

RODRIGO SOUZA BARNECHE

ANÁLISE ESPACIAL DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE EUCALIPTO PARA SUPRIMENTO  
DE MADEIRA EM INDÚSTRIA DE CELULOSE

CURITIBA

2007

RODRIGO SOUZA BARNECHE

ANÁLISE ESPACIAL DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE EUCALIPTO PARA SUPRIMENTO  
DE MADEIRA EM INDÚSTRIA DE CELULOSE

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal do curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Ana Paula Dalla Côte

CURITIBA

2007

## **AGRADECIMENTOS**

A empresa Aracruz Celulose, pelos dados disponibilizados e apoio técnico para o desenvolvimento deste estudo;

Ao amigo Joselito Reis Junqueira, pelas contribuições e ensinamentos compartilhados ao longo desta jornada;

Ao meu filho Gabriel, pela alegria de ser pai;

A Juliana, pelo carinho, companheirismo e amor incondicionais.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. JUSTIFICATIVA.....	2
3. OBJETIVOS.....	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
5. ÁREA DE ESTUDO.....	7
5.1 Localização.....	7
5.2 Clima.....	9
5.3 Fitogeografia.....	10
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
6.1 Modelo Numérico dos Custos de Colheita (MNCC).....	12
6.2 Modelo Numérico dos Custos de Transporte (MNCT).....	13
6.3 Modelo Numérico de Terreno (MNT).....	13
6.4 Modelo Numérico de Aspectos Ambientais (MNAA).....	14
7. RESULTADOS.....	15
8. CONCLUSÕES.....	23
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Encruzilhada do Sul, dentro da Metade Sul do estado do RS.....	8
Figura 2 – Localização detalhada do município de Encruzilhada do Sul – RS.....	9
Figura 3 – (a) Modelo Numérico dos Custos de Colheita; (b) Modelo Numérico dos Custos de Transporte.....	15
Figura 4 – (a) Modelo Numérico de Terreno (SRTM); (b) Modelo Numérico de Declividade (°).....	16
Figura 5 – Modelo Numérico de Aspectos Ambientais.....	16
Figura 6 – Fluxo dos processos geográficos.....	17
Figura 7 – Resultado da classificação do MNCT por Quebras Naturais.....	18
Figura 8 – Resultado da classificação do MNCC por Quebras Naturais.....	19
Figura 9 – Resultado da classificação do MND por Quebras Naturais.....	19
Figura 10 – Resultado da classificação do MNT por Quebras Naturais.....	20
Figura 11 – Mapa de Regiões Prioritárias.....	22

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Produção florestal do município de Encruzilhada do Sul.....	8
Tabela 2 – Resumo climático do município de Encruzilhada do Sul.....	9

## RESUMO

A priorização dos melhores locais para implantação de florestas de eucalipto para produção de celulose requer o conhecimento prévio de alguns fatores críticos para o investimento, como custos e legislações, além de outros fatores sócio-ambientais para sua melhor definição e quantificação. Utilizando-se de dados sobre custos de colheita e transporte florestais, aliados a informações sobre o relevo e meio ambiente, este trabalho apresenta um estudo de caso de como o SIG, mais especificamente a Análise Espacial, pode contribuir no apoio à tomada de decisões estratégicas, quando se pensa em prospectar locais adequados para o cultivo de florestas. O município de Encruzilhada do Sul – RS foi escolhido para o desenvolvimento desse estudo, por já apresentar uma base florestal consistida, com plantios, empresas e mão-de-obra qualificada nas proximidades da sede do município, além da boa ligação rodoviária até a unidade fabril consumidora. Além do mais, por possuir uma Unidade de Conservação completamente inserida nos seus limites, o município de Encruzilhada do Sul reúne as condições ideais para elaboração de um trabalho que vise a sustentabilidade. Ao final da análise, foi identificado aproximadamente 44% do município como região prioritária para busca de novas terras para o cultivo de eucalipto. As demais regiões apresentam restrições ao cultivo, e devem ser melhor analisadas com relação aos possíveis impactos que uma ocupação com silvicultura pode causar. A utilização do SIG permite a introdução de novas ferramentas de cálculos, até então inoperáveis nas análises das atividades florestais.

Palavra-chave: Análise Espacial, Modelagem Numérica, Custos de Colheita e Transporte Florestal

## ABSTRACT

To define and quantify the best sites to new *eucalyptus* plantations for pulp production, it's require the knowledge of some critical factors, as costs and regulations, such as others social and environmental factors. Using transport and harvest costs data combined with relief and environmental data, this paper shows a case of study where the GIS, in particular Spatial Analysis, can contribute to help the decision taking for new areas for forest production. The municipality of Encruzilhada do Sul was chosen to develop this study, cause it has a large forest culture, with jobs and employees in the downtown. Moreover, the Podocarpus State Park, an important conservation unit, are within the boundary of municipality. This facts are enough to develop a sustainability study. Analysis results a 44% of municipality as best site to produce eucalyptus for pulp production. The other region represents some restrictions, and need a more detailed analysis of impacts on financial and environmental aspects. The GIS use provides new calculation tools, non-operated in forest analysis up to that time.

Keywords: Spatial Analysis, Numeric Modeling, Harvest and Transport Costs

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade de implantação florestal, em especial o plantio florestal para suprimento de indústrias de celulose, passa atualmente por um momento de evidência no cenário nacional, seja pelo anúncio de grandes investimentos em plantios florestais e construção de indústrias, ou seja pelas manifestações extremas de classes sociais e entidades ambientais contrárias aos investimentos. As ações de todas as partes têm conotações ideológicas e ambientais, mas devem ser pautadas por estudos técnicos que norteiem o caminho da sustentabilidade. A Análise Espacial, como um produto de um SIG, permite, dentre outras possibilidades, o mapeamento de regiões estratégicas servindo como apoio à tomada de decisão, quando se pensa nas melhores áreas para ocupação do solo com o cultivo de espécies exóticas, considerando diversos aspectos limitantes e restritivos.

O Brasil ocupa hoje lugar de destaque nas exportações mundiais de celulose, apresentando a maior taxa de crescimento entre os países exportadores (período de 1993 a 2002), podendo em breve, pelas projeções, ser o maior exportador mundial de celulose em termos de valor exportado (VALVERDE et al., 2006). Esse fato, aliado a alta qualidade tecnológica dos clones de *Eucalyptus* utilizados atualmente pelas grandes produtoras de celulose no Brasil (GOMIDE et al, 2005) e a vocação natural do país para o agronegócio, fazem do setor florestal e suas indústrias de beneficiamento um dos mais promissores setores da economia brasileira para as próximas décadas.

Desta forma, quando se pensa em investir na formação de novos povoamentos florestais, é preciso avaliar a viabilidade econômica do negócio, identificar as restrições ambientais pertinentes e, sempre que possível, buscar o desenvolvimento regional, identificando fornecedores e utilizando mão-de-obra local. Assim, o empreendimento terá um bom alicerce na busca do atendimento das premissas da sustentabilidade, servindo de embasamento para todas as questões acerca dos plantios florestais.

## 2. JUSTIFICATIVA

A simulação de cenários e a identificação de regiões prioritárias para investimentos são de grande valia para o planejador florestal. Não somente saber o *quanto* e *como* investir, mas principalmente o *onde* investir faz do SIG a ferramenta ideal para esse tipo de análise. Possíveis restrições ambientais e considerações sobre distâncias rodoviárias (unidade fabril e pólo de mão-de-obra, neste caso) são modeladas no ambiente do SIG, de forma prática, seguindo uma hierarquia de processos, permitindo que essas variáveis espaciais sejam ponderadas numa análise global na modelagem final. A técnica de Análise Espacial é amplamente utilizada como apoio em análises ambientais, porém análises que integram fatores econômicos e sociais ainda são escassos na literatura. Justifica-se também o desenvolvimento desse estudo pela carência de informações acertadas sobre esse tipo de análise.

