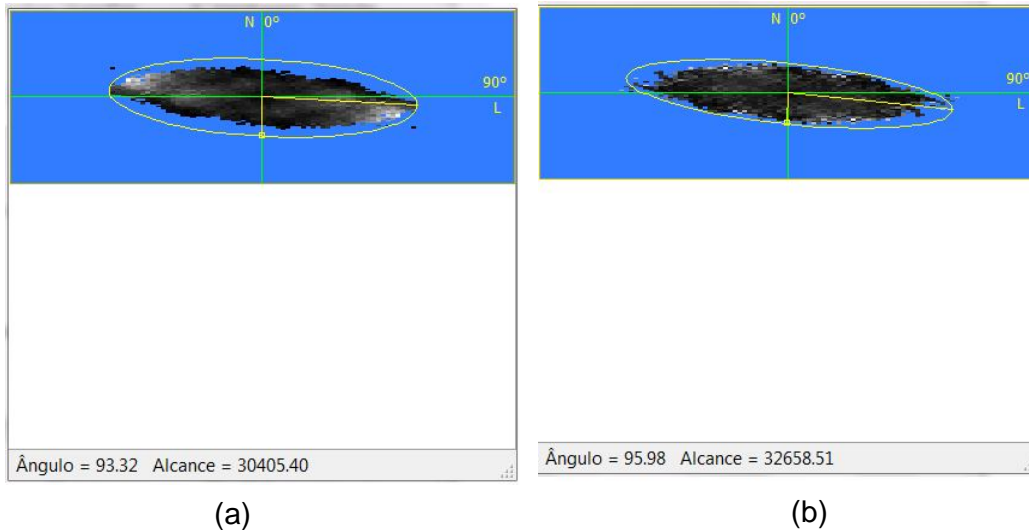


Figura 11 – Detecção dos eixos de anisotropia: (a) fevereiro, (b) setembro.

A etapa onde os semivariogramas direcionais foram gerados exigiu que as variáveis fossem determinadas empiricamente, ou seja, por tentativa e erro até que o resultado encontrado fosse o mais próximo possível de uma função matemática conhecida (exponencial, esférica ou gaussiana). O valor encontrado para os dados de fevereiro foi de 3 para o número de lag e 5500 para o incremento; para os dados de setembro foi de 3 para o número de lag e 4800 de incremento. Posteriormente, os semivariogramas direcionais foram modelados, chegando-se os resultados mostrados nas Figuras 12 e 13.



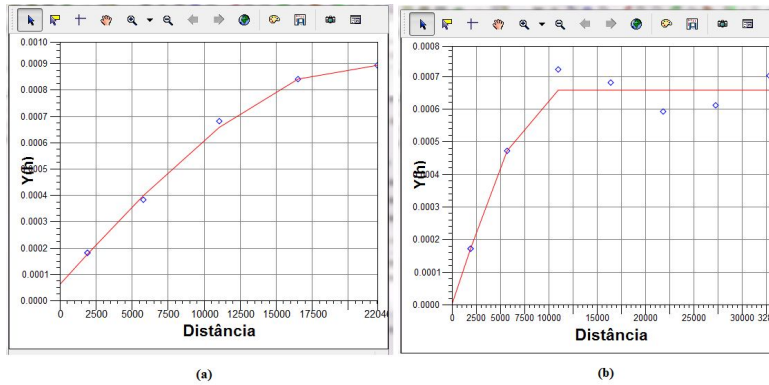


Figura 12 – Semivariogramas direcionais de fevereiro: (a) eixo de menor continuidade (93°), (b) eixo de maior continuidade (183°).

