

## Adequação de banco de dados e utilização de atributo de hierarquia na geração de rotas ótimas para o escoamento da produção florestal

Pedro Sepulveda Neto<sup>1</sup>  
Júlia Vaz Tostes Miluzzi de Oliveira<sup>1</sup>  
Charles Marques de Souza<sup>2</sup>  
Fausto Weimar Acerbi Junior<sup>2</sup>  
Rafael Olivares de Salles Abreu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS  
Rodovia MS 306 - km 6,4 – 79540-000 - Cassilândia - MS, Brasil.  
pedros\_net@hotmail.com  
juliavaztostes@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Lavras – UFLA/DCF  
Caixa Postal 3037 – 37200-000 - Lavras - MG, Brasil.  
chmarxs@gmail.com  
fausto@dcf.ufla.br

<sup>3</sup> Empresa KLABIN S.A.  
Avenida Olinkraft 6602 – 88540-000 – Otacílio Costa - SC, Brasil.  
roabreu@klabin.com.br

**Abstract.** The creation and/or adaptation of a database to be used in a network analysis needs a special care with the topology of the elements for this network becomes in fact optimized. This process takes time and must be done manually. The objective of this study was to identify the impediments of the use of a network analyst with concomitant suitability of the roads lines, both from the topological point of view as well as from the spatial, for generation of optimal routes between the sources of raw materials and packing units of KLABIN S.A, Santa Catarina's unit. We also as generating driving instructions for major safety and guidance of the drivers. The database preparation phase identified obstacles and peculiarities for the use of the extension and allowed the exclusion of non-existent lines and the creation of the lines still unmapped. The driving instructions were generated correctly, stating the modeling of the attributes was done correctly. The routes generated for the Distance and Time attributes were satisfactory for both, with and without the use of simulated barriers. The information generated can be more refined and reliable according to the spatial accuracy level of the lines that make up the shapes and the type of information in the database.

**Palavras-chave:** GIS, network analyst, routing, database adequacy, topology, forest harvesting, route optimization.

### 1. Introdução

O planejamento do transporte objetiva um transporte rápido e eficiente, com a máxima utilização dos recursos disponíveis (MACHADO, 2011). Souza (2004) relatou que para uma mesma distância de transporte, quanto menor for o valor do produto florestal, maior será a importância do transporte no custo final do produto. O transporte representa até 40% do custo total da madeira para as indústrias de celulose e até 25% para as indústrias de madeira serrada. A colheita e o transporte representam, em média, de 60% a 70% dos custos da madeira colocada no pátio das fábricas, respectivamente.

Um dos métodos mais eficientes e utilizados atualmente, como ferramenta para o planejamento e tomada de decisões é o SIG. As empresas que utilizam os SIG's reconhecem que a habilidade de entender e manejar os recursos florestais pode ser consideravelmente melhorada (COUTO, 1993). Exemplos de aplicação do SIG no transporte florestal podem ser vistos em vários estudos. Barddal (1994) utilizou um SIG para elaborar projetos de estradas, reformulando os traçados existentes, de forma a otimizar o transporte de madeira. Motta et al. (1996) demonstraram a viabilidade dos SIG's e da distância virtual na determinação da rota

ótima de transporte florestal rodoviário. Venturi (2000) utilizou o SIG para planejar a manutenção da malha rodoviária, enquanto Weber et al. (2003), para a avaliação de opções de traçado da estrada a ser pavimentada, considerando o uso do solo e altimetria do terreno como subsídios para simulações e tomada de decisão.

O uso de redes para a medição de distâncias fornece resultados mais precisos para análises do que quando usadas distâncias em linha reta. Estas redes são um sistema de elementos interconectados, como linhas e pontos, que representam possíveis rotas de um local para outro, armazenando a conectividade entre as características de origem (ESRI, 2014).

A criação da base de dados é a etapa mais importante no processo de análises em SIG. Cabe salientar que a qualidade dos dados originais e a precisão da técnica irão determinar o nível dos resultados finais do trabalho (BURROUGH, 1989).

