



*Ciência, tecnologia e inovação:*

# GERAÇÃO DE EMPREGO E DEMOCRATIZAÇÃO DE OPORTUNIDADES 2

---

*Elói Martins Senhoras*

*(Organizador)*



*Ciência, tecnologia e inovação:*

# GERAÇÃO DE EMPREGO E DEMOCRATIZAÇÃO DE OPORTUNIDADES 2

---

*Elói Martins Senhoras*

*(Organizador)*

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof. Dr. Alexandre de Freitas Carneiro – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Ana Maria Aguiar Frias – Universidade de Évora

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva – Universidade de Coimbra

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
 Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
 Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
 Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
 Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Caroline Mari de Oliveira Galina – Universidade do Estado de Mato Grosso  
 Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
 Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
 Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
 Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
 Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
 Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Geuciane Felipe Guerim Fernandes – Universidade Estadual de Londrina  
 Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
 Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
 Prof. Dr. Jadilson Marinho da Silva – Secretaria de Educação de Pernambuco  
 Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
 Prof. Dr. Jodeyson Islony de Lima Sobrinho – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
 Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso  
 Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
 Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Kátia Farias Antero – Faculdade Maurício de Nassau  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal do Paraná  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lucicleia Barreto Queiroz – Universidade Federal do Acre  
 Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
 Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Universidade do Estado de Minas Gerais  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Marianne Sousa Barbosa – Universidade Federal de Campina Grande  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Marcela Mary José da Silva – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
 Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campina  
 sProf<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
 Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
 Prof. Dr. Pedro Henrique Máximo Pereira – Universidade Estadual de Goiás  
 Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
 Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
 Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Federal da Bahia / Universidade de Coimbra  
 Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
 Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciência, tecnologia e inovação: geração de emprego e democratização de oportunidades 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Elói Martins Senhoras

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
C569	<p>Ciência, tecnologia e inovação: geração de emprego e democratização de oportunidades 2 / Organizador Elói Martins Senhoras. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF  Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  Modo de acesso: World Wide Web  Inclui bibliografia  ISBN 978-65-258-0926-7  DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.267232401">https://doi.org/10.22533/at.ed.267232401</a></p> <p>1. Tecnologia. 2. Ciência. 3. Inovação. I. Senhoras, Elói Martins (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 601</p>
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O objetivo desta obra, intitulada “Ciência, tecnologia e inovação: Geração de emprego e democratização de oportunidades 2” é apresentar uma agenda temática para a promoção de novos produtos e serviços que potencializem o desenvolvimento econômico com base no rompimento dos ciclos de estabilidade e na conformação de dinâmicas ruptivas ou incrementais nos circuitos de produção.

Partindo deste contexto corrente de fluidez e complexidade, o objetivo desta obra é ampliar os debates temáticos com um enfoque pluralístico, fundamentando-se em um trabalho coletivo de autores que valorizam em suas pesquisas a riqueza empírica da realidade de um conjunto de estudos de caso nos quais há oportunidades para se impulsionar a ciência, a tecnologia e a inovação.

O trabalho realizado pelos profissionais envolvidos neste livro somente foi possível em razão do trabalho coletivo arquitetado de modo colaborativo a várias mãos por pesquisadores com diferentes *expertises* profissionais e formações acadêmicas, oriundos de distintas instituições de ensino superior, os quais compartilham o comum interesse pela ciência, tecnologia e inovação.

Estruturado em quatro capítulos que se fundamentam na pluralidade teórica e metodológica do pensamento, esta obra de coletânea apresenta o ecletismo como paradigma teórico-metodológico, utilizando-se de revisão bibliográfica e documental como procedimentos de levantamento de dados, bem como hermenêutica e análise gráfica e estatística como procedimentos principais na interpretação e análise de dados.

A natureza exploratória, descritiva e explicativa dos capítulos do presente livro combina distintas abordagens quali-quantitativas, paradigmas teóricos e recortes metodológicos de levantamento e análise de dados primários e secundários, os quais proporcionam uma imersão aprofundada em uma agenda eclética de estudos sobre a aplicação empírica da ciência, tecnologia e inovação.

Conclui-se para apreciação de leitura que uma pontual visão da ciência, tecnologia e inovação é ofertada, fundamentada em relevantes análises de estudos de casos que corroboram teórica e empiricamente para a produção de novas informações e conhecimentos sobre janelas de oportunidade para a promoção da inovação como elemento de rompimento dos ciclos de estabilidade e de fomento a novas dinâmicas de produção e acumulação.

Excelente leitura!

