

## **APLICAÇÃO DA META-HEURÍSTICA GRASP PARA O PROBLEMA DO SORTIMENTO FLORESTAL**

Rodrigo Freitas Silva<sup>1</sup>, Débora Pinheiro Montes<sup>2</sup>, Gilson Fernandes da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Computação – Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, S/Nº - cx postal 16, Guararema, 29500-000, Alegre/ES, rodrigo.f.silva@ufes.br;

<sup>2</sup> Curso de Pós Graduação em Biologia Vegetal – Universidade Candido Mendes, Rua Doutor Moacir Birro, 663, Centro, 35170-002, Coronel Fabriciano/MG, deborapmontes@yahoo.com.br;

<sup>3</sup> Pós-Graduação em Ciências Florestais – Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Governador Lindemberg, 316, Centro, 29550-000, Jerônimo Monteiro/ES, fernandes5012@gmail.com

**RESUMO.** Esse trabalho propõe a aplicação da meta-heurística *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) como geradora de soluções para otimizar o sortimento florestal. O problema do sortimento florestal se resume a avaliação econômica de uma floresta, em razão de um conjunto de diferentes multiprodutos que podem ser comercializados. O objetivo é determinar um padrão de corte ótimo para as árvores colhidas, tornando possível fazer as escolhas mais lucrativas a respeito de quantos e quais produtos serão retirados de cada fuste e, portanto, maximizar o retorno financeiro. As três alternativas consideradas para o uso da madeira foram: celulose, serraria própria e venda. O GRASP foi então implementado para simular a geração dos padrões de corte durante a colheita de uma floresta formada por *Pinus taeda L.*, situada no município de Correia Pinto (SC), região Sul do Brasil. O desempenho do método proposto foi comparado às meta-heurísticas *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético, apresentados em trabalho anterior encontrado na literatura. Conclui-se, ao final, que o GRASP é um método eficiente para ser aplicado ao sortimento florestal, obtendo, inclusive, um rendimento 9,91% superior a renda média dos dados da colheita.

Palavras-chave: Otimização, Padrões de Corte, Multiprodutos.

**ABSTRACT.** This paper proposes the application of meta-heuristic *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) as a generator of solutions to optimize the forest assortment. The problem of forest assortment is based on economic evaluation of a forest, according to a different set of multi-product that can be marketed. The goal is to determine the great cutting pattern for harvested trees, making it possible to make choices more profitable, knowing how many and which products will be taken from each. The three alternatives considered for the wood uses were: cellulose, sawmill and to sell. Then, the GRASP was implemented to simulate the generation of cutting patterns of *Pinus taeda L.* forest, in the Pinto Correia (SC) city, Southern Brazil. The performance of the proposed method was compared to meta-heuristic *Simulated Annealing* and Genetic Algorithm, presented in previous work found in the literature. At the end, was concluded that the GRASP is an efficient method to be applied in forest assortment, and optimized the harvest data in 9,91%.

Keywords: Optimization, Cutting Patterns, Multi-products.

## 1 INTRODUÇÃO

O planejamento da colheita florestal é fundamental para que uma empresa do setor madeireiro seja competitiva e atenda as demandas do mercado consumidor. Atualmente, a fim de diversificar a produção e ampliar as formas de utilização da madeira, as empresas têm trabalhado com o conceito de multiprodutos, do qual é possível retirar e comercializar diferentes produtos a partir do tronco de uma árvore. Dessa forma, é factível, por exemplo, extrair madeira para a serraria, para celulose, resíduos para geração de energia, dentre outros, de modo a maximizar a receita proveniente da madeira colhida.

Tendo em vista as inúmeras vantagens advindas da conversão de árvores em multiprodutos, estudos têm sido realizados com o objetivo de estabelecer o melhor aproveitamento na conversão dos fustes (SOARES et al., 2003). A necessidade da otimização do uso dos recursos florestais aplicado à obtenção de múltiplos produtos, viabiliza o estudo da Pesquisa Operacional (PO) com viés florestal. O objetivo é agregar maior valor a madeira comercializada.

