

Otimização do polimento de chapas de rochas ornamentais com uso de programação linear

Gleicon Roberto de Sousa Maior ^{1*} 

Juliano Tassinari Zagôto ¹ 

Marciel Zucoloto Pizetta ¹ 

Arthur Pereira Pires ¹ 

Resumo

O setor de rochas ornamentais tem passado por um processo de crescimento de oferta e demanda. Com isso, os complexos industriais têm crescido e se modernizado principalmente no setor do beneficiamento. No entanto, um estudo de otimização buscando a melhoria do processo de uma indústria de beneficiamento de rochas ornamentais localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, no Estado do Espírito Santo. O uso de programação linear pode auxiliar no encontro de um *mix* de produção ótimo para empreendimento, considerando a utilização adequada dos equipamentos já existentes e a disponibilidade de tempo de cada um destes. Desta forma, tomando como referência dados reais do empreendimento, que dispõe de seis diferentes jazidas cujas rochas apresentam diferentes características, como demanda, custo de produção, preço de venda e tempo de beneficiamento por chapa, fez-se possível encontrar uma melhoria para o empreendimento com o acréscimo do lucro final da ordem de 8% quando comparado ao cronograma de produção antes empregado, sem a necessidade de contratação de mão de obra ou aquisição de novos equipamentos.

Palavras-chave: Rochas ornamentais; Beneficiamento; Otimização; Programação linear.

Optimization of the polishing of ornamental stone slabs using the simplex methodology

Abstract

The dimension stones sector has been undergoing a process of supply and demand growth. As a result, industrial complexes have grown and modernized, mainly in the processing sector. However, an optimization study aimed at improving the process of an ornamental rock processing industry located in the municipality of Cachoeiro de Itapemirim, in the state of Espírito Santo, was carried out. The use of linear programming can assist in finding an optimal production mix for the enterprise, considering the appropriate use of existing equipment and the availability of time for each of them. In this way, based on real data from the enterprise, which has six different deposits with rocks that present different characteristics, such as demand, production cost, selling price, and processing time per slab, it was possible to find an improvement for the enterprise with an additional final profit of 8% compared to the production schedule previously employed, without the need to hire labor or acquire new equipment.

Keywords: Dimension stones; Processing; Optimization; Linear programming.

1 Introdução

O setor de rochas ornamentais no Brasil vem tendo um grande crescimento nas últimas três décadas. Hoje, o parque brasileiro de beneficiamento tem capacidade instalada de serragem e polimento de chapas de cerca de 140 Mm² /ano, entre produtos denominados como de processamento especial e de processamento simples, essas

últimas obtidas principalmente a partir de rochas portadoras de planos naturais de deslocamento (ardósias, quartzitos e gnaisses foliados, calcários e basaltos plaqueados, etc.) [1]. Os principais avanços ocorreram em decorrência do aumento na demanda de materiais para exportação, que evidenciaram uma evolução tanto qualitativa quanto quantitativa.

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, IFES, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

*Autor correspondente: gleicon.maior@ifes.edu.br



Diante desse cenário, o setor tem realizado diversos investimentos para expansão e modernização das unidades já existentes, bem como a implantação de novas unidades com equipamentos cada vez mais modernos e eficientes, o que aumenta a competitividade do mercado e, conseqüentemente, a qualidade do produto, o que traz cada vez mais benefícios ao mercado consumidor.

De acordo com dados fornecidos pela Comex Stat no início de janeiro de 2022, as exportações brasileiras de materiais rochosos naturais somaram US\$ 1,34 bilhão e 2,40 Mt, superaram os recordes históricos registrados em 2013 [2]. O estado do Espírito Santo é o maior exportador de rochas ornamentais do país, tendo no ano de 2020 respondido por 82,5% do total do faturamento nacional [3]. A cidade de Cachoeiro de Itapemirim é o maior polo de beneficiamento do estado, local onde está inserida a empresa na qual foi realizado o estudo apresentado. A Figura 1 apresenta um esquema representativo sobre os empreendimentos de rochas ornamentais.

A empresa alvo deste estudo atua no setor de beneficiamento secundário ou final de rochas ornamentais. Esse processo é conhecido no setor como polimento, porém engloba outros processos, como levigamento, resinagem e outros acabamentos superficiais (flamagem, apicoamento, escovação e jateamento), com foco no mercado interno.