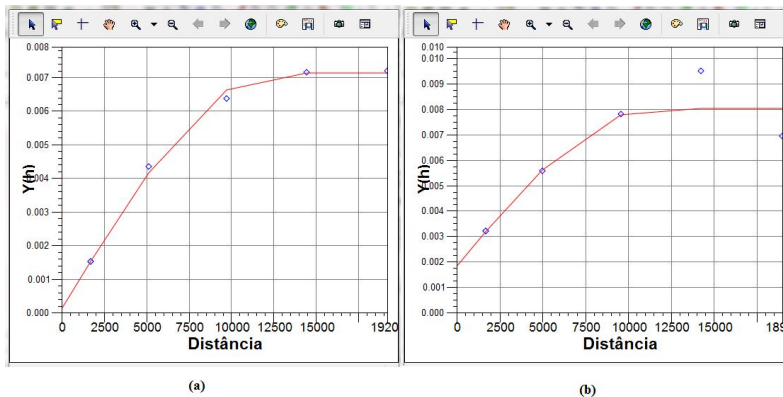


Figura 13 – Semivariogramas direcionais de setembro (a) eixo de menor continuidade (96°), (b) eixo de maior continuidade (186°).

A modelagem da anisotropia permitiu encontrar um único modelo consistente que unisse os dois modelos direcionais. Para os dados de fevereiro a anisotropia detectada foi a geométrica, ou seja, mesmo patamar, mesmo efeito pepita, porém com alcances diferentes, assim, o modelo gerado tinha apenas uma estrutura. A anisotropia dos dados de setembro foi também do tipo geométrico, porém por apresentar diferentes efeitos pepitas, foram necessárias duas estruturas. O modelo de ajuste utilizado para ambos os dados foi o esférico.

Tabela 2 – Variáveis do Modelo de Ajuste.

	Fevereiro	Setembro
<b>1ª Estrutura</b>		
<b>Efeito Pepita</b>	0,00005	0,00001
<b>Contribuição</b>	0,00075	0,00199
<b>Alcance Mínimo</b>	12000 metros	$\epsilon = 0,00001$
<b>Alcance Máximo</b>	17000 metros	13000
<b>2ª Estrutura</b>		
<b>Contribuição</b>	-	0,004
<b>Alcance Mínimo</b>	-	10000 metros
<b>Alcance Máximo</b>	-	13000 metros

A validação do modelo que leva em conta a anisotropia dos dados foi satisfatória, visto que a média e a variância do erro tiveram valores próximos a zero; isto significa que a função de ajuste sugerida conseguiu estipular um bom interpolador.

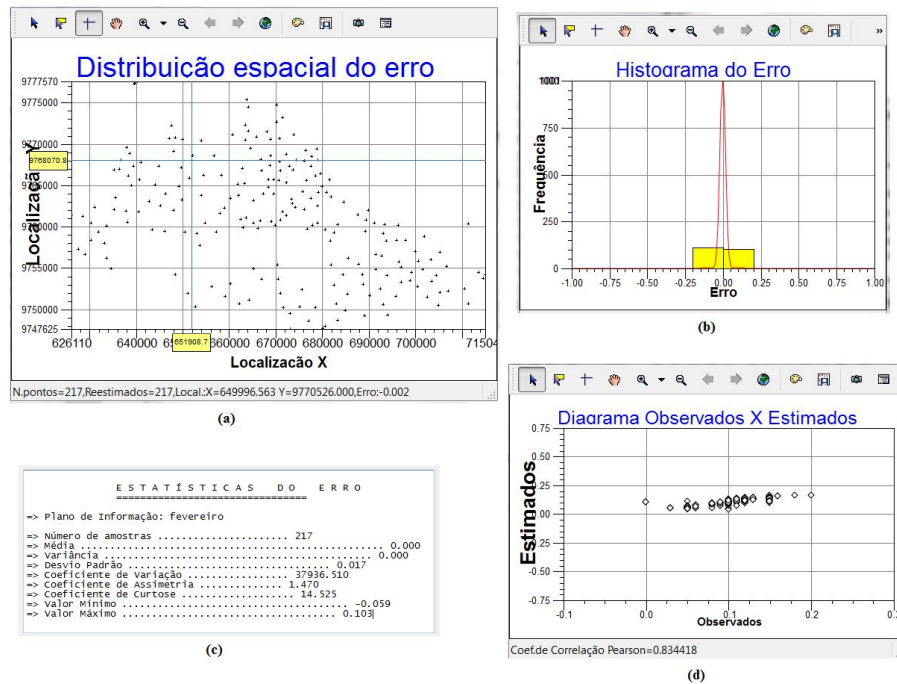


Figura 14 – (a) diagrama espacial do erro, (b) histograma do erro, (c) estatísticas do erro e (d) diagrama dos valores observados versus os valores estimados – fevereiro.