Roteirização é o processo de criação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridos, com o objetivo de visitar um conjunto de pontos distintos geograficamente e pré-determinados. Segundo Hoffmann et. al. (2009) problemas de roteirização podem ser definidos como problema de um caixeiro viajante e consiste em encontrar o roteiro ou sequência de cidades a serem visitadas, minimizando a distância total percorrida e assegurando que cada cidade seja visitada exatamente uma vez. Como um subproblema do problema do caixeiro viajante temos o problema do menor caminho. Os melhores caminhos não necessariamente representam os caminhos de menores distâncias, podem ser caminhos de tempos mínimos, custos mínimos, entre outras formas que se deseja medir um percurso.

Assim, o objetivo do trabalho foi a identificação de entraves para a utilização de uma ferramenta de análise de redes e a criação e avaliação de uma base de dados confiável, do ponto de vista topológico, para utilização nessa ferramenta de análise de rede, com o fim de geração de rotas ótimas entre as fontes de matéria prima e as unidades beneficiadoras da empresa KLABIN S.A., unidade de Santa Catarina.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Área de Estudo

Esse estudo foi desenvolvido utilizando o banco de dados das fazendas da empresa KLABIN S.A., situadas nos municípios de Correia Pinto e São José do Cerrito (Figura 1).

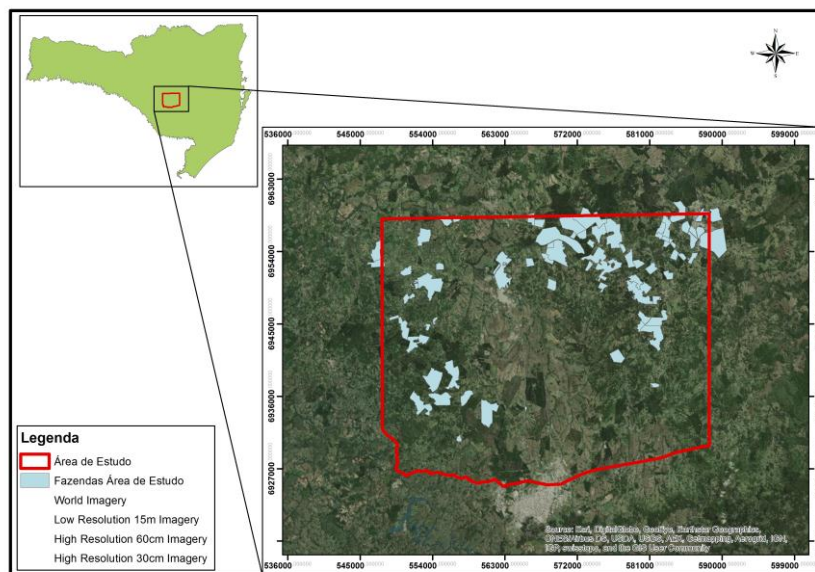


Figura 1. Localização da área de estudo.

A região tem um relevo com média de elevação de 1.000 metros acima do nível do mar, formando um “degrau” entre o Alto Rio Itajaí e o Planalto dos Campos Gerais. De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é mesotérmico subtropical úmido- Cfb, com

verões frescos, cujas temperaturas médias dos meses mais quentes são inferiores a 22°C, sem estação seca e invernos com geadas severas e frequentes (KÖPPEN, 1948).

## 2.2 Base de Dados

As atividades foram desenvolvidas no software ArcGIS 10.3 na extensão *Network Analyst*, utilizando o solucionador *Best Route*. A conferência das linhas de estradas foi feita utilizando o *Google Earth* e o *World Imagery* do ArcGIS online.

Para a estruturação da base de dados, foram utilizados diferentes shapes: 4 exportados da base de dados da KLABIN S.A (Estradas municipais, Estradas Federais, Linhas Fazendas e Estradas Logística) e 1 do órgão oficial do Departamento Estadual de Infraestrutura-DEINFRA. Pela utilização de diferentes shapes, houve sobreposição das linhas coincidentes. Essas linhas tinham diferentes níveis de precisão espacial. A conferência dessas linhas se baseou nas imagens do *World Imagery*, permanecendo na base de dados a que apresentasse maior precisão espacial. Esse procedimento foi inteiramente manual devido a necessidade de análise criteriosa.