O processo de polimento de rochas ornamentais intensifica o brilho das chapas, o qual pode ser obtido por meio de politrizes manuais, semiautomáticas e automáticas (Figura 2). Independente do tipo de politriz, o polimento é realizado pela ação de satélites rotativos, onde são acoplados os rebolos abrasivos, que para a realização efetiva do polimento, são aplicadas pressão e velocidade constantes para a realização do desgaste abrasivo [4]. O levigamento é caracterizado pelo desbaste inicial das chapas após a serragem, para prepará-las para o processo de resinagem, quando oportuno, e posteriormente para o polimento. Nessa etapa, os abrasivos são do tipo diamantado e com granulometria mais grosseira.

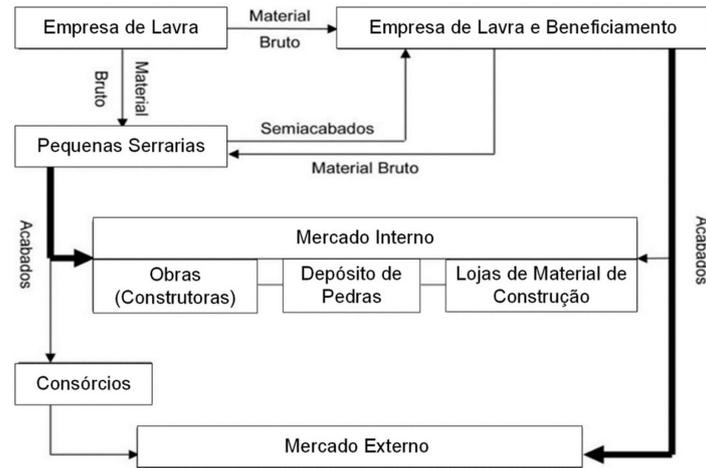


Figura 1. Esquema representando o organograma dos empreendimentos de rochas ornamentais. Modificado de [2].



Figura 2. Exemplo de politriz utilizada no processo de beneficiamento final de rochas ornamentais.

Após o processo de levigamento, em algumas rochas com características peculiares pode ocorrer o fechamento dos poros, mas outras não, e o processo de resinagem tem como objetivo o fechamento dos poros se utilizando de resinas para isso, e também uniformizar a superfície do material [5]. As resinas utilizadas no beneficiamento de rochas ornamentais requerem um nível elevado de adesividade, transparência e resistência, sendo aplicadas na superfície das chapas para proporcionar também resistência mecânica e química. Com a redução da porosidade após a realização do polimento, as chapas rochosas passam a apresentar mais cor e brilho, sendo este um processo com caráter tanto funcional quanto estético [6].

O uso da programação linear (PL) como ferramenta de otimização pode ser eficaz quando se busca encontrar o melhor *mix* de produtos e encontrar a produção ótima do empreendimento, contanto que a função objetivo e as restrições do modelo matemático sejam adequadas à metodologia, podendo-se buscar a maximização dos lucros de acordo com a capacidade instalada do empreendimento.

A PL teve início na segunda Guerra Mundial, tendo como objetivo organizar de forma mais eficiente possível os escassos recursos para operações militares, havendo, com isso, pesquisa sobre as operações, quando foi formada a primeira equipe de cientistas nesta área, que foram fundamentais na vitória da Batalha Aérea na Grã-Bretanha. Desde então, utilizar essa ferramenta ajuda diversas empresas a reduzir seus custos e aumentar significativamente seus lucros [7].

Andrade [8] realizou um estudo de caso de todo o processo produtivo de uma empresa de rochas ornamentais do estado Espírito Santo aplicando PL. Andreão et al. [9] simularam o processo de beneficiamento de rochas ornamentais no software ARENA valendo-se de ferramentas de pesquisa operacional, como PL e simulação de eventos discretos. Altoé e Andrade [10] e Moraes et al. [11] utilizaram a PL para otimizar o processo de corte bidimensional em chapas de rochas ornamentais. A programação linear possui um procedimento algébrico que busca a formulação e a resolução de equações lineares. No entanto, faz-se necessária a conversão das restrições funcionais de desigualdade em restrições de igualdade equivalentes através da introdução de termo adicional em

cada restrição do problema, termo conhecido como variável de folga, buscando transformar a formulação real em uma forma padrão para a resolução de problemas envolvendo programação linear [12,13]. Em 1979, Khachiyan propôs o primeiro algoritmo de tempo polinomial para programação linear. Este algoritmo, conhecido por elipsoide, não teve sucesso prático em virtude do tamanho das matrizes geradas, pela necessidade de precisão numérica acentuada e em decorrência de instabilidade numérica [14].