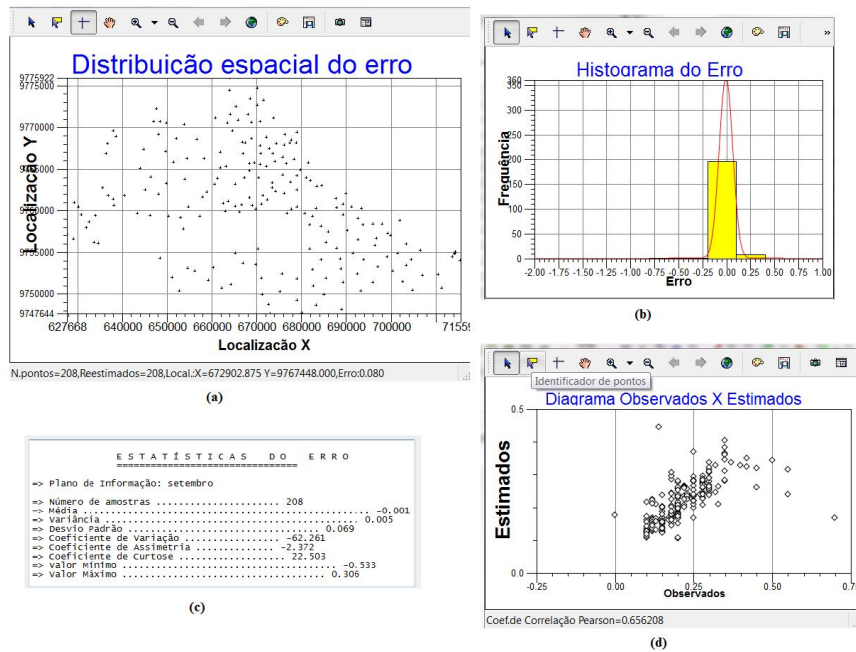


Figura 15 – (a) diagrama espacial do erro, (b) histograma do erro, (c) estatísticas do erro e (d) diagrama dos valores observados versus os valores estimados – fevereiro.

Visto o bom desempenho do modelo gerado, foi possível levar o processo geostatístico adiante, de forma a gerar a grade regular interpolada pelo processo de krigeagem ordinária e a superfície de profundidade do Disco de Secchi (Figuras 13 e 14). As áreas mais escuras na superfície correspondem a profundidades menores do Disco de Secchi.



Figura 16 - superfícies de profundidade do Disco de Secchi obtida com o interpolador krigeagem ordinária – fevereiro.



Figura 16 - superfícies de profundidade do Disco de Secchi obtida com o interpolador krigeagem ordinária – setembro.

Observa-se que as superfícies da profundidade do Disco de Secchi obtidas pelo método da krigeagem ordinária não apresentam variações abruptas, sendo, dentre os métodos de interpolação utilizados nesse projeto, o que produziu a superfície com as variações mais suaves. A análise da superfície permite observar o eixo de maior continuidade da variável estudada.

O método da krigeagem ordinária não acentuou os máximos locais como fez o método da média ponderada, porém, pela grande quantidade de amostras e pela representatividade dessas amostras na área de estudo, pode-se ver que os dois métodos apresentaram resultados próximos. Entretanto, o método da krigeagem é considerado superior ao de média ponderada, pois leva em consideração os eixos de maior e menor continuidade do fenômeno estudado e sua área de influência de interpolação é indicada pelo alcance (nos modelos determinísticos esse raio é arbitrário).

#### **4.2 Classificação não Supervisionada da Planície de Inundação**

O processo de classificação não supervisionada por regiões da planície de inundação, utilizando o algoritmo ISOSEG, resultou em um mapa temático com aproximadamente 13 classes. Como muitas dessas classes correspondiam a sombras, nuvens e terra firme, uma edição matricial foi feita de modo a agregar essas classes, restando, no final, apenas três. Essas classes em teoria deveriam representar os três tipos de água (preta, clara e branca) existentes na região de estudo.