Houve um cuidado especial com o campo referente à pavimentação, por que o mesmo tem influência direta nos resultados, já que a velocidade média da via, para esse trabalho, depende do tipo de pavimentação. Algumas linhas dos shapes utilizados não apresentavam essa informação, dessa forma a via não seria selecionada como parte da rota se a impedância escolhida levasse em consideração um atributo de tempo. Assim, foi necessário atribuir essa informação aos campos onde não havia. Para corrigir tal erro foi feita a conferência com as linhas dos outros shapes, se na linha selecionada não constasse a informação de pavimentação, era procurado nas outras linhas coincidentes e atualizado no shape da linha da base. Se não houvesse linhas coincidentes ou se não houvesse a informação em nenhuma das linhas, a linha era exportada para o *Google Earth* para confirmação da pavimentação.

## 2.2 Correção da Topologia dos elementos Vetoriais

As regras topológicas utilizadas para a correção foram: Must not intersect, Must not overlap, Must not intersect or touch interior, Must not self overlap, Must not self intersect, Must be single part, Must not have dangles e Must not have pseudo nodes.

Todos os erros do tipo 'Must not intersect' puderam ser corrigidos pela ferramenta '*Split*', que divide as linhas que se cruzam no ponto de interseção.

Todos os erros do tipo 'Must not have pseudo nodes' foram corrigidos pela ferramenta '*Merge to largest*', que funde duas linhas. Mas quando duas linhas são fundidas, a linha menor perde os seus atributos, passando a ter os mesmos atributos da maior. Isso ocasiona perda de informação se as linhas fundidas não tiverem, por exemplo, a mesma pavimentação.

Os erros do tipo 'Must not intersect or touch interior' podem ser corrigidos com as ferramentas '*Split*' e '*Subtract*'. O '*Subtract*' remove as linhas duplicadas e/ou sobrepostas.

Todos os erros do tipo 'Must not self overlap' e 'Must not self intersect' foram corrigidos pela ferramenta '*Simplify*', que remove a sobreposição da linha do recurso em erro.

Todos os erros do tipo 'Must be single part' foram corrigidos pela ferramenta '*Explode*' que cria linhas únicas a partir de linhas com partes múltiplas.

Os erros corrigidos com as ferramentas '*Subtract*' e '*Simplify*' foram corrigidos caso a caso, já que foi necessário escolher qual linha seria subtraída ou simplificada. Os erros do tipo 'Must not have dangles' foram os erros mais numerosos e com correção mais demorada, pois tiveram que ser reparados um a um. A correção teve de ser feita caso a caso por que esse tipo de erro pode ter sido fruto de duas linhas que deveriam estar conectadas mas não estavam, ou poderiam indicar um ponto final. Quando não estavam conectadas, a conexão foi feita manualmente e caso se tratasse de um ponto final, o erro foi marcado como exceção, já que um ponto final não pode ser considerado um erro se realmente indicar o final de alguma via.

Os erros do tipo ‘Must not have pseudo nodes’ foram os últimos erros a serem corrigidos, pois grande parte das correções de topologia criam pseudo nós nas linhas, assim, ao corrigir esses erros por último, garantimos que não fossem gerados mais erros desse tipo.

Muitas correções de topologia geram outros erros, por exemplo um pseudo nó gerado a partir de duas linhas não conectadas. Por isso, após a correção de todos os erros a Topologia foi validada e os erros conferidos novamente até que não houvesse nenhum erro restante.

Paralelamente ao processo de correção da topologia, foi realizado o processo de adequação espacial das linhas que não estavam espacialmente condizentes com as imagens do *World Imagery* (ArcGIS Online), mapeamento das linhas não existentes e exclusão das que constavam na base de dados porém não mais existiam.