Já em 1984, Karmakar desenvolveu um algoritmo de ponto interior com tempo polinomial e potencial para resolver instâncias práticas. Apesar do tempo polinomial dos algoritmos de ponto interior, o algoritmo Simplex é muito mais empregado, em parte porque ele é mais eficiente em uma gama considerável de problemas, é de fácil implementação e também em função de suas aplicações em outros tipos de programação matemática [15].

2 Metodologia

Após toda análise bibliográfica sobre o que seria necessário para a realização deste trabalho, foram realizadas análises *in loco* com ajuda dos colaboradores do projeto, a fim de se levantar os valores reais de cada processo com a menor margem de erro possível. A empresa trabalha com os seguintes produtos: Amarelo Capri, Marrom Absoluto, Verde Ubatuba, Preto Absoluto, Branco Dallas e Amarelo Florença.

Para a obtenção de valores do processo de levigamento e de polimento, foram analisados o desgaste dos abrasivos, além da quantidade da mistura entre resina e catalisador utilizado para dar brilho às chapas de cada material vendido pela empresa.

Com relação ao desgaste dos abrasivos, foram avaliados doze rebolos (Figura 3) utilizados para polir as chapas de modo a não interferir na produção do empreendimento. As medições foram feitas antes e depois do polimento com uso de um paquímetro *Digital Caliper 0 - 150 mm*, onde foi analisado o grau de desgaste de cada rebolo. O tempo do processo de polimento foi tomado para materiais de mesma área, 65 m².



Figura 3. Locais das medições no rebolo abrasivo.

Para iniciar a fase de resinagem, faz-se necessário secar as chapas e, para isso, utiliza-se o GLP (gás liquefeito de petróleo). O custo com GLP foi dividido entre todas as chapas polidas durante o período de estudo.

Com as chapas secas e prontas, é iniciada a resinagem (Figura 4). Esta etapa consiste na mistura de um catalisador com a resina, na proporção de 35% e 65%, respectivamente. O peso total do conjunto varia de acordo com a rocha a ser resinada, e é medido com auxílio de uma balança digital Sf-400. O tempo do processo de resinagem é registrado através do ciclo de resinagem de 8 chapas, pois todas são resinadas sobre uma bancada ao mesmo tempo. Assim, o tempo total de resinagem foi dividido por 8 para podermos calcular o tempo de cada chapa individualmente.

Outros custos existentes no processo são relativos à folha de pagamento dos colaboradores e aos serviços auxiliares do empreendimento. Um dos maiores custos extras está relacionado à necessidade de tratar os efluentes do processo para destinação final dos finos de beneficiamento de rochas ornamentais (FIBRO). Para isso, faz-se necessário usar floculantes durante o processo de separação sólido-líquido.

Tendo como base que os custos operacionais e os tempos de cada etapa foram estimados, a fase seguinte se deu

pela formulação do problema e o lançamento dos dados no *software* Lingo 19.0 versão de teste, utilizado para modelagem e resolução de problemas lineares e não lineares de otimização. Vale ressaltar que as restrições de não negatividade são deixadas como desigualdades, pois serão tratadas separadamente, conforme o modelo abaixo, representado pelas Equações 1-5.

Função Objetivo:

$$Max \text{ ou } Min Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n + (c_{n+1}x_{n+1} + \dots + c_{n+m}x_{n+m}) \tag{1}$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + (x_{n+1}) = b_1 \tag{2}$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n + (x_{n+2}) = b_2 \tag{3}$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n + (x_{n+m}) = b_n \tag{4}$$

$$x_1 : x_{n+m} \geq 0 \tag{5}$$

A Figura 5 apresenta o fluxograma explicativo da metodologia adotada para realização desse estudo.



Figura 4. Chapas posicionadas e sendo resinadas.