O sortimento empregado em um fuste é o padrão de corte no qual ele será traçado, ou seja, a definição da sequência de produtos que serão retirados. Esses produtos são geralmente toras de diferentes comprimentos e diâmetros. Pesquisas em busca de padrões de corte ótimos, perante uma explosão combinatória com diversas alternativas, fazem parte de uma categoria específica de problemas conhecida como Problema de Corte e Empacotamento (PCE). Tais problemas são considerados difíceis de serem resolvidos computacionalmente, se enquadrando em uma classe geral de problemas denominado NP-difícil. Necessita-se, assim, de métodos mais flexíveis, de fácil implementação e de caráter geral. (EHRGOTT e GANDIBLEUX, 2000). Tais limitações podem ser superadas com a aplicação de meta-heurísticas (LOPES et al., 2013), implementadas por meio de algoritmos e empregadas para a obtenção da solução do problema.

Campos et al. (2013) utilizou programação inteira para converter um plantio de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* em multiprodutos da madeira. Quatro alternativas para a comercialização de produtos foram consideradas: energia, celulose, escoras e serraria. A combinação otimizada dos multiprodutos foi então comparada a destinação da floresta a um único produto, podendo concluir, a partir dos resultados obtidos, os benefícios econômicos da conversão do plantio em multiprodutos. Além disso, Kohler et al. (2014) observou que, na dinâmica do sortimento após o 13º ano, há uma mudança relevante no sortimento da floresta, representando, portanto, um importante diferencial econômico.

A Programação Dinâmica (PD) é um método alternativo que também pode ser utilizado para gerar soluções quando aplicado ao problema do sortimento florestal. Arce et al. (2004) descreve uma metodologia de otimização do corte de árvores para obtenção de multiprodutos em nível de fustes individuais. Dois algoritmos foram implementados. Primeiramente, uma heurística que identifica os cortes potenciais a serem avaliados ao longo do fuste. Posteriormente, um algoritmo com PD a fim de determinar a sequência ótima de produtos a serem retirados. Ao comparar o traçamento ótimo com o traçamento real obtido pelo motosserrista, foi possível concluir que o resíduo de madeira deixado na floresta foi reduzido de 16% para 5%.

Menon (2005), por sua vez, implementou as meta-heurísticas *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético para gerar, por classe diamétrica, padrões de corte ótimos para um povoamento de *Pinus taeda L.* em Santa Catarina. A escolha por utilizar algoritmos aproximados foi decorrente da inviabilidade da aplicação de PD e programação inteira ao

problema, dado a ampla variedade de produtos comercializáveis. O autor então comparou seus resultados à renda média calculada de acordo com os dados da colheita obtida pela empresa, onde o sortimento era escolhido manualmente pelo motosserrista. Foi então possível concluir que, caso o Algoritmo Genético e o *Simulated Annealing* tivessem sido utilizados para determinar o sortimento, a colheita seria 9,55% e 7,85% mais rentável, respectivamente.

Exposto o problema, o objetivo desse trabalho é avaliar a meta-heurística *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) (FEO e RESENDE, 1995) como geradora de soluções para otimizar o sortimento florestal. O método proposto foi aplicado a mesma base de dados utilizada por Menon (2005) e, ao final, comparado com os resultados encontrados pelo Algoritmo Genético e pelo *Simulated Annealing*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Modelo de Programação Inteira

A seguir, a formulação do modelo de Programação Inteira para o problema do sortimento florestal utilizado neste trabalho, obtida de Campos et al. (2014).

Maximizar

$$Z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijk} x_{ij} \geq D_{\min K} \{k = 1, 2, \dots, l\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijk} x_{ij} \leq D_{\max K} \{k = 1, 2, \dots, l\} \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (5)$$

Em que:

- $Z$  = valor presente líquido total (R\$);
- $x_{ij}$  = variável de decisão,  $j$ -ésimo padrão de corte para  $i$ -ésima classe de diâmetro;
- $c_{i,j}$  = valor presente líquido por cada classe de diâmetro  $i$ , seguindo a alternativa de corte  $j$ ;
- $m$  = número total de classes de diâmetro;
- $n$  = número total de alternativas de corte para a  $i$ -ésima classe de diâmetro;
- $V_{i,j}$  = volume ( $m^3$ ) produzido por classe de diâmetro, do produto  $k$ , pela  $i$ -ésima classe de diâmetro adotando-se a  $j$ -ésima alternativa de corte;
- $D_{\min K}$  e  $D_{\max K}$  = demandas volumétricas ( $m^3$ ) mínima e máxima de cada produto  $k$ .