### **3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo Principal**

Realizar o mapeamento da viabilidade técnica e sócio-econômica da produção de eucalipto para celulose no município de Encruzilhada do Sul – RS, a partir da sobreposição ponderada de planos de informação.

#### **Objetivos Específicos**

- Mapear os custos de colheita, considerando a sede do município de Encruzilhada do Sul como pólo de mão-de-obra;
- Mapear os custos de transporte da madeira até a unidade fabril;
- Modelar aspectos de relevo e clima restritivos à produção florestal;
- Identificar obstáculos na legislação vigente e modelar restrições, limitando a região de estudo.

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Empresas de base florestal são hoje, dentro do setor privado, os maiores usuários de dados GIS. A tecnologia GIS é utilizada nessas empresas para melhorar o manejo dos recursos florestais, colaborando na sustentação dos lucros e apoiando a tomada de decisões operacionais e estratégicas, além de ajudar no cumprimento das legislações conservacionistas, fundiárias e fiscais, pertinentes à atividade florestal. O uso de tecnologias GIS é crescente dentro de companhias de base florestal. Os mapas utilizados em suas análises variam de escalas na ordem de 1:2.000, para talhões individuais, até 1:50.000, para estudos que considerem áreas de maior abrangência. Essas empresas necessitam bases de dados com informações tridimensionais, com o propósito de analisar as condições de declividade, erodibilidade potencial, sedimentações e exploração econômica (MONTGOMERY e SCHUCH, 1993). Cita-se também o enfoque ambiental para que a tecnologia GIS tem sido utilizada nos estudos florestais. A análise espacial, associada às outras informações espaciais, como imagens de satélite, são de grande valia em estudos tanto de exploração, como de recuperação florestal, que encontram nas técnicas analíticas ferramentas poderosas no desenvolvimento estudos e programas ambientais (ESPÍRITO-SANTO et al., 2004; LUZ, 2002)

A Análise Espacial é cada vez mais utilizada no estudo de soluções para o planejamento florestal. Também referida como Análise Quantitativa por MONTGOMERY e SCHUCH (1993), a Análise Espacial utiliza-se de dados espaciais e técnicas analíticas associadas à entidades geográficas, considerando suas dimensões espaciais e suas correlações com outras entidades. As Análises Quantitativas são aquelas onde se podem realizar as medidas dos benefícios, podendo ser expressos em termos econômicos ou classificação ordinal. Na atividade florestal, esse tipo de análise é utilizado quando há uma dificuldade na qualificação do objeto de estudo (determinação de blocos de exploração florestal, dinâmica evolutiva da vegetação, entre outros exemplos), mas podem ser facilmente quantificados em ambiente GIS, atribuindo-se pesos aos objetos em análise (CABRAL e JUSOF, 2001; BENEDETTI et al., 2006; MONTGOMEY e SCHUCH, 1993).

O processo de tomada de decisão é formado por uma escolha, dentre várias alternativas. A tomada de decisão geográfica significa a análise e interpretação da componente espacial e sua relação com as alternativas em questão. Por se tratar de uma análise multidisciplinar, onde vários critérios podem ser analisados, existem dois obstáculos para uma análise adequada dentro de um processo de tomada de decisão: O primeiro é encontrar

critérios compreensivos. O segundo é determinar qual critério é mais importante que o outro, e sua relevância, seu peso na busca pelo objetivo (HUSDAL, 1999).

O propósito no uso de pesos é expressar a importância, ou preferência, de cada critério relativo aos outros critérios analisados. As alternativas são normalmente determinadas por restrições, que limitam o espaço de decisão das alternativas possíveis. As regras de decisão integram critérios, pesos e preferências, para gerar uma classificação global das alternativas. As recomendações são baseadas em um *ranking* de alternativas, com referência a possíveis incertezas ou sensibilidades. Sensibilidades são mudanças na entrada de alternativas na análise, que guiam as consequências (HUSDAL, 1999).

Dentro do ambiente GIS, a Análise Espacial utiliza-se basicamente de dados *raster*, ou *grid*, como base para os cálculos. Este tipo de dado é obtido a partir da construção de modelos numéricos, que nada mais são do que a representação matemática de fenômenos, em formato matricial. Normalmente, os modelos numéricos representam fenômenos que variam continuamente dentro de uma região determinada. Dados de relevo, informações meteorológicas, informações geológicas e dados geofísicos são exemplos típicos de fenômenos representados por modelos numéricos (FELGUEIRAS, 2000).

O uso de interpoladores é amplamente aplicado em ambiente GIS para geração de dados raster. Os interpoladores estatísticos, ou estocásticos, costumam apresentar melhores resultados com relação aos interpoladores determinísticos, por considerarem a dependência espacial entre as amostras, apresentando uma solução estatística ótima (JUNIOR et. al., 2006). Porém, alguns estudos demonstram que a aplicação de interpoladores determinísticos, dependendo do fenômeno a ser interpolado, pode apresentar resultados tão satisfatórios quanto os resultados dos interpoladores estatísticos (SILVA et. al., 2007). Ou seja, apesar de um interpolador determinístico poder apresentar uma elevada eficiência, ele não garante que a eficiência seja mantida, caso uma nova amostragem fosse realizada, ao contrário dos métodos geoestatísticos (JUNIOR et. al., 2006; CARVALHO E ASSAD, 2005).

O interpolador determinístico mais comumente utilizado é o IDW, da sigla em inglês de *Inverse of Distance Weighted*, também conhecido com Inverso da Distância Ponderada, ou Inverso da Distância Euclidiana. Nesse interpolador, o valor da cota de cada elemento (*pixel*) da grade regular (*raster*) é definido pela média ponderada dos valores de cota das amostras vizinhas, dado pela seguinte equação (FELGUEIRAS, 2000):

$$w_{ij} = 1/d_{ij}^k \quad (1.1)$$

Onde  $k$  é o expoente da distância, geralmente igual a 1 ou 2, e  $d_{ij}$  é o valor de distância da amostra  $j$  ao ponto  $i$  da grade, expresso por:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1.2)$$

O interpolador IDW não é exato. Quando um ponto da malha é calculado, os pesos atribuídos às amostras são fracionários, porém sua soma é um. Se qualquer observação é coincidente com uma amostra da malha, a distância entre essa observação e a amostra é zero com peso um, enquanto para as demais observações o peso é zero. O IDW é muito utilizado em diversas aplicações por se tratar de um método rápido de interpolação (CARVALHO apud ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). Devido a solução matemática ser linear, mais simples, portanto, O IDW é bastante popular em softwares GIS, comerciais ou livres.

## 5. ÁREA DE ESTUDO

### 5.1 Localização

O município de Encruzilhada do Sul está situado na porção sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, na mesorregião econômica definida como Metade Sul do Rio Grande do Sul conforme Figura 1. Com área total de 3.439 km<sup>2</sup> e população de 24.860 habitantes (IBGE, 2004) o município tem na atividade agropecuária sua principal vocação econômica. Está localizado entre as coordenadas 30°12'34"S/ 52°39'26"W ao norte, 30°57'47"S/ 52°38'08" ao sul, 30°40'59"S/ 52°59'41"W a oeste e 30°41'28"S/ 52°20'06" a leste e, tem como principal via de transporte a RS-471, que interliga a BR-290 a BR-392, esta última uma importante via de escoamento de produtos agrícolas até o porto marítimo de Rio Grande.

A atividade florestal no município é evidenciada pelo grande volume de divisas geradas, resultado da atuação de algumas das maiores empresas do município e do país (ENCRUZILHADA DO SUL, 2007). Citam-se como exemplos locais as empresas Forjasul Indústria de Madeiras, Corema Indústria de Madeiras, Dois A Transporte e Exploração florestal, Maggioni Madeiras, além da Aracruz Celulose. As plantações florestais de eucalyptus, pinus e acácia negra, principais essências florestais cultivadas no município, têm aproximadamente 17% de participação no PIB agropecuário, distribuídos em produtos conforme vemos na Tabela 1 abaixo.