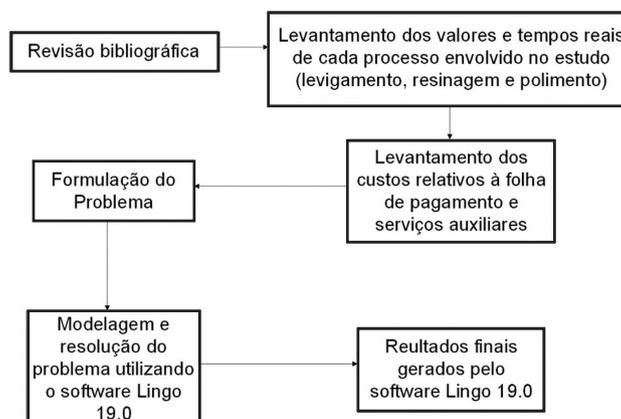


Figura 5. Fluxograma explicativo da metodologia adotada no estudo.

3 Resultados e discussões

A Tabela 1 apresenta o valor gasto por m² pela empresa na compra dos produtos que são beneficiados na mesma, onde a rocha mais barata por m² é o Verde Ubatuba – R\$42,00. Já a mais cara é o Amarelo Capri – R\$110,00.

A mesma tabela também apresenta o volume de material adquirido em m²/mês, onde o Verde Ubatuba e o Amarelo Capri se destacam novamente, como os materiais com maior e menor demanda, respectivamente.

A Tabela 2 se refere ao custo médio do processo de resinagem de cada material comercializado pela empresa. Esse custo é apresentado apresentando separadamente visto que antes da resinagem as chapas precisam ser secas, e se calculou um custo médio de R\$0,54/m² de gás utilizado para esta operação. Nessa mesma tabela se encontram o peso em gramas da quantidade de resina e de catalizador utilizados na

mistura da resinagem, além dos respectivos valores em m² de cada material em questão. Vale observar que o Verde Ubatuba necessita de uma maior quantidade de resina e catalizador (448g), ao passo que o Preto Absoluto dispensa o processo de resinagem, não apresentando, portanto, custo nem quantidade consumida na Tabela 3. Entretanto, o Preto Absoluto e o Marrom Absoluto necessitam de um realçador de brilho, incrementando os custos em respectivos R\$0,10 e R\$0,12/m².

A Tabela 3 se refere ao custo de processamento de levigamento, polimento e de resinagem cada material comercializado pela empresa, apresentando separadamente o valor por m². Destacam o Preto Absoluto, que tem o menor custo total, e o Verde Ubatuba, com o maior valor.

Os custos com a folha de pagamento, a eletricidade e o agente floculante foram abordados na Tabela 4, e foram atribuídos a cada material de tal maneira que o custo total de produção ficasse mais próximo da realidade.

Tabela 1. Custo e quantidade média de material adquirido por mês

Produtos	Quantidade (m ² /mês)	Custo (R\$/m ²)
Amarelo Capri	24	R\$110,00
Marrom Absoluto	118	R\$ 68,00
Verde Ubatuba	4508	R\$ 42,00
Preto Absoluto	2761	R\$ 98,00
Branco Dallas	230	R\$ 70,00
Amarelo Florença	136	R\$ 78,00

Tabela 2. Custo médio do processo de resinagem de cada material estudado

Produtos	Quantidades de Mistura /chapa (g)		Total	Realçador de brilho (R\$/m ²)	Custo (R\$/m ²)
	Resina	Catalizador			
Amarelo Capri	228	123	351	-	1,78
Marrom Absoluto	228	123	351	0,12	1,90
Verde Ubatuba	291,2	156,8	448	-	2,28
Preto Absoluto	-	-	-	0,10	0,10
Branco Dallas	228	123	351	-	1,78
Amarelo Florença	228	123	351	-	1,78

Tabela 3. Custo médio dos processos de levigamento, polimento e resinagem de cada produto estudado

Produtos	Custo médio Levigamento (R\$/m ²)	Custo médio Polimento (R\$/m ²)	Custo médio Resinagem (R\$/m ²)	Total
Amarelo Capri	0,57	0,50	1,78	2,85
Marron Absoluto	0,23	0,17	1,90	2,30
Verde Ubatuba	0,93	0,24	2,28	3,45
Preto Absoluto	-	1,16	0,10	1,26
Branco Dallas	0,08	0,35	1,78	2,21
Amarelo Florença	0,48	0,59	1,78	2,85