A maximização do lucro é mostrado em (1) pela função objetivo, considerada a soma dos Valores Presentes Líquidos dos fustes de acordo com o padrão de corte selecionado. (2) e

(5) representam as restrições de classe de diâmetro e asseguram uma única escolha de corte  $j$  para uma classe de diâmetro  $i$ . As restrições de demanda (3) e (4) impõem limites, sendo eles o volume máximo e mínimo requerido por um determinado produto em um período de tempo.

## 2.2 Área de Estudo e Dados

A área de estudo utilizada nesse trabalho foi caracterizada por Menon (2005). Segundo o autor, são provenientes da região Sul do Brasil, do município de Correia Pinto – SC, de propriedade das Indústrias Klabin. Foi utilizado o Talhão 18 de *Pinus taeda L.*, com 11,5 hectares e plantio realizado em 1978, da Fazenda Capela I. Foram encontradas no total 453 árvores na área demarcada, dentre elas, 408 foram colhidas e 31 cubadas para a construção da relação hipsométrica e da função de afilamento utilizada. Na Tabela 1 podem ser encontradas as classes de diâmetro do povoamento estudado.

A relação hipsométrica e a função de afilamento foram fornecidas pela empresa, já ajustadas, e suas respectivas equações são:

- **Relação Hipsométrica:**

$$h = DAP^2 / (b_0 + b_1 * DAP + b_2 * DAP^2)$$

Em que:  $h$  = altura total (m);  $DAP$  = diâmetro medido a 1,3 m de altura do solo (cm);  $b_0 = 7,19827$ ;  $b_1 = -0,24839$ ; e  $b_2 = 0,03447$ .

- **Função de Afilamento:**

$$dcc = DAP * (b_0 + b_1 * (h_i/h) + b_2 * (h_i/h)^2 + b_3 * (h_i/h)^3 + b_4 * (h_i/h)^4 + b_5 * (h_i/h)^5)$$

Em que:  $dcc$  = diâmetro com casca ao longo do fuste (cm);  $h_i$  = altura de corte (m);  $h$  = altura total (m);  $(h_i/h)$  = altura relativa (m);  $DAP$  = diâmetro medido a 1,3 m de altura do solo (cm);  $b_0 = 1,19837$ ;  $b_1 = -4,87173$ ;  $b_2 = 22,56860$ ;  $b_3 = -50,29490$ ;  $b_4 = 50,20750$  e  $b_5 = -19,00690$ .

Tabela 1. Classes de diâmetro do povoamento estudado, em que  $DAP$  é Diâmetro à Altura do Peito.

Classe de DAP							
C.C.	Frequência	C.C.	Frequência	C.C.	Frequência	C.C.	Frequência
	...	28,5	19	40,5	10	52,5	1
17,5	0	29,5	18	41,5	19	53,5	5
18,5	1	30,5	22	42,5	17	54,5	3
19,5	0	31,5	18	43,5	6	55,5	1
20,5	3	32,5	23	44,5	9	56,5	5
21,5	4	33,5	17	45,5	8	57,5	2
22,5	5	34,5	18	46,5	9	58,5	0
23,5	2	35,5	21	47,5	9	59,5	0
24,5	5	36,5	20	48,5	7		...
25,5	9	37,5	20	49,5	6	80,5	0
26,5	11	38,5	18	50,5	5	81,5	1
27,5	10	39,5	19	51,5	2		

O multiprodutos considerados são apresentados na Tabela 2. Para exemplificar, suponha a classe de uso 3, na qual seus produtos são destinados a venda. Para esta classe, os comprimentos de toras aceitáveis são 2,60; 3,10 e 3,80 metros, sendo que o diâmetro da ponta



fina (*dpf*) de cada tora deve ser igual ou acima de 40 centímetros. Além disso, o valor de cada metro cúbico ( $m^3$ ) de madeira produzida nesta classe vale R\$ 139,77.

Tabela 2. Produtos comercializáveis.