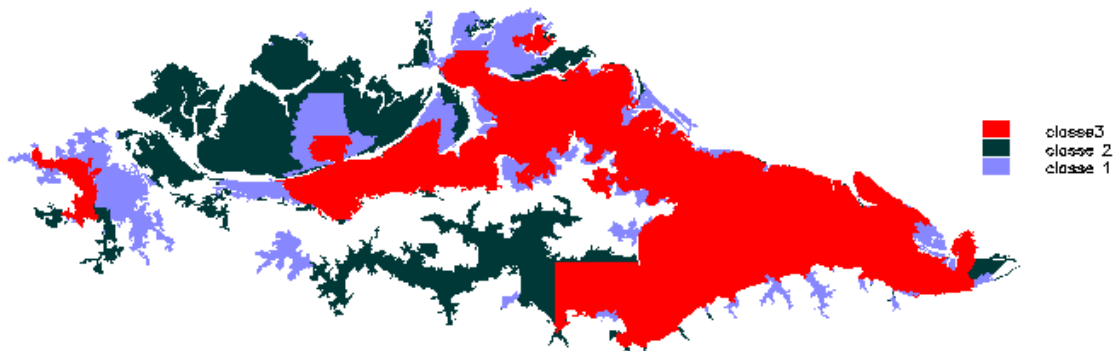


Figura 17 – Mapa temático com as três classes - fevereiro.

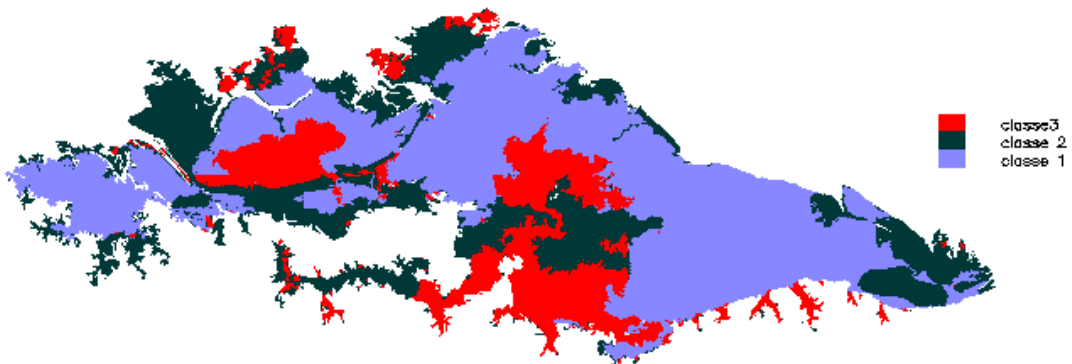


Figura 18 – Mapa temático com as três classes - setembro.

A análise dos mapas gerados permitiu a constatação de que as classes de fato não representavam com exatidão os três diferentes tipos de água existentes. Isso porque, foi possível constatar, por análise visual, que houve problemas de classificação principalmente nas regiões de transição entre as classes. Isso aconteceu em decorrência da edição errada dessas classes, devido a pouca experiência do analista. Esse fato gerou problemas em todos os resultados posteriores.

Outro problema que pode ser visto na classificação de fevereiro é relativo a um erro causado pelo segmentador. Esse por sua vez gerou uma linha reta de transição entre a classe 3 e 2, que pode ser visualizada na parte inferior do mapa temático.

### 4.3 Operação Média Zonal

A operação média zonal obteve como resultado a associação de um valor médio da profundidade do Disco de Secchi para cada uma das classes obtidas na etapa anterior. O objetivo desse procedimento seria o de ver se essas classes, ao apresentar diferentes médias de profundidade do Disco de Secchi, poderiam ser diferenciadas, podendo inferir que tipo de água (preta, branca e clara) cada classe representaria.