Tabela 4. Custos gerais rateados

	Custo total / mês	Custo rateado / m ²
Folha de Pagamento	R\$ 37.500,00	R\$ 4,92
Energia Elétrica	R\$ 8.000,00	R\$ 1,05
Agente floculante	R\$ 784,00	R\$ 0,10

Por fim a Tabela 5 apresenta os custos totais dos processos listados subdivididos por cada material, tanto em relação aos custos unitários (R\$/m²) como aos custos mensais (R\$/mês), incluindo a produção mensal (m²/mês) de cada material. Vale salientar que o Verde Ubatuba tem o menor custo unitário de produção, equivalente a 51,52 R\$/m², ao passo que o Amarelo Capri apresenta o maior custo unitário, equivalente a 118,92 R\$/m²; ambos apresentam, respectivamente, a maior e a menor produção mensal, 4508 m² e 24 m².

Para podermos formular o modelo matemático com o objetivo de maximizar os lucros da empresa em questão, foi necessário conhecer os valores de venda de cada material, sempre relacionando-os em m². Na Tabela 6 é possível observar o lucro total (R\$/mês) discriminado por material, obtido a partir de informações sobre a média de produção (m²), o valor de venda (R\$/m²), os custos totais (R\$/m²) e o lucro (R\$/m²). Foi observado que o Verde Ubatuba apresenta o maior lucro por m², equivalente a R\$ 21,48, ao passo que o Amarelo Florença apresenta o menor, R\$ 8,08. A empresa apresenta, portanto, um lucro mensal estimado de R\$ 155.903,06/mês.

O tempo de ocupação da máquina nos processos de levigamento e polimento também são fatores necessários para se formular o modelo matemático de Programação Linear (PL), pois irão fazer parte das restrições do modelo, valores de tempo que estão presentes na Tabela 7, que sempre considera em sua análise temporal a inserção de 65 m² levando em consideração as características das rochas e velocidade máxima de polimento para cada tipo de material.

É importante observarmos que o Preto Absoluto possui um acréscimo de tempo na ocupação da máquina de 40 segundos por metro quadrado de rocha, resultando em 1 minuto e 29 segundos por metro quadrado, isso se deve ao seu retorno à politriz após a aplicação do produto realçador de brilho.

Para os materiais estudados, deve-se computar 30 minutos por ciclo durante o processo de resinagem, resultando um total de 5 horas por dia nesta operação, enquanto as 3 horas restantes são utilizadas para a movimentação das chapas resinadas até os cavaletes.

Tabela 5. Custos totais e produção mensal dos materiais

Material	Custo unitário (R\$/ m ²)	Produção (m ² / mês)	Custo Total (R\$/mês)
Amarelo Capri	R\$ 118,92	24	R\$ 2.854,12
Marrom Absoluto	R\$ 76,37	118	R\$ 9.012,14
Verde Ubatuba	R\$ 51,52	4508	R\$ 232.256,79
Preto Absoluto	R\$ 105,33	2761	R\$ 290.804,98
Branco Dallas	R\$ 78,20	230	R\$ 17.986,31
Amarelo Florença	R\$ 86,92	136	R\$ 11.820,94
Custo Total			R\$ 564.735,29

Tabela 6. Preço de venda e lucro de cada material

Material	Média da produção (m ² / mês)	Valor de venda (R\$/m ²)	Custos Totais (R\$/ m ²)	Lucro (R\$/m ²)	Lucro Total (R\$/mês)
Amarelo Capri	24	135	R\$ 118,92	R\$ 16,08	R\$ 385,88
Marrom Absoluto	118	85	R\$ 76,37	R\$ 8,63	R\$ 1.017,86
Verde Ubatuba	4508	73	R\$ 51,52	R\$ 21,48	R\$ 96.827,21
Preto Absoluto	2761	125	R\$ 105,33	R\$ 19,67	R\$ 54.320,02
Branco Dallas	230	88	R\$ 78,28	R\$ 9,72	R\$ 2.235,71
Amarelo Florença	136	95	R\$ 86,92	R\$ 8,08	R\$ 1.099,06
				Lucro Total / mês	R\$ 155.903,71