### 2.3 Criação da Network Dataset

O tráfego que ocorre sobre a rede é controlado pelos atributos de redes. É no momento da configuração destes atributos que a *Network Dataset* é modelada. O uso padrão de cada atributo define qual atributo será utilizado como principal. Atributos de Hierarquia não podem ser utilizados como principais para geração das rotas, sendo utilizados como secundários, servindo de desempate entre duas vias que poderão compor uma rota, por exemplo.

Os atributos trabalhados foram: Tempo, Distância e Hierarquia. Tempo e Distância são do tipo ‘Cust’, ou seja, tem um tipo de uso referente aos custos, já o atributo Hierarquia não. O atributo Distância veio da tabela de atributos, sendo o comprimento total de cada via. O atributo Hierarquia também veio da tabela e está relacionado com o tipo de pavimentação. Foi criada uma coluna na tabela de atributos classificando a preferência de pavimentação: Asfalto- 1, Cascalho- 2 e Terra- 3. Assim, seriam priorizadas as vias Asfaltadas, em seguida as cascalhadas e por último as de terra. Para o tempo, através da Equação 1, criou-se uma coluna na tabela de atributos com o tempo necessário para transpor cada trecho da estrada.

$$T = \frac{L}{\frac{V * 1000}{60}} \quad (1)$$

Onde T é o Tempo (min), L é o Comprimento da via (m) e V é a Velocidade média da via (km/h).

Foi criada uma coluna na tabela de atributos para a velocidade média que variou de acordo com a pavimentação. Como regra geral, na KLABIN S.A. adota-se: Asfalto- 80 km/h, Cascalho- 50 km/h e Terra- 30 km/h.

### 2.3 Solucionador Route

Para testar a *Network Dataset*, foram realizados testes para avaliar a eficiência do solucionador. O objetivo era sair da fábrica de Correia Pinto e chegar a Fazenda Cerro Pelado V. Para testar o atributo Distância, foi criada uma série de rotas. A primeira rota gerada foi a rota ótima e a partir dela, foram geradas mais 2 rotas utilizando barreiras que impediram o trânsito na via onde foi alocada. O teste para o atributo Tempo foi feito da mesma forma. As barreiras nos dois testes foram colocadas aleatoriamente para testar o *Network Dataset*.

Usando Hierarquia, é utilizada uma heurística que favorece o tráfego nos níveis mais altos. O objetivo do solucionador continua sendo minimizar a impedância, mas favorecendo a ordem superior de Hierarquia. O teste do atributo Hierarquia consistiu na geração de rotas ótimas para os atributos Distância e Tempo, com e sem a utilização do atributo Hierarquia como secundário.

A geração das instruções de direção também foi feita na etapa de configuração do solucionador. O roteiro gerado é mais uma ferramenta que auxilia a orientação do condutor.

### 3. Resultados e Discussão

A adequação à topologia e a correção das linhas é um processo demorado, e em grande parte impossível de operacionalizar devido a necessidade de análise criteriosa e comparação com imagens de satélite. É impossível corrigir todas as linhas, do ponto de vista da precisão espacial, por que que novas estradas são abertas frequentemente e estradas já existentes desaparecem pela falta de uso e consequente crescimento da vegetação. Uma forma mais confiável para a atualização e consolidação da base de estradas, para que se pudesse usar as rotas geradas pelo *Network Analyst*, seria o levantamento a campo contínuo e dinâmico.

#### 3.1 Resultados dos testes

Os testes dos atributos mostraram que a topologia foi corrigida satisfatoriamente, pois foi possível a geração dos elementos Junctions e Edges, como ilustrado na Figura 2, e das rotas, como ilustrado nas Figuras 3, 4 e 5.