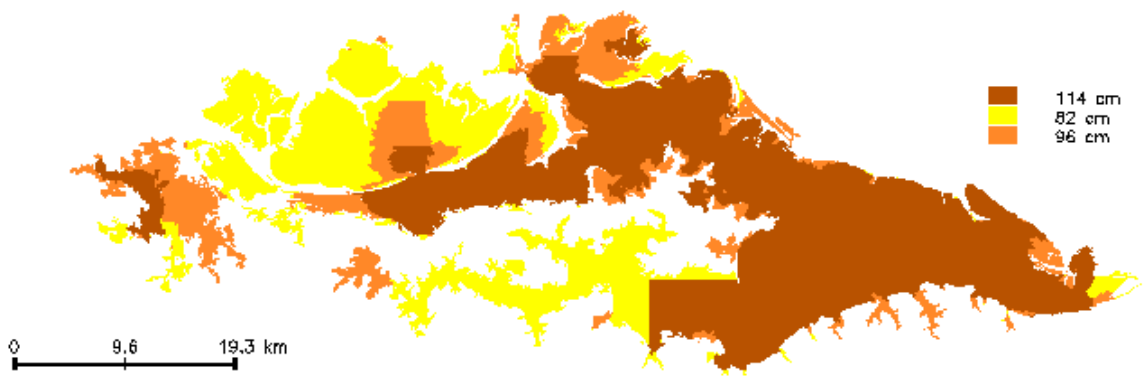


Figura 19 – Valores médios de profundidade do Disco de Secchi obtidos com a utilização da superfície gerada por média simples – fevereiro.

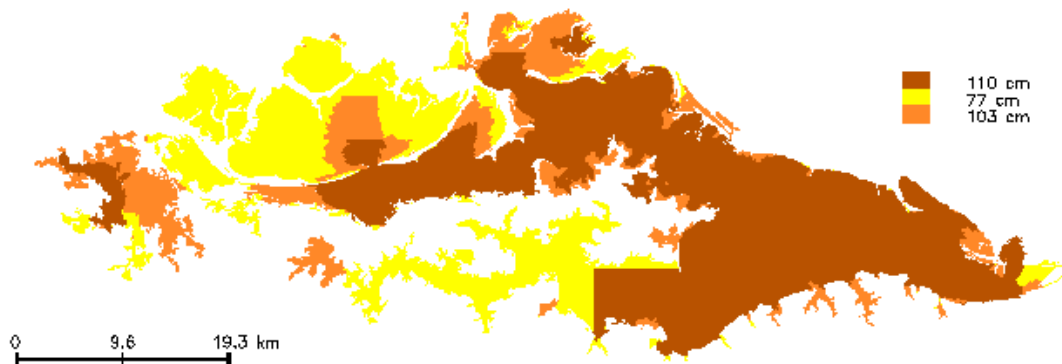


Figura 20 – Valores médios de profundidade do Disco de Secchi obtidos com a utilização da superfície gerada por média ponderada – fevereiro.

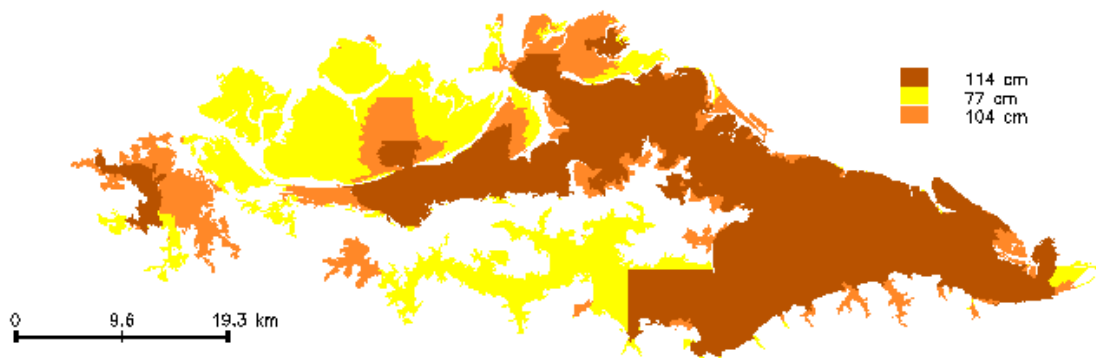


Figura 21 – Valores médios de profundidade do Disco de Secchi obtidos com a utilização da superfície gerada por krigagem ordinária – fevereiro.