Tabela 7. Tempo de ocupação da politriz para cada tipo de material

Materiais	Ocupação (h/m ²)						Tempo Total (h/m ²)
	Entrada (h)	Saída (h)	Tempo (h/m ²)	Entrada (h)	Saída (h)	Tempo (h/m ²)	
Amarelo Capri	13:02	13:43	00:00:38	09:54	10:35	00:00:38	00:01:16
Marrom Absoluto	09:11	09:54	00:00:40	07:32	08:21	00:00:45	00:01:25
Verde Ubatuba	09:12	09:52	00:00:37	09:10	09:52	00:00:33	00:01:10
Preto Absoluto	-	-	-	13:20	14:13	00:00:49	00:00:49
Branco Dallas	07:40	08:24	00:00:41	10:12	10:56	00:00:41	00:01:21
Amarelo Florença	09:53	10:47	00:00:50	07:42	08:27	00:00:42	00:01:31

Os valores apresentados em todas as tabelas foram introduzidos no Solver Lingo, que calculou o *mix* ótimo de produção para cada material comercializado pela empresa a fim de maximizar o lucro da mesma. Foram consideradas como variáveis do modelo os diferentes materiais, tal que: Amarelo Capri = X1; Marrom Absoluto = X2; Verde Ubatuba = X3; Preto Absoluto = X4; Branco Dallahs = X5; Amarelo Florença = X6.

A partir das informações apresentadas nas Tabelas 1-7, foi possível obter o modelo linear de otimização exposto nas Equações 6-8.

$$\text{Maximizar } \sum_{i \in I} C_i X_i, I = 1, \dots, 6 \quad (6)$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{i \in I} T_i X_i, I = 1, \dots, 6 \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} R_i X_i, I = 1, \dots, 6 \quad (8)$$

$$X_1 \geq 24, X_2 \geq 118, X_3 \geq 4508, X_4 \geq 2661, X_5 \geq 230, X_6 \geq 136. \quad (9)$$

Onde:

Ci's: são os valores de venda dos materiais Xi;

Ti's: as constantes das restrições de custos;

Ri: as quantidades produzidas para cada material.

A Figura 6 apresenta o relatório de saída do *software*.

Assim, conforme demonstrado pelo estudo na resolução do modelo linear proposto neste estudo, o *mix* ideal ocorrerá com o aumento na produção do Verde Ubatuba, e caso isso ocorra, a empresa terá um aumento no lucro de R\$13.269,49 no fluxo de caixa mensal, passando a ter um lucro mensal de R\$169.173,20, um aumento de 7,8%. Desta forma, sem realizar grandes alterações no processo produtivo do empreendimento, como aquisições de novos equipamentos ou contratação de mão de obra, a empresa apresentaria um aporte anual de aproximadamente 2 milhões de reais, dentre os quais R\$ 159.233,88 seriam devidos à otimização de sua operação efetuada neste estudo.

LINGO/WIN64 19.0.32 (3 Dec 2020), LINDO API 13.0.4099.242

Licensee info: Eval Use Only
License expires: 24 AUG 2021

Global optimal solution found.

Objective value: 169173.2
Infeasibilities: 0.000000
Total solver iterations: 1
Elapsed runtime seconds: 0.04

Model Class: LP

Total variables: 6
Nonlinear variables: 0
Integer variables: 0

Total constraints: 9
Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 24
Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	24.00000	0.000000
X2	118.0000	0.000000
X3	5126.889	0.000000
X4	2761.000	0.000000
X5	230.0000	0.000000
X6	136.0000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	169173.2	1.000000
2	0.000000	18.35897
3	710.5900	0.000000
4	0.000000	-7.235897
5	0.000000	-17.43974
6	618.8889	0.000000
7	0.000000	-7.501282
8	0.000000	-15.06462
9	0.000000	-19.82564

Figura 6. Resultados obtidos pelo LINGO 19.0 mostrando a otimização da produção e o lucro máximo.

4 Conclusão

Para realização do estudo e aplicação do método proposto foi necessária toda uma fase minuciosa de coleta e tratamento dos dados coletados, das fases de levigamento, resinagem e polimento, também foram levantados valores como a compra de matéria prima, folha de pagamento de funcionários, tempo de produção, quantidade de mistura (resina e catalizador), valores como eletricidade, dentre outros.