A produção florestal de madeira para celulose demonstra uma pequena participação no PIB. Porém, pela participação que outros produtos têm, demonstra-se que o município apresenta uma boa base florestal estabelecida, o que pode ser uma boa oportunidade quando se busca ampliar a base florestal. A reversão de uso em função do produto deve significar sempre um melhor manejo da terra e dos recursos florestais, objetivando uma produção sustentável.

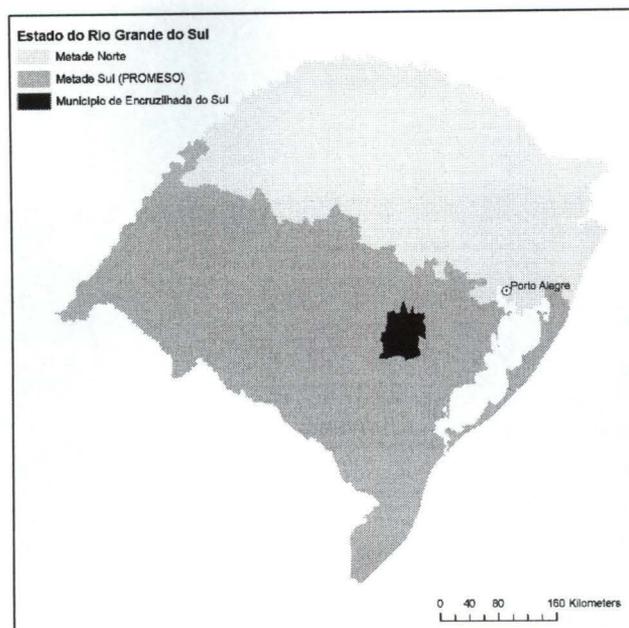


Figura 1 – Localização do município de Encruzilhada do Sul, dentro da Metade Sul do estado do RS.  
 Figure 1 – The Encruzilhada do Sul municipality location, inside the South-Half of RS state.

Tabela 1 - Produção florestal do município de Encruzilhada do Sul  
 Table 1 - Timber and forest production at Encruzilhada do Sul.

Produtos da Silvicultura	Quantidade Produzida	Valor da produção	% PIB Agropec.	% PIB Total
Carvão Vegetal	11 t	R\$ 4.000	0,00%	0,00%
Lenha	523.448 m <sup>3</sup>	R\$ 11.516.000	13,44%	6,63%
Toras (celulose)	146.150 m <sup>3</sup>	R\$ 2.485.000	2,90%	1,43%
Toras (outros)	15.480 m <sup>3</sup>	R\$ 402.000	0,47%	0,23%
Acácia (casca)	300 t	R\$ 25.000	0,03%	0,01%

Fonte: adaptado de IBGE, 2005



### 5.3 Fitogeografia

Inserida no Bioma Pampa, a região definida como Serra do Sudeste por Rambo (1957) representa a fisionomia do município. A variação desde as regiões geomorfológicas do Planalto Sul-Riograndense e a Depressão Central Gaúcha, indica a grande variação de relevos ao longo da extensão de Encruzilhada. Orograficamente, predominam as elevações do tipo taludes marginais, com as serras de Caçapava, Encruzilhada e do Herval. Hidrograficamente, pertence as bacias hidrográficas do Baixo-Jacuí e do Camaquã, escoando suas águas no oceano através da Lagoa dos Patos.

Dentro do Planalto Sul-Riograndense, a região fitoecológica definida como Savana divide-se em dois tipos: Savana Parque e Savana Gramíneo-Lenhosa com Floresta de Galeria. O primeiro caracteriza-se por apresentar relevo forte ondulado até montanhoso, solos rasos (Litólicos e Podzólicos) com afloramentos rochosos, muito susceptíveis à erosão. Estrato herbáceo (gramíneas cespitosas e rizomatosas) sobre o qual se distribuem, de forma isolada ou pouco agrupada, espécies arbóreas e arvoretas e, ainda, florestas de galeria. O segundo apresenta relevo ondulado a forte ondulado, solos Litólicos, rasos com afloramentos de rocha. Caracteriza-se por ter um tapete herbáceo (gramíneas cespitosas) com espécies arbóreas esparsas.

Na Depressão Central Gaúcha, a região fitogeográfica Savana Gramíneo-Lenhosa ocorre numa pequena porção ao norte do município de Encruzilhada do Sul, caracterizando-se por apresentar relevo suave ondulado e solos Podzólicos profundos ou hidromórficos, apresentando igualmente um tapete herbáceo (gramíneas cespitosas e rizomatosas), com espécies arbóreas mais isoladas no campo, e mais concentradas na vegetação ciliar dos cursos d'água.

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso desse trabalho é dado a partir da demanda por madeira de eucalipto para suprimento de uma fábrica de celulose localizada no município de Guaíba – RS, distante aproximadamente 170 km da sede do município de Encruzilhada do Sul.

Para se quantificar os custos de produção ao longo de toda a extensão do município, é preciso ter valores, conhecidos ou estimados. Para tanto, utilizou-se a rede viária para distribuição dos pontos amostrais e posterior interpolação para geração dos mapas. Os custos de colheita e transporte, fatores considerados para esse estudo de caso, são influenciados por inúmeras variáveis, porém, neste trabalho buscou-se apenas o efeito que a localização dos povoamentos causa nesses custos. As considerações sobre o relevo da região, expresso pelas variações de altitude e declividade, são analisadas sobre um MNT (Modelo Numérica de Terreno), e sua derivação de declividade, aqui tratada como MND (Modelo Numérico de Declividade).

A base cartográfica utilizada nesse estudo advém da vetorização manual da rede viária de cartas topográficas DSG, em escala 1:50.000. As seguintes cartas foram utilizadas para esta análise: Folha SH.22-Y-A-III-3, MI 2984/3 (Arroio Capané), Folha SH.22-Y-A-III-4, MI 2984/4 (Boa Vista), Folha SH.22-Y-B-I-3, MI 2985/3 (Capivarita), Folha SH.22-Y-A-VI-1, MI 2997/1 (Cerro da Árvore), Folha SH.22-Y-A-VI-2, MI 2997/2 (Encruzilhada do Sul), Folha SH.22-N-I-2, MI 2984/2 (Pederneiras), Folha SH.22-Y-B-IV-1, MI 2998/1 (Delfino), Folha SH.22-Y-A-VI-3, MI 2997/3 (Figueiras), Folha SH.22-Y-A-VI-4, MI 2997/4 (Vau dos Prestes), Folha SH.22-Y-B-IV-3, MI 2998/3 (Amaral Ferrador).

No caso desta análise, foi considerado apenas o nível de informação estradas, com a topologia de rede devidamente estabelecida, ou seja, a conectividade entre os nós dos arcos de estradas deve ser perfeita para que todos os trechos possam ser analisados e considerados para efeito de cálculo. Os dados vetorizados das cartas topográficas são as bases para o cálculo dos tempos de deslocamento para a distribuição dos pontos amostrais. Estes, após interpolados, irão gerar modelos numéricos necessários para a análise espacial integrada.

Para desenvolvimento e apresentação dos resultados deste estudo, foram utilizados os softwares *Network Analyst Extension*, para o cálculo da localização dos pontos amostrais dos custos operacionais sobre a rede viária, e o *Spatial Analyst Extension*, para o cálculo dos modelos numéricos matriciais. Dentro do ambiente do software ArcGIS (ESRI) é possível estabelecer uma organização prática dos processos para desenho, construção e manutenção das análises e seus resultados, a partir de fluxogramas. Desta forma, ficam facilitadas

as possíveis inferências posteriores nas análises, podendo gerar múltiplos cenários e opção para auxiliar as decisões estratégicas.