Classe de Uso	Comprimento ( <i>m</i> )	<i>dpf</i> ( <i>cm</i> )	R\$/ $m^3$
<b>Classe 0 – serraria própria</b>	3,10 e 3,80	18,00 a 23,90	61,85
<b>Classe 1 – venda</b>	2,60; 3,10 e 3,80	24,00 a 29,90	92,15
<b>Classe 2 – venda</b>	2,60; 3,10 e 3,80	30,00 a 39,90	113,59
<b>Classe 3 – venda</b>	2,60; 3,10 e 3,80	$\geq 40,00$	139,77
<b>Classe 4 – celulose</b>	1,00 a 4,00	8,00 a 17,90	52,80

Segundo Arce (2000), *N<sub>pc</sub>* é o número potencial de padrões de corte que podem ser obtidos de um fuste. Seu cálculo é dado por  $N_{pc} = L^T$ , em que *L* a quantidade de produtos diferentes considerados e *T* o número máximo de toras que podem ser retiradas do fuste, em razão da altura útil do mesmo e dos comprimentos de cada produto. Para exemplificar, considere um fuste com 20 metros de altura comercial a ser traçado. Seja a existência de 42 produtos distintos, na qual a Classe 4 contribuiria com 31 destes produtos, levando em consideração os comprimentos das toras de 1 a 4 metros de 10 em 10 cm, e os outros 11 produtos restantes provenientes das outras classes de uso. Dessa forma, seriam retiradas no máximo 20 toras de 1 metro cada e, nesse caso, teriam-se  $42^{20}$  padrões de corte distintos para serem analisados.

### 2.3 Meta-heurística GRASP

A meta-heurística GRASP foi proposta originalmente por Feo e Resende (1995). Consiste em um procedimento iterativo de duas fases para criar uma solução inicial e depois efetuar uma busca local para melhorar a qualidade da solução gerada. Seu diferencial para outros métodos está na geração da solução inicial, baseada nas três primeiras iniciais de sua sigla em inglês: gulosa (*Greedy*), aleatória (*Randomized*) e adaptativa (*Adaptive*).

O GRASP procura usar as melhores características dos algoritmos gulosos e procedimentos aleatórios para construção das soluções iniciais. Essas soluções, posteriormente, são refinadas por meio da segunda fase desse algoritmo, baseada em buscas locais. O GRASP é dito construtivo por privilegiar a geração de uma solução inicial de melhor qualidade, utilizando, entretanto, a busca local apenas para pequenas melhorias. A estratégia de construção de uma solução no GRASP consiste na definição de um critério de avaliação dos elementos que podem ser inseridos em um conjunto que, ao final do processo, será uma solução para o problema de otimização que se pretende resolver. Resende e Ribeiro (2002) descrevem sobre estratégias mais avançadas do GRASP, incluindo mecanismos alternativos para construção de soluções e técnicas para acelerar o processo de busca.

Nesse trabalho, a solução inicial do GRASP é gerada da seguinte maneira: a partir da base (toco) de um dado fuste, para a retirada da primeira tora, avaliam se quais produtos são candidatos, ou seja, possuem as características necessárias para que possa ser retirado naquele local. Os produtos candidatos são então colocados em uma lista e, posteriormente, um deles é selecionado aleatoriamente para ser retirado. Extraída a primeira tora, esse processo é reproduzido para o restante fuste, e assim, repetidamente, até que não seja mais possível retirar nenhum produto do que sobrou do fuste. A solução inicial (*s*) será então composta de uma sequência de produtos que podem ser extraídos do fuste, obtendo, ao final, um retorno financeiro calculado com a venda das toras em questão. A segunda parte do GRASP consiste