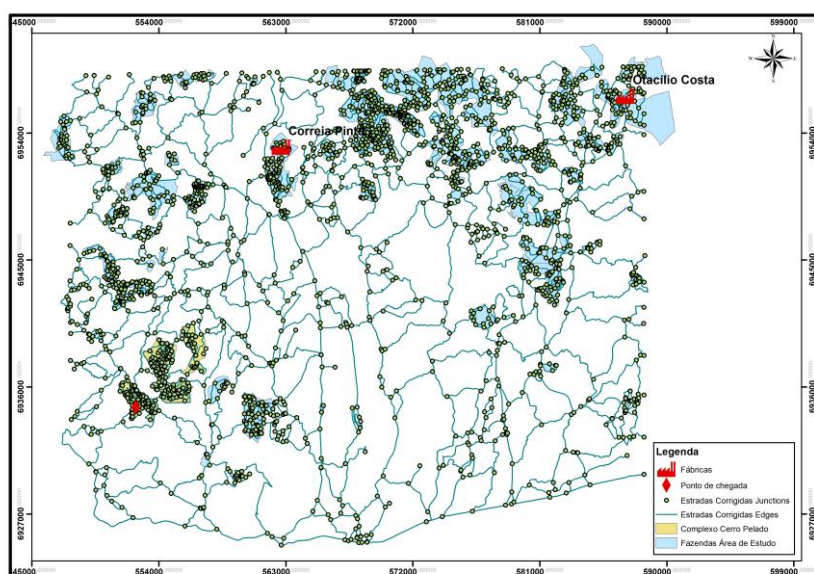


Figura 2. Network Dataset estruturada e pontos de início e fim das rotas.

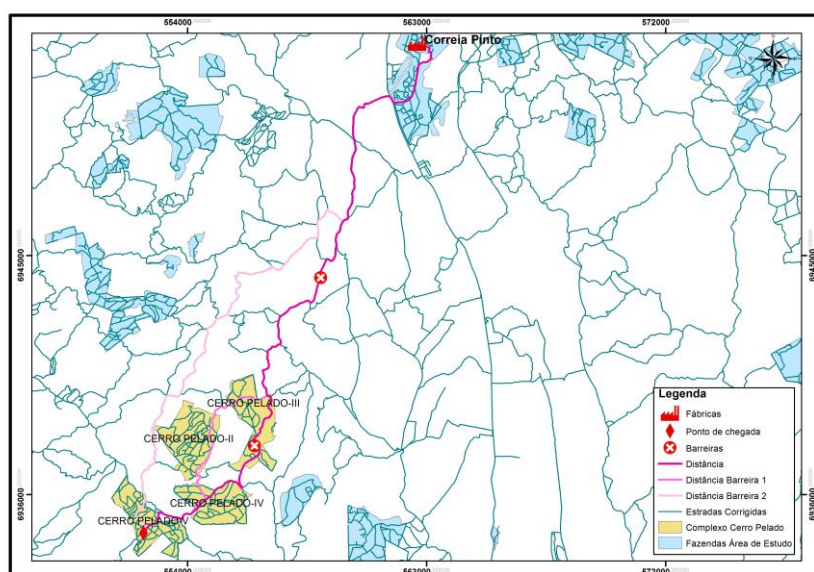


Figura 3. Rotas geradas baseadas no atributo Distância.

As rotas geradas sem barreiras nos testes dos atributos Distância e Tempo, foram as rotas ótimas: para o atributo distância (Figura 3), a menor rota foi a gerada sem barreira

alguma e para o atributo Tempo (Figura 4) a rota mais rápida foi aquela gerada sem barreira. Os resultados indicaram que a *Network Dataset* foi modelada corretamente e os atributos estavam funcionando. A Tabela 1 mostra as informações das rotas geradas a partir do atributo Distância e a Tabela 2 apresenta as informações das rotas geradas a partir do atributo Tempo.

As distâncias totais para o atributo Tempo foram maiores, mas com menores porcentagens de Terra. Isso era esperado, já que este atributo está diretamente relacionado a pavimentação, por ela influenciar na velocidade média de deslocamento que entra no cálculo do Tempo.