### 6.1 Modelo Numérico dos Custos de Colheita (MNCC)

A colheita juntamente com o transporte são, dentro de uma empresa de base florestal, os maiores custos dentro do processo de produção de madeira. Para o mapeamento do custo de colheita, foi considerado o deslocamento diário dos trabalhadores florestais até as frentes de trabalho. O custo foi definido em função da hora viajada a partir da sede do município (pólo de mão-de-obra) até o horto florestal. Quanto mais se distância do pólo, mais aumenta o tempo de viagem (deslocamento), impactando diretamente no total de horas de efetivo trabalho, influenciando no custo final da colheita. Os custos foram obtidos a partir de valores para distâncias conhecidas, em hortos florestais já manejados por dois ou mais ciclos (reforma) e rotações (rebrotas). Os custos de colheita em função da hora viajada são resultado de uma combinação dos custos de corte, roçada, descasque, baldeio e carregamento, expressos em reais por metro estéril (R\$/st).

Para distribuição dos pontos amostrais, foi utilizada a base vetorial de estradas. Como o fator a ser considerado é o *tempo* e não a *distância*, e esse tempo de deslocamento é variável conforme diversos fatores, dentre eles o tipo de pavimentação da estradas, foi preciso estimar o tempo médio para cada trecho de estrada, em função do tipo de pavimentação (saibro e asfalto). A partir dessa modelagem de tempo, foi alocado um ponto amostral automaticamente a cada quinze minutos (ida e volta) de deslocamento, partindo-se sempre da sede do município para o interior.

O MNCC foi concebido a partir de uma interpolação linear dos pontos amostrais. Desta forma, os valores máximos e mínimos dos custos estão dentro da própria amostra, não havendo extrapolações de valores, minimizando a subjetividade do modelo. O interpolador IDW, também conhecido como Inverso da Distância Ponderada, foi utilizado para construção do MNCC. Esse interpolador assume que o modelo numérico é guiado por variações locais, definidas de acordo com a vizinhança (quanto menor a distância entre as amostras, maior a sua inter-relação) dos pontos.

## **6.2 Modelo Numérico dos Custos de Transporte (MNCT)**

Analogamente ao processo utilizado anteriormente, o mapeamento dos custos de transporte difere do MNCC em função do foco, ou seja, do ponto de partida para distribuição dos pontos amostrais. A distribuição agora é realizada a partir da principal via de acesso do município, a RS-471, estrada asfaltada que liga a sede do município à principal via de acesso (BR-290) ao município de Guaíba, local da unidade fabril. Tanto como no transporte dos trabalhadores das frentes de colheita, realizado em ônibus, como no transporte da madeira realizado em caminhões truck, as velocidades médias consideradas para estradas não asfaltadas foram a metade das velocidades consideradas para estradas asfaltadas.

Diferentemente do conceito anterior, onde o custo era derivado da combinação de várias atividades, o custo de transporte leva em consideração somente o custo da atividade de transporte da madeira desde a pilha no talhão florestal, até a porteira de entrada da madeira na fábrica.

Os custos de transporte também foram obtidos a partir de valores conhecidos para distâncias pré-determinadas, e ajustados dentro de uma análise de regressão linear, extrapolando-se os valores para toda a região de estudo.

O MNCT também foi construído a partir do interpolador IDW, seguindo a mesma lógica e apresentando a mesma coerência com o MNCC.

## **6.3 Modelo Numérico de Terreno (MNT)**

Para as considerações sobre o relevo e a declividade, foi utilizado como MNT os dados resultante da missão espacial SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), realizada em 2000, num esforço conjunto das Agências Espaciais Americana, Alemã e Italiana. Os dados da missão SRTM apresentam resolução espacial de 3 arcos de segundo e estão disponíveis para utilização em trabalhos e pesquisas gratuitamente (NASA, 2004). Considerando-se a latitude média do município de Encruzilhada do Sul (-30°), a resolução espacial do MNT é de aproximadamente 80 metros.

A utilização desse tipo de informação derivada (SRTM) favorece muito a análise, no sentido de customização do tempo e dos recursos despendidos na aquisição de dados. Além do enorme esforço que demandaria a vetorização de curvas de nível, por exemplo, para geração de um MNT, a resolução espacial de 80

metros é completamente compatível com a escala de estudo, sendo necessárias apenas pequenas operações de álgebra de mapas para sua adequação aos demais modelos numéricos. Cita-se a praticidade na consideração de outros aspectos de relevo, como a declividade, aqui representada pelo Modelo Numérico de Declividade (MND).

#### **6.4 Modelo Numérico de Aspectos Ambientais (MNAA)**

Considerando a escala de mapeamento (1:50.000) dos produtos cartográficos utilizados nesse estudo, as questões definidas pela Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, mais as resoluções 302/2002 e 303/2002 do CONAMA, que dispõem sobre os parâmetros, definições e limites das Áreas de Preservação Permanentes, ficam sem o devido detalhamento para sua plena consideração neste estudo. Entretanto, questões que considerem as Unidades de Conservação e suas respectivas Zonas de Amortecimento são perfeitamente atendidas no que diz respeito à sua consideração na Análise Espacial, dentro do contexto e escala propostos.

Assim sendo, o Parque Estadual do Podocarpus, localizado em sua totalidade no município de Encruzilhada do Sul, instituído pelo Decreto 23.798 de 12 de março de 1975, dividido em duas áreas descontínuas que juntas somam 3.645 hectares, deve ser considerado como fator restritivo dentro da análise. Desta forma, a área do Parque dentro do MNAA funcionará como uma espécie de “máscara”, ficando excluída da análise. As Zonas de Amortecimento são definidas pela metodologia de *buffers*, onde zonas são delimitadas com base em uma ou mais distâncias pré-definidas.

O MNAA é, na verdade, um modelo discreto, por ter valores inteiros e independentes entre si, diferentemente dos demais modelos numéricos até aqui apresentados, com valores que variam continuamente no espaço, gerados com base na relação posicional das amostras. Desta forma, o MNAA é o único modelo que não precisa ser reclassificado para poder ser utilizado na análise espacial integrada. Pela ausência de um Plano de Manejo para o Parque Estadual do Podocarpus, optou-se por definir três distâncias para parametrização de restrições: 1 - até 5 km da UC; 2 - de 5 a 10 km da UC; 3 - mais que 10 km da UC.

## 7. RESULTADOS

Definidos os métodos de interpolação e de posse dos pontos amostrais de custos, foram construídos os modelos numéricos dos custos de colheita e transporte. Os demais modelos numéricos, que não necessitavam de interpolações para sua inclusão na análise, também têm seus resultados apresentados a seguir:

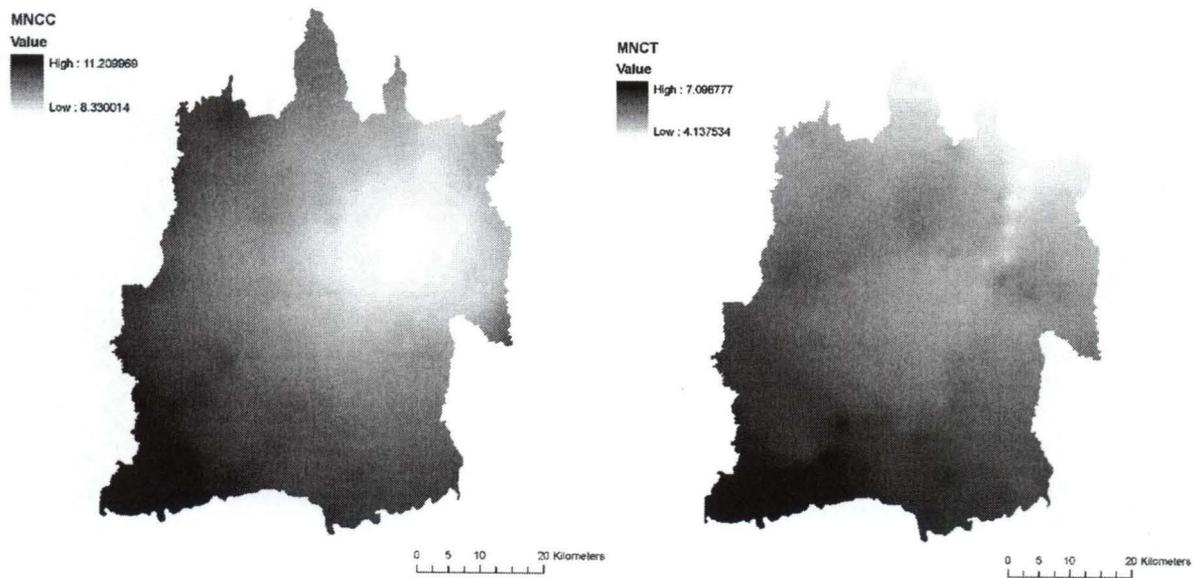


Figura 3 – (a) Modelo Numérico dos Custos de Colheita; (b) Modelo Numérico dos Custos de Transporte.  
*Figure 3 – (a) Numerical Model of Harvest Costs; (b) Numerical Model of Transport Costs.*