C.C. (cm)	Freq.	Valor (R\$)	Volume (m <sup>3</sup> )	Sortimento gerado (m)																
32.5	23	84.00	1.0380	3.8	3.8	3.8	3.1	3.1	1.8	1.5	3.3	1.0								
33.5	17	96.18	1.1092	2.6	3.1	3.1	3.8	3.8	3.2	2.3	1.8	1.7								
34.5	18	104.38	1.1816	3.1	3.8	2.6	3.8	3.8	3.9	3.2	1.3									
35.5	21	113.38	1.2573	3.8	2.6	2.6	2.6	2.6	3.1	3.5	2.3	1.6	1.1							
36.5	20	121.27	1.3335	3.8	3.1	2.6	2.6	2.6	3.8	1.8	2.7	2.8								
37.5	20	132.37	1.4140	2.6	3.1	3.8	2.6	3.1	3.8	2.7	2.4	1.1	1.0							
38.5	18	144.01	1.4946	3.8	3.8	3.1	2.6	2.6	3.8	3.7	1.8	1.1								
39.5	19	157.36	1.5771	3.8	3.1	3.1	3.8	3.1	3.8	3.2	1.5	1.0								
40.5	10	168.95	1.6631	3.8	2.6	2.6	2.6	2.6	3.1	3.8	2.3	2.3	1.0							
41.5	19	180.02	1.7489	2.6	3.1	3.1	3.8	2.6	2.6	3.8	3.8	1.3								
42.5	17	189.82	1.8364	3.1	3.8	3.1	2.6	2.6	3.1	3.8	2.5	2.0								
43.5	6	200.49	1.9252	2.6	3.8	3.1	3.8	2.6	2.6	3.8	1.5	2.6								
44.5	9	222.20	2.0208	2.6	3.8	3.1	2.6	2.6	3.1	3.1	2.2	3.8								
45.5	8	237.50	2.1157	3.1	3.8	2.6	3.1	2.6	3.8	3.8	1.6	1.5	1.2							
46.5	9	248.08	2.2128	3.1	2.6	3.8	3.1	2.6	3.8	3.1	2.3	1.4	1.5							
47.5	9	263.84	2.3105	3.8	2.6	3.8	3.1	2.6	3.8	3.1	2.2	2.3								
48.5	7	276.51	2.4115	3.8	3.8	2.6	3.8	2.6	3.8	3.9	2.0	1.1								
49.5	6	293.47	2.5115	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	3.8	3.1	3.1	1.9	1.1	1.2						
50.5	5	310.33	2.6134	3.8	2.6	3.1	2.6	2.6	2.6	2.6	3.1	1.8	1.1	1.0						
51.5	2	332.11	2.7235	3.1	2.6	2.6	3.8	3.1	2.6	3.1	3.1	2.3	1.3							
52.5	1	349.70	2.8300	3.8	3.1	3.1	2.6	2.6	2.6	3.1	4.0	2.5								
53.5	5	368.16	2.9410	3.1	3.8	3.8	2.6	2.6	2.6	3.1	3.2	1.6	1.2							
54.5	3	387.15	3.0509	3.1	2.6	3.1	3.1	3.8	3.1	3.1	3.4	2.0								
55.5	1	404.48	3.1622	3.8	3.1	3.1	2.6	3.8	2.6	3.1	3.7	1.3								
56.5	5	420.81	3.2817	3.8	3.8	2.6	3.1	3.1	2.6	2.6	4.0	2.1								
57.5	2	438.99	3.3994	3.8	3.8	2.6	3.8	2.6	2.6	2.6	3.7	2.3								
81.5	1	925.66	6.7910	2.6	3.8	3.1	3.1	2.6	2.6	2.6	2.6	3.1	1.5							

Analisando conjuntamente os dados, foi possível então calcular o volume e a receita total obtida por simulação após a execução do GRASP. Ambos são resultantes da soma, por centro de classe, do valor obtido após a multiplicação do volume e da receita, respectivamente, pela sua frequência. Dessa forma, a receita total obtida foi de R\$ 56702,63 e o volume total foi de 576,33 m<sup>3</sup>. Além disso, é importante também destacar que o GRASP executou em apenas 2 segundos, sobressaindo sua eficiência.

Os resultados obtidos pelo GRASP foram então comparados a Menon (2005). Esse, por sua vez, utilizou as meta-heurísticas *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético como geradoras de soluções, comparando-os com os dados calculados da renda média da colheita obtidos através das fichas de campo. Na Tabela 4 é possível observar, de forma sintetizada, os volumes e as receitas obtidas por alternativa de uso.

Tabela 4. Volume e receita por alternativa de uso.

Método	Receita (R\$)	Volume (m <sup>3</sup> )	Tempo de Execução(s)
Renda Média da Colheita	51590,76	577,251	-
Algoritmo Genético	56519,40	576,316	20,82 seg.
<i>Simulated Annealing</i>	55639,76	575,463	97,73 seg.
GRASP	56702,63	576,333	2 seg.