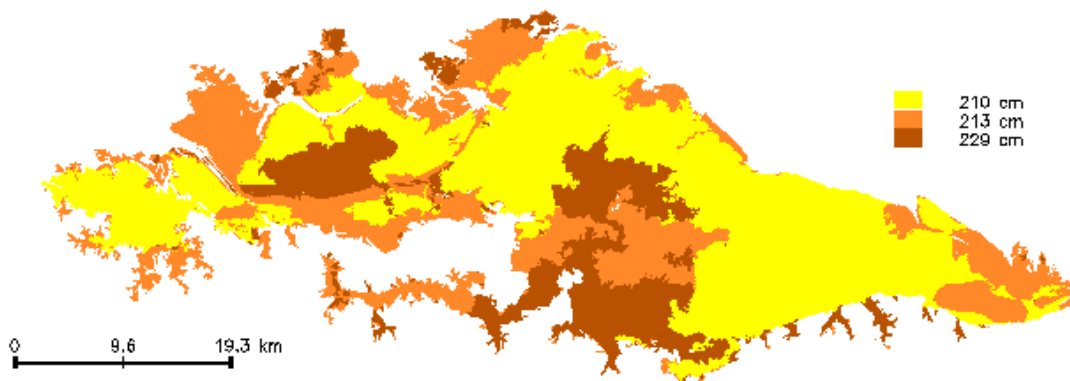


Figura 22 – Valores médios de profundidade do Disco de Secchi obtidos com a utilização da superfície gerada por média simples – setembro.

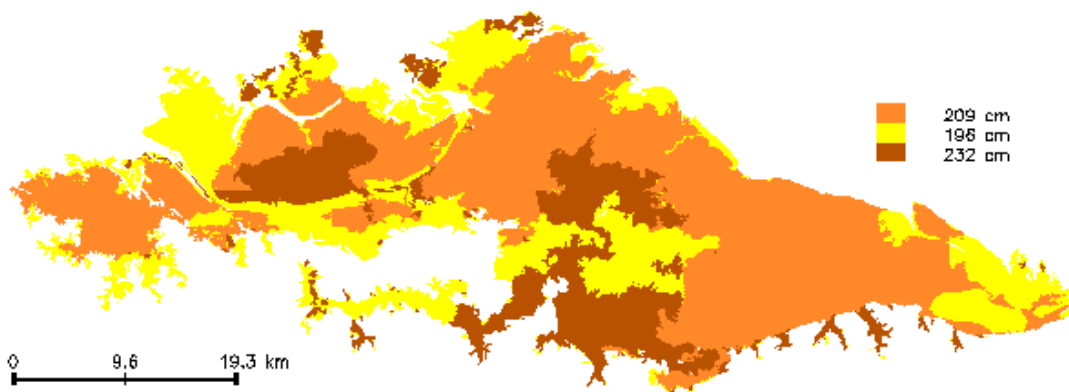


Figura 23 – Valores médios de profundidade do Disco de Secchi obtidos com a utilização da superfície gerada por média ponderada – setembro.

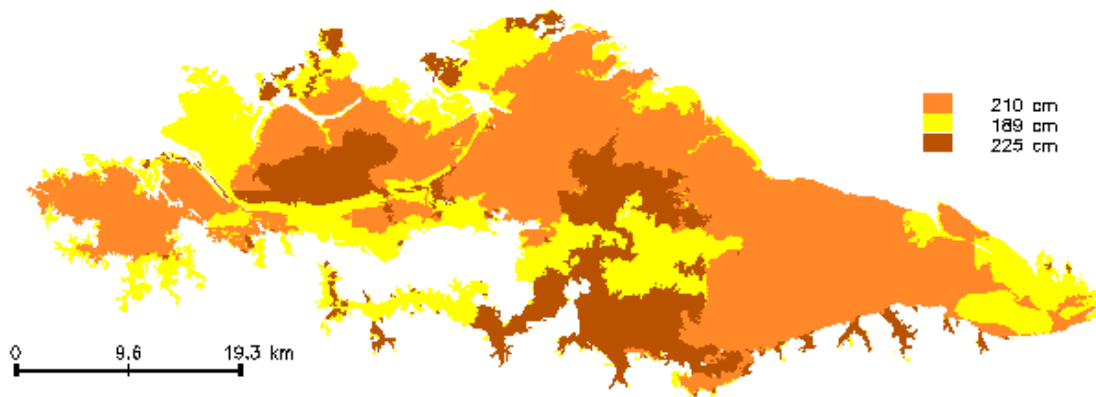


Figura 24 – Valores médios de profundidade do Disco de Secchi obtidos com a utilização da superfície gerada por krigeagem ordinária – setembro.