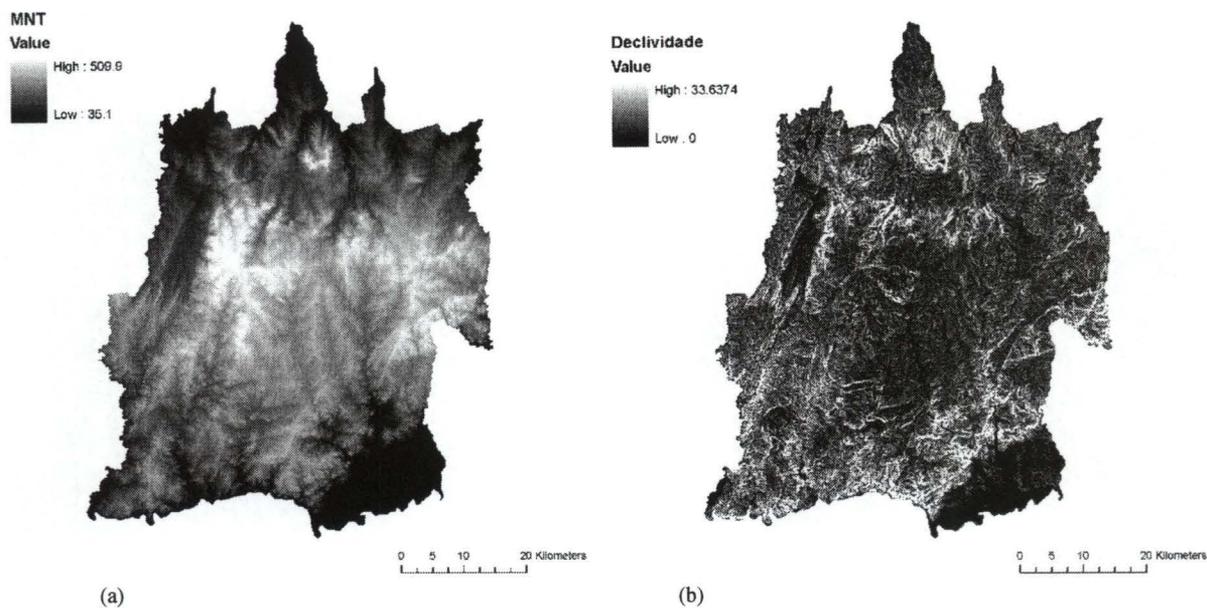


Figura 4 – (a) Modelo Numérico de Terreno (SRTM); (b) Modelo Numérico de Declividade (°).  
 Figure 4 – (a) Numerical Model of Terrain (SRTM); (b) Numerical Model of Slope (°).

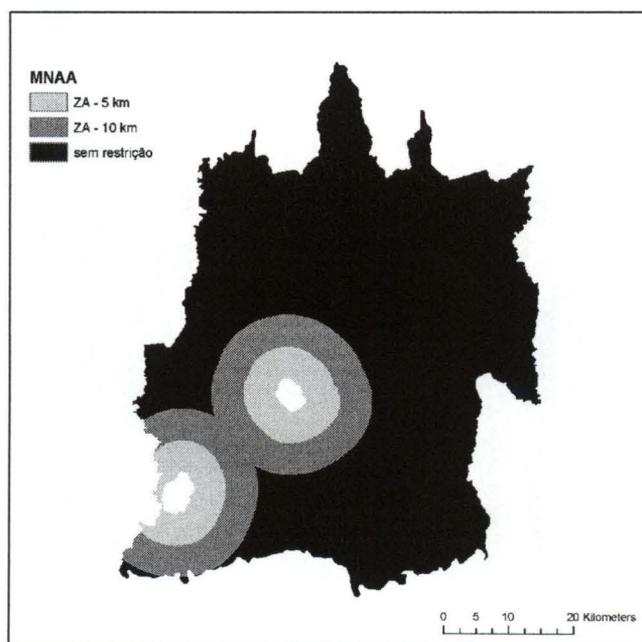


Figura 5 – Modelo Numérico de Aspectos Ambientais  
 Figure 5 – Numerical Model of Environmental Aspects

As análises para obtenção do mapa final, apresentando a viabilidade de produção, são todas realizadas a partir de modelos numéricos matriciais. Desta forma, a combinação das informações para quantificar as áreas de interesse e definir zonas é facilitada. A definição de áreas prioritárias são de difícil qualificação, mas podem ser facilmente quantificadas utilizando-se a metodologia de escores (CABRAL e JUSOF, 2000), conhecida também como ponderação (atribuição de pesos).

Para facilitar a manipulação dos dados e obter o Mapa de Regiões Prioritárias, objetivo final deste trabalho, todos os processos geográficos foram organizados em forma de fluxograma, de forma a poder otimizar os processos, e realizar eventuais ajustes durante o processamento. A ferramenta conhecida como *Model Builder*, do ArcGIS, possibilita esse tipo de acompanhamento. A partir da definição dos dados de entrada e dos parâmetros das ferramentas para tratamento dos dados, todo o processo fica mapeado, conforme a figura a seguir:

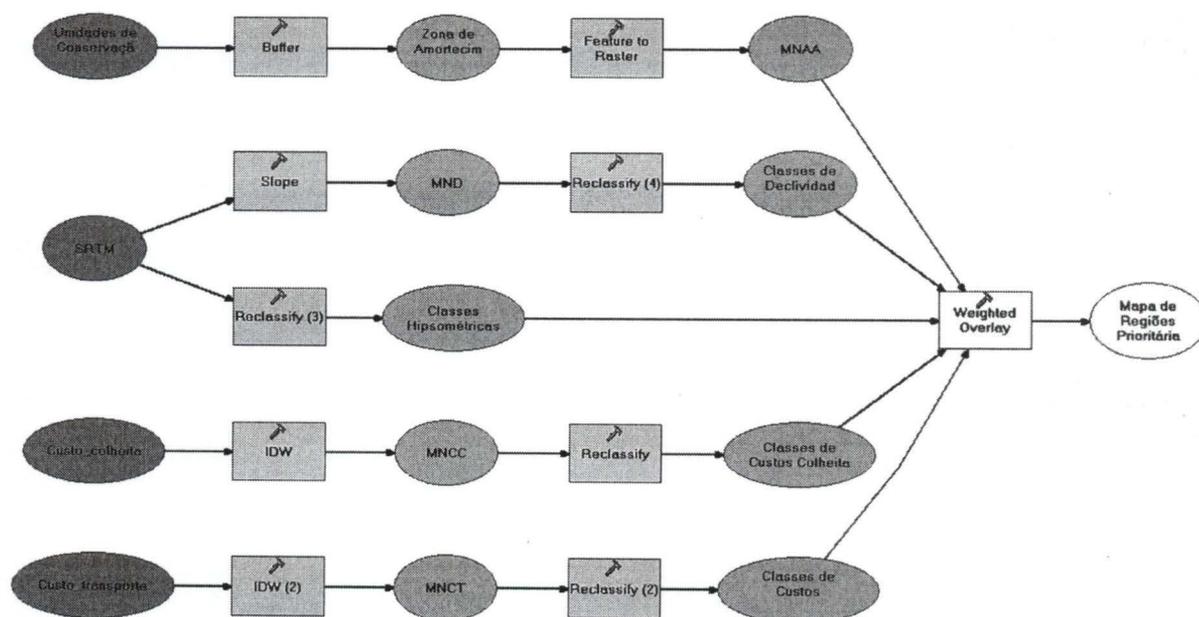


Figura 6 – Fluxo dos processos geográficos  
 Figure 6 – Geographical processes workflow

Para que se possa trabalhar a questão de definição de pesos, se faz necessária uma reclassificação dos modelos que apresentam fenômenos contínuos, que é o caso de todos os modelos aqui apresentados, excetuando-se o MNAA. A classificação prévia dos dados objetiva estruturar os padrões mapeados, para permitir a compreensão sobre o comportamento do fenômeno, porém, alguns detalhes podem ser perdidos, em função da generalização das informações (ROBBI, 1996). É importante, portanto, que a reclassificação dos dados demonstre da melhor forma a distribuição espacial dos valores, representando a realidade de forma plausível.