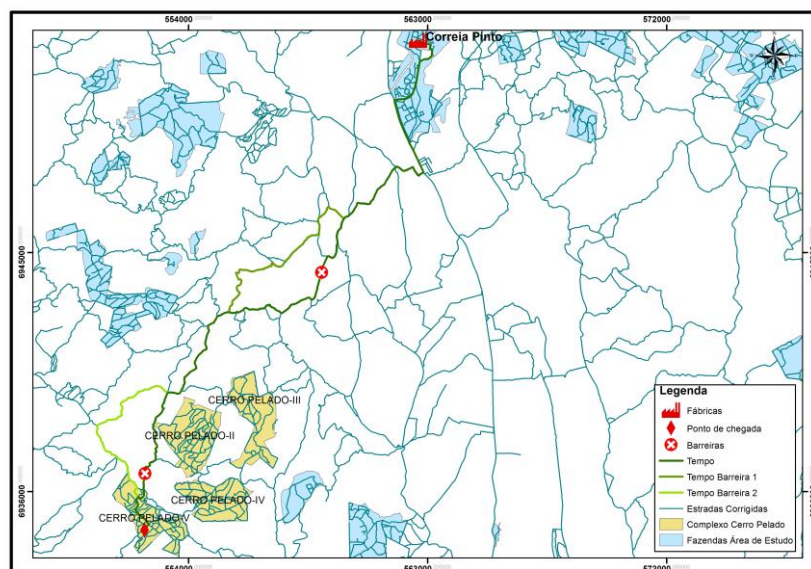


Figura 4. Rotas geradas com base no atributo Tempo.

Tabela 1: Descrição de Distâncias e Tempos das rotas geradas com base no atributo Distância.

Rota	Pavimentação	Distância (km)	Tempo (Min)
Distância	Asfalto	2,16	1,62
	Cascalho	14,24	17,18
	Terra	11,49	23,52
	Total	27,89	42,32
Distância Barreira 1	Asfalto	2,16	1,62
	Cascalho	15,74	18,88
	Terra	10,47	20,95
	Total	28,38	41,45
Distância Barreira 2	Asfalto	2,16	1,62
	Cascalho	24,43	29,31
	Terra	2,54	5,09
	Total	29,14	36,02

Tabela 2: Descrição de Distâncias e Tempos das rotas geradas com base no atributo Tempo.

Rota	Pavimentação	Distância (km)	Tempo (Min)
Tempo	Asfalto	6,24	4,68
	Cascalho	21,12	25,35
	Terra	2,22	4,44
	Total	29,59	34,47

Tempo Barreira 1	Asfalto	6,24	4,68
	Cascalho	21,85	26,22
	Terra	2,22	4,44
	Total	30,31	35,34
Tempo Barreira 2	Asfalto	6,24	4,68
	Cascalho	22,11	26,54
	Terra	4,12	8,24
	Total	32,47	39,45

Ao usarmos Hierarquia como atributo secundário, para as duas análises, como ilustrado na Figura 5, não foram geradas rotas diferentes das geradas quando não foi utilizando esse atributo como secundário. Isso mostra que o uso do atributo Hierarquia, para a *Network Dataset* estruturada, não produziu efeito algum e pode indicar que para esse tipo de estrutura de vias, tal atributo não produz diferença.