Os valores médios da profundidade do Disco de Secchi que foram encontrados utilizando-se as superfícies geradas por krigeagem ordinária e média ponderada foram próximos entre si; esse fato reforçou a ideia de que os dois métodos apresentaram resultados próximos. Os valores médios, obtidos a partir da superfície gerada pelo interpolador médio simples, apresentaram-se mais distantes que os obtidos com os demais métodos.

A análise dos resultados não permitiu inferir qual o tipo de água de cada uma das classes, visto que os valores da profundidade média do Disco de Secchi associado a cada classe não foram significativamente diferentes entre si. Porém, não se pode concluir que a profundidade do Disco de Secchi não seja uma boa variável para distinção dos tipos de água, uma vez que o resultado foi influenciado pela etapa de classificação não supervisionada das águas da planície; classificação esta que, conforme discutido no item anterior, não apresentou bom desempenho.

## 5. Considerações Finais

A distribuição e a quantidade das amostras da profundidade do Disco de Secchi levaram as superfícies geradas por krigeagem ordinária e média ponderada a terem resultados próximos. Entretanto, dentre os três métodos utilizados nesse trabalho o da krigeagem ordinária é o mais indicado, isto porque foi constatado que o fenômeno estudado era mais contínuo em uma dada direção (entre 183° e 186°).



Por problemas com o processo de classificação dos diferentes tipos de água da Planície do Lago Grande de Curuai, não foi possível chegar ao objetivo proposto por este trabalho. Os prováveis motivos para isso foram: inexperiência com a aplicação do processo de classificação, pouco conhecimento da área de estudo e dificuldade para diferenciar visualmente os diferentes tipos de água.

Apesar dos problemas apresentados e da dificuldade que existiu para o desenvolvimento desse projeto, pode-se dizer que este teve grande importância por permitir o contato com as técnicas de geoprocessamento (diferentes técnicas de interpolação, operação zonal realizado pelo LEGAL, transformação de planos de informação do modelo temático para o cadastral e criação de tabela), aumentando os conhecimentos do software Spring.

### **Agradecimentos**

Agradeço aos professores Antonio Miguel Vieira Monteiro, Claudio Barbosa e Eduardo Camargo.

## Referências

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto da Dinâmica da Circulação da Água do sistema Curuai/Rio Amazonas**. 2007. 287 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, pp.3-11, 1998.

CAMARGO, E.G. **Desenvolvimento, Implementação E Teste De Procedimentos Geoestatísticos (Krigagem) No Sistema De Processamento De Informações Georreferenciadas (Spring)**. 1997. 124 p. Dissertação (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. **Análise Espacial de Superfícies**. In: FUKS, Suzana Druck; CARVALHO, Marília Sá; CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio Miguel Vieira (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2002.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Transparência**. 2011. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis\\_fisicas/transparencia.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/variaveis/aguas/variaveis_fisicas/transparencia.pdf)> . Acesso em: 10 jun. 2012.

CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C. C. F.; CÂMARA, G. **Álgebra de Campos e Objetos**. In: FUKS, Suzana Druck; CARVALHO, Marília Sá; CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio Miguel Vieira (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2002.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência. 2ª ed., 1998, 602 p.

FELGUEIRAS, C. A; CÂMARA, G. **Modelagem Numérica de Terreno**. In: FUKS, Suzana Druck; CARVALHO, Marília Sá; CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio Miguel Vieira (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2002.

IMAI, N. N.; VICENTE, J.; LIMA, D. L.; TACHIBA, V. M.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, H. E. **Análise Comparativa da Interpolação por Krigagem Ordinária e Krigagem por Indicação no Caso de Ervas Daninhas em Cultura de Soja**. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21, 1996, Salvador.

POMPÊO, M.L.M. **O disco de Secchi**. *Bioikos*, 13(1/2): 40-45, 1999.