Assim sendo, dentre os diversos métodos de classificação possíveis, foi escolhido o método das Quebras Naturais. Este método utiliza o algoritmo de Jenks-Caspall para a definição do número de classes, e dos intervalos de cada classe. As classes são estabelecidas a partir das quebras identificadas pelo ordenamento dos atributos, resultando em classes com valores próximos enquanto as diferenças entre as classes são maximizadas. O algoritmo agrupa os atributos baseado na menor erro possível, definido pela soma absoluta dos desvios da classe mediana ou, alternativamente, a soma quadrada dos desvios da classe média (ESRI, 2004). O método das Quebras Naturais tem um conceito de cálculo e entendimento fáceis, porém não pode ser utilizado para dados ordinais.

Uma vez definidos os parâmetros para classificação dos modelos numéricos, inicia-se os processos definidos no fluxograma para obtenção do mapa final. O resultado final da classificação de todos os modelos, bem como o peso atribuído para cada classe, são apresentados a seguir:

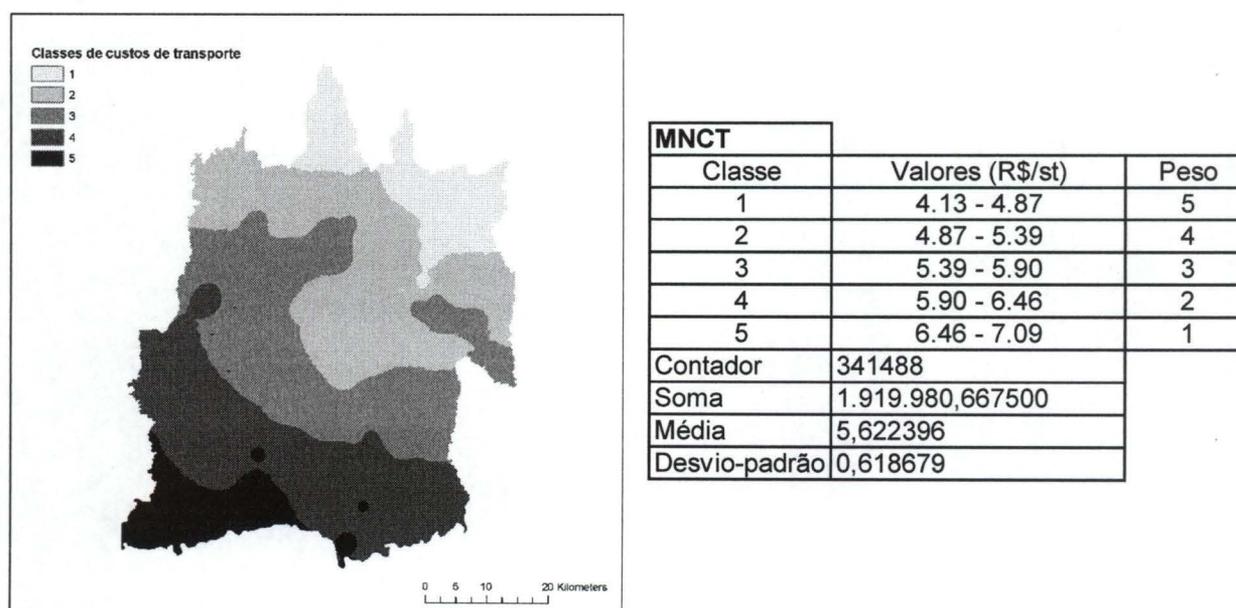
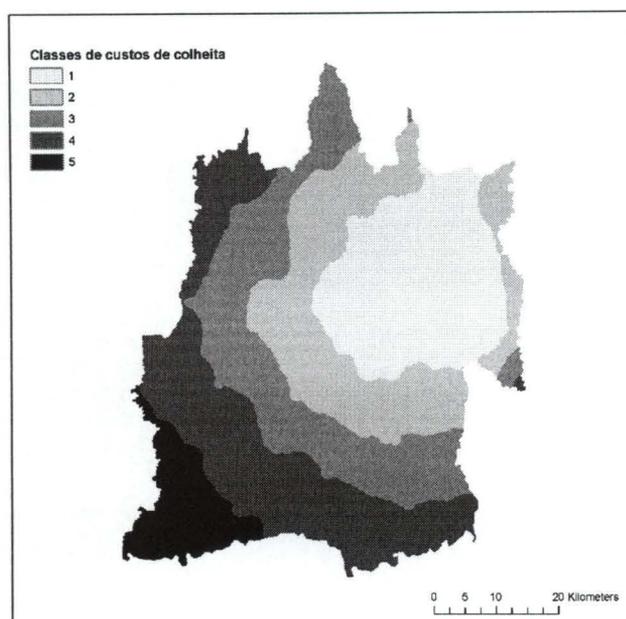


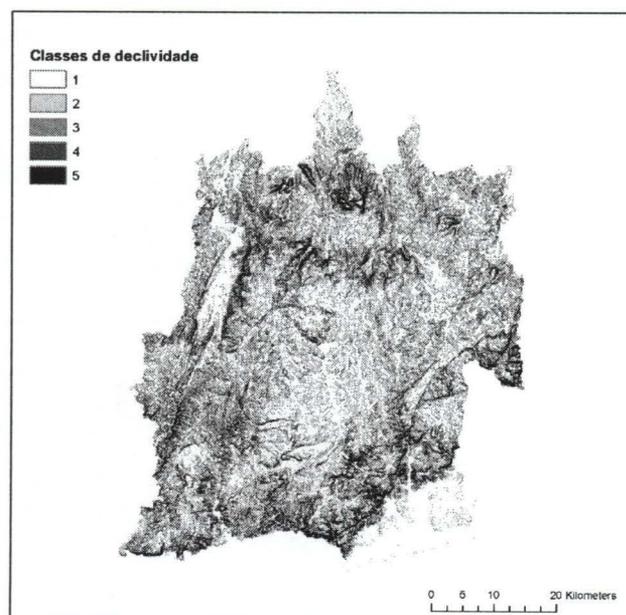
Figura 7 – Resultado da classificação do MNCT por Quebras Naturais  
 Figure 7 – Results of MNCT classification by Natural Breaks (Jenks)



MNCC		
Classe	Valores (R\$/st)	Peso
1	8.33 - 8.89	5
2	8.89 - 9.38	4
3	9.38 - 9.89	3
4	9.89 - 10.45	2
5	10.45 - 11.20	1
Contador	341690	
Soma	3.250.983,29650	
Média	9,514423	
Desvio-padrão	0,667188	

Figura 8 – Resultado da classificação do MNCC por Quebras Naturais

Figure 8 – Results of MNCC classification by Natural Breaks (Jenks)



MND		
Classe	Valores (°)	Peso
1	0 - 2.89	5
2	2.89 - 5.51	5
3	5.51 - 8.93	5
4	8.93 - 14.19	4
5	14.19 - 33.63	2
Contador	341743	
Soma	1658732,936800	
Média	4,853744	
Desvio-padrão	3,455139	