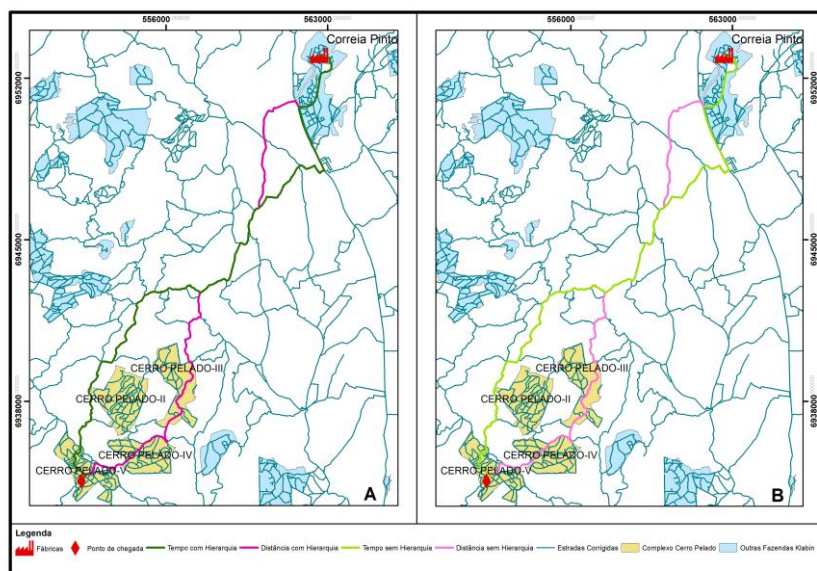


Figura 5. A) Rotas geradas com o atributo Hierarquia como secundário. B) Rotas geradas não utilizando o atributo Hierarquia como secundário.

O ‘*Directions*’ de todas as rotas geradas (Figura 6) foi criado corretamente, podendo ser usado juntamente com a rota no campo para orientação do condutor, e também afirma o resultado que os atributos foram modelados corretamente e estavam funcionando.



Figura 6. Directions gerado com informações dos atributos Distância e Tempo.

#### 4. Conclusões

A extensão *Network Analyst* se mostrou eficiente para o que foi proposto no trabalho, dependendo a confiabilidade e a complexidade dos resultados apenas do nível de qualidade e quantidade de informação existente na base de dados.

A aplicação da metodologia proposta é possível, mas o processo ainda permite melhorias, sendo necessário aprimorar o uso das ferramentas e equipamentos que possam diminuir o tempo de preparação dos dados e aumentar a confiabilidade nas linhas, assim como um estudo criterioso de informações que possam ser extraídas do processo.

É possível utilizar a metodologia proposta para a geração de rotas, mas os atributos utilizados do *Network Analyst* são muito básicos, necessitando de um maior entendimento da ligação com o frete e possível transformação do cálculo de frete em atributo da *Network Dataset*, sendo possível assim a geração de rotas ótimas baseadas diretamente no frete.

## 5. Agradecimentos

Os autores expressam os seus sinceros agradecimentos à empresa KLABIN S.A. pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho e fornecimento das informações e à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul pelo apoio financeiro para participação no evento.

## 6. Referências Bibliográficas

- Barddal, S. M. A. Utilização do SIG na KLABIN. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 1. , Curitiba, 1994. **Anais...** Curitiba, 1994. p. 83-92.
- Burrough, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment** – Monograph on Soil and Resource. Oxford: Claredon, 194p. 1989.
- Couto, H. T. Z. **Sistemas de informações geográficas: Aplicações Florestais**. IPEF Série Técnica, Piracicaba, v. 9, nº 28, 1993. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/tecnica/nr28/cap01.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2016.
- ESRI. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/arcgis>> Acesso em: 15 out. 2015.
- Hoffmann, E. H.; Zimmermann, K. W. Bortoleto, S. **Sistema de roteirização urbana: Aplicação na saúde urbana**, 2009, Curitiba. Disponível em: <<http://www.aebi.com.br/>> Acesso: 31 de out. de 2016.
- Koppen, W. **Climatologia**. México: Fundo de Cultura Econômica, 1948.
- Machado, C. C. et al. **Transporte Rodoviário Florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011. 217 p.
- Motta, L. P.; Machado, C. C.; Soares, V. P.; Ribeiro, J. C.; Ribeiro, C. A. A. S. Utilização do sistema de informações geográficas e da distância virtual na otimização do transporte florestal rodoviário. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 381-394, 1996.
- Souza, D. O. **Algoritmos genéticos aplicados ao planejamento do transporte principal de madeira**. 2004, 184 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, 2004.
- Venturi, N. L. GIS aplicado na área florestal. Seminário de atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados à Engenharia Florestal, 4., **Anais...** Curitiba, 2000. p. 143-157.
- Weber, E.; Hasenack, H.; Nodari, F. A.; Reichmann, N. C. **Análise de alternativas de traçado de uma estrada utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG**.