Através da criação de um modelo de programação linear caracterizando a operação do empreendimento, seguida da resolução do problema no solver Lingo, foi observada que a produção ótima pode ser atingida sem que novos investimentos sejam feitos somente pelo incremento da produção do material

Verde Ubatuba, o que resultaria em um aumento de eficiência dos processos e no aumento do lucro mensal da ordem de 7,8%, aumento equivalente a R\$ 159.233,88 por ano. Portanto, a Programação Linear provou ser um excelente método para otimização dos processos visando a maximização dos lucros referentes ao beneficiamento de rochas ornamentais.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pelo financiamento parcial deste estudo e à empresa que nos cedeu as informações necessárias para este estudo.

Referências

- 1 Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Perfil das atividades do setor de rochas ornamentais no Brasil. Brasília: ABIROCHAS; 2021 [acesso em 5 fev. 2022]. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Perfil-das-Atividades-Setoriais-Brasil-2021.pdf>
- 2 Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das exportações e importações brasileiras de materiais rochosos naturais e artificiais de ornamentação e revestimento em 2021. Brasília: ABIROCHAS; 2022 [acesso em 20 fev. 2022]. Disponível em: https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/03/Informe-01_2022-Exportacoes-2021.pdf
- 3 Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das exportações e importações brasileiras em 2020. Brasília: ABIROCHAS; 2021 [acesso em 20 fev. 2022]. Disponível em: https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe-01_2021-Balanc%CC%A7o-2020-1.pdf
- 4 Silveira LLL, Almeida PH, Bolonini TM, Souza ML, Machado LL, Peixoto SC. Contribuição para o avanço tecnológico da fase de polimento de rochas ornamentais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC; 2017 [acesso em 11 abr. 2023]. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2112>
- 5 Chiodi C Fo, Kistemann DO. Setor de rochas ornamentais do Brasil. In: Vidal FWH, Pinheiro JR, Castro NF, Caranassios A. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI; 2014. p. 493-526.
- 6 Pereira AM, Silva LA, Garrot TG, Correia JCG, Carauta ANM. Resinas aplicadas ao beneficiamento de rochas ornamentais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC; 2020 [acesso em 11 abr. 2023]. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2371/1/sta-112.pdf>
- 7 Neves MC. Estudo experimental do polimento de diferentes “granitos” e as relações com a mineralogia [dissertação]. São Carlos: Universidade de São Paulo; 2010.
- 8 Andrade LCS. Análise do processo produtivo de granito no Espírito Santo: um estudo de caso [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2005.
- 9 Andreão LP, Fontana VS, Tavares ER. Simulação do processo de beneficiamento de rochas com o software ARENA. Revista Científica Dimensão Acadêmica. 2017 [acesso em 5 fev. 2022];2:92-112. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/09/revista-dimensao-academica-v02-n02-completa.pdf>
- 10 Altoé AP, Andrade JV. Otimização do problema de corte bidimensional no setor de rochas ornamentais [trabalho de conclusão de curso]. Cachoeiro de Itapemirim: Faculdade do Espírito Santo – Multivix; 2014.
- 11 Moraes RA, Rezende MCM, Zagôto JT, Destro E, Souza FR. Otimização do processo de corte bidimensional de chapas de rochas ornamentais utilizando programação matemática. In: Centro de Tecnologia Mineral. Livro de Resumos do X Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste – X SRONE; 2019 Nov 5-7; Fortaleza, Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC; 2019. p. 60-61.
- 12 Hillier FS, Lieberman GJ. Introdução à pesquisa operacional. 9. ed. São Paulo: The Bookman; 2013.
- 13 Almeida L, Martins G, Silva W. Otimização de processos utilizando programação linear. Enciclopédia Biosfera. 2013 [acesso em 5 fev. 2022];9:1641-1653. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/agrarias/otimizacao%20de%20processos.pdf>

- 14 Pizetta MZ, Silva LL, Pizetta PZ, Feitosa MCA. Proposta para avaliação do uso da programação linear para o gerenciamento de custos na produção de brita através de rejeitos de rochas ornamentais. In: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. Anais da Semana de Estudos da Mineração – SEMIN; 2016 Out 3-7; Cachoeiro de Itapemirim, Brasil. Cachoeiro de Itapemirim: IFES; 2016. p. 14-22.
- 15 Santoro C. Desenvolvimento e caracterização de um dispositivo dosimétrico para um sistema de monitoração individual externa X e gama [tese]. Recife: Universidade Federal de Pernambuco; 2013.

Recebido em: 9 Fev. 2022

Aceito em: 11 Abr. 2023