Figura 9 – Resultado da classificação do MND por Quebras Naturais

Figure 9 – Results of MND classification by Natural Breaks (Jenks)

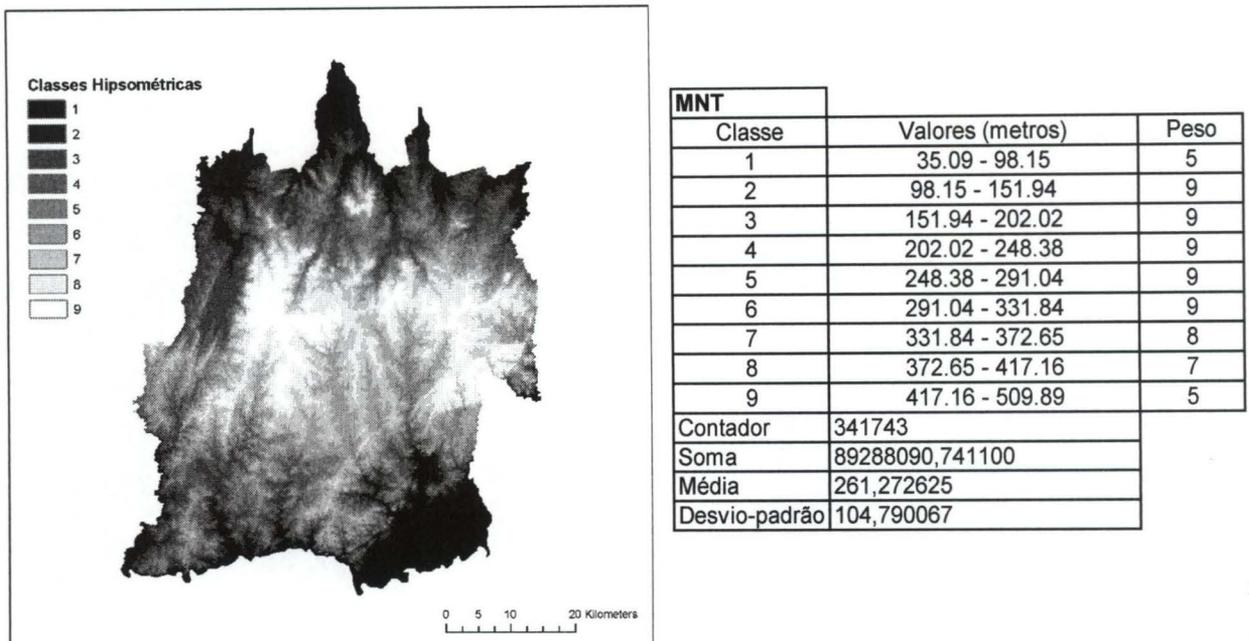


Figura 10 – Resultado da classificação do MNT por Quebras Naturais  
 Figure 10 – Results of MNT classification by Natural Breaks (Jenks)

Para geração dos mapas de classes, foram definidas 5 classes para cada modelo. O Mapa de Classes Hipsométricas foi o único concebido com 9 classes com o intuito de melhorar a modelagem, ponderando de forma mais adequada as variações de altitude para geração do mapa final. Era preciso gerar classes suficientes para realizar a parametrização adequada da altitude para o problema proposto. Desta forma, para as classes limítrofes (classes 1 e 9) foi atribuído o peso mais baixo (5), em função das mudas de eucalipto estarem mais susceptíveis nessas regiões às ações das intempéries, como geadas e alagamento no inverno. As demais classes são consideradas ótimas ao cultivo, até a cota de trezentos metros, aproximadamente, quando o peso volta a ter valores menores.

As variações de declividade são aqui entendidas como obstáculos à mecanização das atividades florestais, além de possuir restrições legais ao florestamento em regiões de declividade acentuada. Porém, pela definição das classes, as áreas restritas ao corte raso previstas em lei (áreas com declividade acima de 25°) estão contempladas pela última classe, apresentando também aptas ao corte raso (áreas com declividade entre 14,2° e 25°). Para não inferir na classificação automática por Quebras Naturais, nem restringir por completo a última

classe, o que excluiria áreas além das áreas já restritas por lei, optou-se por atribuir um peso bem mais baixo do que o atribuído nas demais classes.

Os mapas de classes de ambos os custos apresentaram uma ponderação contínua e decrescente, ou seja, quanto menor forem os custos da classe, maior é o peso atribuído à essa. Apenas uma ressalva ao mapa de classes de custos de transporte que, por força da classificação utilizada, apresentou pequenas “ilhas” entre as classes, incorrendo em interrupções na continuidade gráfica da classe. Porém, como essas “ilhas” são muito pequenas, tiveram seu impacto minimizado pela reclassificação do modelo, não influenciando significativamente no resultado final do trabalho.

Para o MNAA, que não necessitou de uma classificação prévia por já se tratar de um dado discreto, foram atribuídos pesos 1, 2 e 5, para as classes até 5 km, até 10 km, e mais que 10 km, respectivamente. A região do Parque Estadual do Podocarpus foi definida como restrita, por motivo óbvios, e não foi considerada no cálculo final da análise. Entende-se que quanto mais se estiver dos limites do Parque, maior deve ser o cuidado na gestão dos recursos naturais.

O último passo dos processos geográficos é a análise integrada de todos os fatores aqui apresentados, que retornará o Mapa de Regiões Prioritárias, indicando as melhores áreas no município de Encruzilhada do Sul para implantação de florestas de eucalipto, objetivando-se o suprimento de madeira de uma fábrica de celulose. A ferramenta conhecida como Weighted Overlay, ou Sobreposição Ponderada, é ideal para esse tipo de análise, pois além de ser facilmente modelada dentro do fluxograma de processos, possibilita a utilização dos pesos atribuídos às classes e define, por porcentagem de contribuição, quais informações (custos, altimetria,...) são mais relevantes para alcançar o objetivo proposto.

Para as cinco informações utilizadas (custos de colheita, custos de transporte, altimetria, declividade e aspectos ambientais) foi definida uma participação igual dentro da análise. Portanto, cada informação apresenta uma relevância de 20% para se encontrar as regiões prioritárias. Abaixo segue o resultado final da Análise Espacial:

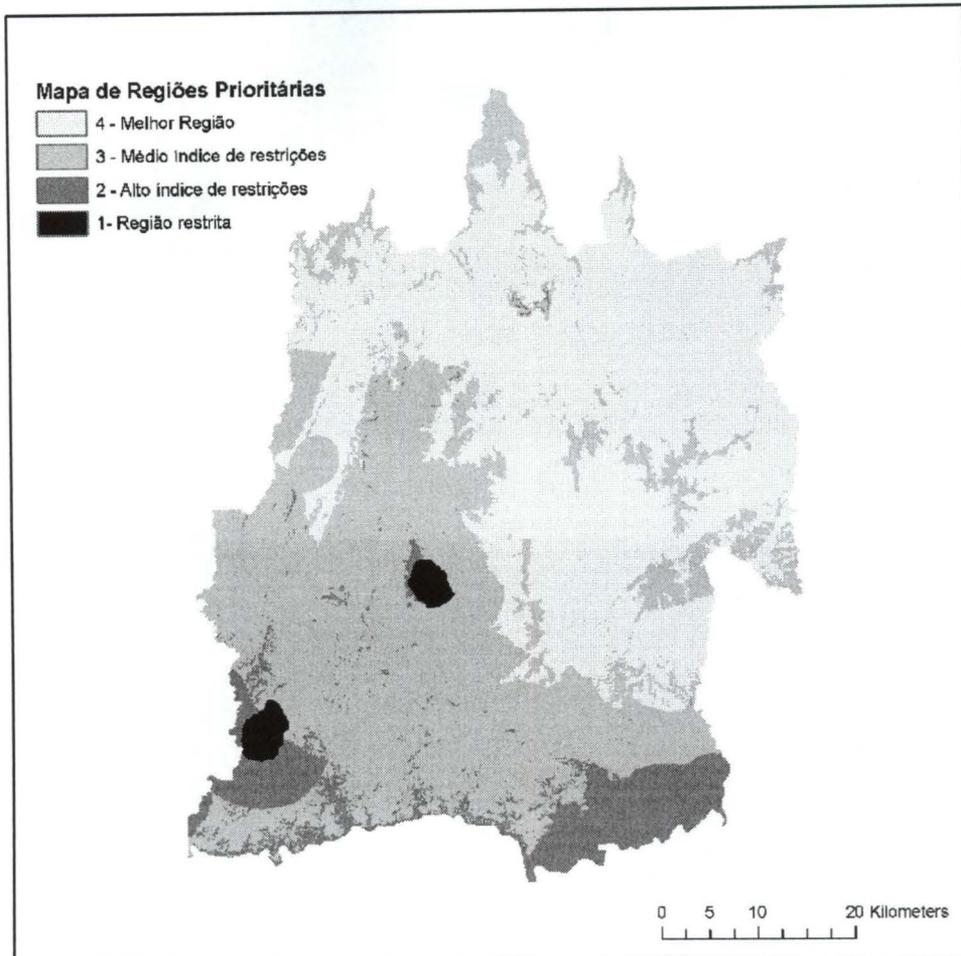


Figura 11 – Mapa de Regiões Prioritárias  
 Figure 11 – Priority Regions Map

Para melhor entendimento do mapa final gerado, foram definidas apenas 4 classes, devidamente qualificadas com relação à sua aptidão técnico-econômica para implantação de florestas. A classe 4, definida como a melhor região, tem aproximadamente 150.000 hectares, representando 44% da totalidade do município. Essa informação, além de definir uma área para se buscar a expansão da base florestal da indústria de celulose, reafirma a vocação natural do município à atividade florestal. O conhecimento prévio de onde se quer ocupar o solo com florestas é de extrema importância para o planejamento do empreendimento, resultando em economia de recursos (otimização) e melhor manejo dos recursos naturais disponíveis. As classe 3 e 2 devem ser desconsideradas nesse contexto, por representarem possíveis obstáculos à atividade de silvicultura para abastecimento da indústria. Ambas classes tem como principais contras, a grande distância até a unidade consumidora, e por conseguinte a elevação dos custos, e a proximidade ao Parque Estadual do Podocarpus, que pode significar restrições à ocupação da terra e ao manejo das florestas.

## 8. CONCLUSÕES

A metodologia proposta mostrou ser bastante prática para o tratamento, manipulação e armazenamento das informações, pois além da organização dos dados facilitar possíveis ajustes e inferências durante os processos geográficos, o agrupamento dos processos ajuda a otimizar o tempo dispendido para a execução da análise.

O resultado obtido na Análise Espacial pode ser utilizado como um direcionador para auxiliar em decisões que precisam ser tomadas. O propósito desse trabalho é buscar identificar áreas que apresentem vantagens para a atividade florestal da indústria de celulose, mas sem nenhum detrimento às demais áreas. A possibilidade de atualização constante de fatores prioritários a partir da ponderação representa dinâmica, dentro de um processo que precisa de agilidade para se ter sucesso. Outros fatores não parametrizáveis, como oportunidades de negócio, ofertas de terras e florestas, entre outros, podem utilizar esse tipo de análise para auxiliar em questões sobre definição do aceite, ou formulação de contrapropostas.

Também poderá ser utilizado esse resultado como ferramenta de acompanhamento, ou até validação da aquisição de terras no município de Encruzilhada do Sul, por parte da indústria de celulose. Durante o processo de aquisição de terras, esse resultado pode ser utilizado para avaliação de ofertas e possíveis barganhas ou contra-propostas que possam ser feitas, de acordo com a localização geográfica dentro do município da propriedade ofertada.

Outras variáveis, como mapas de solos, mapas do valor da terra, entre outros, podem ser utilizados para enriquecimento da análise, não significando necessariamente, um melhor resultado (mapa). A interpretação da informação, nesse caso o Mapa de Regiões Prioritárias, deve ser a tônica na utilização deste como auxílio em decisões estratégicas e gerenciais.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENEDETTI, A. C, FERRARI, R, PEREIRA, R. S. Análise Espacial da Cobertura Florestal no Município de Santa Margarida do Sul/RS, através de Imagens de Satélite Landsat e CBERS-2. In: VII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florsstal, 2006, Curitiba. **Anais**. Curitiba, EMATER/PR, 2006.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **PROMESO – Programa de Sustentabilidade de Espaços Sub-regionais**. Disponível em: < <http://www.integracao.gov.br/programas/programasregionais/metadesul/abrangencia.asp> > Acesso em 19 de jun. 2007.
- CABRAL, J, JUSOF, K. Apoio a tomada de decisões com base em SIG para programar blocos de exploração florestal em floresta tropical de dipterocarpacea, In IV Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 2000, Curitiba. **Anais**. Curitiba, EMATER/PR, 2000.
- CARVALHO, José R. P. de and ASSAD, Eduardo D. **Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação**. *Eng. Agríc.*, May/Aug. 2005, vol.25, no.2, p.377-384. ISSN 0100-6916.
- ESPÍRITO-SANTO, F, SANTOS, J. R, SILVA, P. G. Técnicas de Processamento de Imagens e de Análise Espacial para Estudo de Áreas Florestais Sob Exploração Madeireira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.5, p.699-706, 2004.
- ENCRUZILHADA DO SUL. **Prefeitura Municipal de Encruzilhada do Sul**. Disponível em: < <http://www.encruzilhadosul.rs.gov.br/dados-encruzilhada.htm> > Acesso em 2 de jul. 2007.
- FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem numérica de terreno**. Capítulo 6. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf> >. Acesso em: 29 de ago. 2001.
- GOMIDE, J. L, COLODETTE, J. L, OLIVEIRA, R. C, SILVA, C. M. Caracterização Tecnológica, para Produção de Celulose, da Nova Geração de Clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p. 129-137, 2005.
- HUSDAL, J. **Geographical Decision Making – Different approaches in IDRISI**. University of Leicester, UK, 1999. Disponível em: <http://www.husdal.com/mscgis/gdm.htm>. Acesso em: 31 de jul. 2007.
- JUNIOR, H. K., SCOLFORO, J. R., MELLO, J. M., OLIVEIRA, A. D. Avaliação de Interpoladores Estatísticos e Determinísticos como Instrumento de Estratificação de Povoamentos Clonais de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras-MG, v.12, n.2, p. 123-136, 2006.
- LUZ, N. B. **Análise Espacial como Subsídio à Recuperação de Ecossistemas Apoiada na Ecologia de Paisagens e Imagens Ikonos**. Curitiba, 2002. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal, Ecologia de Paisagens) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- MALUF, J.R.T. Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 1999. 9p.html. 1 ilustr. (Embrapa Trigo. Pesquisa em Andamento Online, 8). Disponível: < [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_pa08.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_pa08.htm) > Acesso em 2 de Jul. 2007.
- MONTGOMERY, G. E, SCHUCH, H. C. **GIS Data Conversion Handbook**. Fort Collins, USA: GIS World Books, 1993. 291 p.
- NASA. **The Shuttle Radar Topography Mission Paper**. Disponível em: < [http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtm\\_paper.pdf](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtm_paper.pdf) > Acesso em 05 de mai. 2007.

RAMBO, B. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul**. 3 ed. São Leopoldo – RS: Editora Unisinos, 1994. 473 p.

ROBBI, C. O Uso de MNT para Visualizar Informações Estatísticas. In VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador. **Anais**. Salvador, INPE, 1996. p. 737 – 740.

SILVA, K. R., PAIVA, Y. G., CECÍLIO, R. A., PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de Interpoladores para Espacialização de Variáveis Climáticas na Bacia do Rio Itapemirim – ES. In XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais**. INPE, 2007. p. 3141 – 3146.

VALVERDE, S.R, SOARES, N.S, SILVA, M.L. Desempenho das Exportações Brasileiras de Celulose. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.6, p. 1017 – 1023, 2006.