A partir dos dados avaliados, fica evidente a importância dos métodos utilizados para otimizar o sortimento florestal, agregando, portanto, maior valor econômico a madeira comercializada. Se comparado a receita do GRASP com a renda média dos dados da colheita, observa-se um acréscimo de 9,91%. Em relação ao Algoritmo Genético e ao *Simulated Annealing*, o GRASP obteve receitas 0,32% e 1,91%, respectivamente superiores.

Quanto aos volumes comercializados, apesar do GRASP ter apresentado um volume total equivalente ao Algoritmo Genético e inferior ao *Simulated Annealing*, é importante destacar que isso não influenciou de forma significativa na receita gerada. Esse fato é atribuído a otimização dos sortimentos, feito para maximizar os lucros com a venda das toras.

Por fim, apesar de ser difícil comparar o tempo de execução de algoritmos distintos implementados em linguagens de programação diferentes e executados em equipamentos distintos, é importante ressaltar que o GRASP foi eficiente o suficiente para ser executado em apenas 2 segundos. Sabe-se ainda que, o critério de parada adotado influencia no seu tempo de execução, sendo que quanto maior o número de iterações a serem processadas, maior será o tempo para que o GRASP seja executado. Contudo, quanto maior o número de buscas locais a serem feitas, maiores serão as chances de se alcançar uma renda ainda maior.

#### 4 CONCLUSÕES

A meta-heurística GRASP pôde ser avaliada quando aplicada ao problema do sortimento florestal. Por fim, pode-se concluir que esse método é eficiente e apresenta soluções de melhor qualidade em relação à outras meta-heurísticas existentes na literatura. Portanto, o GRASP cumpriu seu objetivo, conseguindo otimizar o sortimento florestal e, consequentemente, sendo capaz de minimizar os resíduos comerciais.

Pelo fato do GRASP ser uma meta-heurística, ela pode ser utilizada de diferentes maneiras para resolver problemas florestais de diferentes naturezas. Podendo, inclusive, ser aplicada alternativamente a outros problemas de otimização como: alocação de pátios, regulação florestal e roteamento de veículos para o transporte florestal.

Propõe-se como trabalhos futuros, a avaliação de outras heurísticas como Busca Tabu, *Clustering Search* (CS) e *Iterated Local Search* (ILS), aplicadas ao mesmo problema. Recomenda-se ainda, uma avaliação mais aprofundada da influência dos parâmetros do GRASP sobre os resultados obtidos, como por exemplo, o valor adotado para o critério de parada.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCE, J. E. Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte. 2000. 136p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. *Revista Árvore*, v.28, p.207-217, 2004.

CAMPOS, B. P. F.; BINOTI, D. H. B.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; BINOTI, M. L. M. Conversão de árvores em multiprodutos da madeira utilizando programação inteira. *Revista Árvore*, v.37, p.881-887, 2013.

CAMPOS, B. P. F.; BINOTI, D. H. B.; SILVA, M. L.; Leite, H. G.; BINOTI, M. L. M. Efeito do modelo de afilamento utilizado sobre a conversão de fustes de árvores em multiprodutos. *Scientia Florestalis*, v.42, p.513-520, 2014.

EHRGOTT, M.; GANDIBLEUX, X. A survey and annotated bibliography of multicriteria combinatorial optimization. *OR Spektrum*, v.22, p.425-460, 2000.

FEO T. A.; RESENDE, M. G. C. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. *Journal of Global Optimization*, v.6, p.109-133, 1995.

KOHLER, S. V.; WOLF, N. I.; FILHO, A. F.; ARCE, J. E. Dynamic of assortment of *Pinus taeda* L. plantation in different site classes in Southern Brazil. *Scientia Florestalis*, v.42, p.403-410, 2014.

LOPES, H. S.; RODRIGUES, L. C. A.; STEINER, M. T. A. Meta-heurísticas em Pesquisa Operacional. *Omnipax*, 2013, v.1, 472p.

MENON, M. U. Meta-heurísticas na Otimização do Sortimento Florestal. 2005. 119p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RESENDE, M. G. C.; RIBEIRO, C. C. Greedy randomized adaptive search procedures. *Handbook of Metaheuristics*, Kluwer Academic Publishers. p.219-250, 2002.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. *Revista Árvore*, v.27, p.811-820, 2003.