Elói Martins Senhoras



<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA CADEIA AGROINDUSTRIAL DO COCO VERDE	
Elói Martins Senhoras	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2672324011">https://doi.org/10.22533/at.ed.2672324011</a>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>16</b>
FIBRAS MICROALGAIS: DA PREPARAÇÃO À CARACTERIZAÇÃO	
Jéssica Cristine Viera Machado Santini	
Kéllen Francine Anschau	
Liana da Silva Fernandes	
Luiz Fernando Rodrigues Junior	
Sérgio Roberto Mortari	
Michele Rorato Sagrillo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2672324012">https://doi.org/10.22533/at.ed.2672324012</a>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>18</b>
PLANEJAMENTO ESTOCÁSTICO NA LAVRA DE MINAS - UMA ABORDAGEM INOVADORA	
Vidal Félix Navarro Torres	
Taís Renata Câmara	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2672324013">https://doi.org/10.22533/at.ed.2672324013</a>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>28</b>
ESTUDO MORFOMÉTRICO DE LESÕES CUTÂNEAS ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO E SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS	
Daniela Bastos	
Paulo José dos Reis	
Ana Paula Winyk	
Tania Toyomi Tominaga	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.2672324014">https://doi.org/10.22533/at.ed.2672324014</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>44</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>45</b>

# PLANEJAMENTO ESTOCÁSTICO NA LAVRA DE MINAS - UMA ABORDAGEM INOVADORA

*Data de aceite: 02/01/2023*

**Vidal Félix Navarro Torres**

Instituto Tecnológico Vale

**Taís Renata Câmara**

Vale S.A

**RESUMO:** O processo de planejamento de lavra para minas a céu aberto, pode ser dividido resumidamente nas seguintes etapas: cava final com cavas aninhadas, definição das fases de lavra, planos anuais período a período, blendagem, otimização de teor de corte e pilhas de estoque. A metodologia tradicional pode ser aprimorada com a adoção de um único processo de otimização (Sequenciamento Direto de Blocos) que englobe todas as atividades listadas e que considere incertezas geológicas, operacionais, de mercado, entre outras. O avanço tecnológico dos computadores aliado a novos trabalhos que reduzem o tempo computacional necessário para aplicar essas novas metodologias, estão as tornando viáveis para serem utilizadas na indústria de mineração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planejamento de lavra. Determinístico. Estocástico.

**ABSTRACT:** The mining planning for

open pit mines can be divided into stages: final pit with nested pits, determination of pushbacks, annual plans from period to period, blending, optimization of cut-off grade and stockpiles. The traditional methodology can be improved by adopting a single optimization process (Direct Block Scheduling) that encompasses all listed activities and takes into account geological, marketing, operational and other types of uncertainties. The technological improvement of computers together with new works that reduce the computational complexity allowed reducing the computational time needed to apply these new methodologies, making them viable for use in the mining industry.

**KEYWORDS:** Mine planning. Deterministic. Stochastic.

## 1 | INTRODUÇÃO

O planejamento de lavra para minas a céu aberto é um processo conhecido e estabelecido há bastante tempo. A metodologia mais comumente empregada nas empresas de mineração para quantificar suas reservas e o retorno financeiro obtido com as mesmas é o

método apresentado por Lerchs Grossmann (1965). Os ditos autores propuseram um algoritmo matemático que permite desenhar o contorno de uma cava a céu aberto de tal forma que se maximize a diferença entre o valor total da mineralização lavrada e o custo total da extração do minério e estéril.

Entretanto, esta metodologia (LG) apresenta um problema de conhecimento geral, pois não aplica o desconto relativo ao período de lavra corretamente, uma vez que considera que todos os blocos são lavrados no mesmo intervalo.

Algumas alternativas vêm sendo testadas para tentar resolver este problema de forma diferente do método tradicional. Desde 1968, no trabalho proposto por Johnson (J., 1968), o método de Sequenciamento Direto de Blocos (SDB) foi apresentado. Este método aplica desconto diferenciado a cada bloco corretamente, pois trata cada bloco individualmente no sequenciamento de cava. O conceito de cava final e sequenciamento são tratados como um resultado natural da lavra de cada bloco assim como ocorre em um empreendimento real.

O principal ponto de diferença entre as duas metodologias é que a decisão de retirada do bloco é avaliada de acordo com o período em que realmente este bloco será lavrado. Esta consideração faz com que os blocos retirados em períodos posteriores sejam penalizados com um maior fator de desconto, assim como esperado na prática. Desta forma, o sistema de SDB tende a buscar blocos com maior receita nos primeiros períodos, mesmo que em alguns casos isto também aumente ligeiramente a quantidade de estéril lavrada, mas que resultem em um maior Valor Presente Líquido (VPL) do empreendimento.

Tradicionalmente, os processos de sequenciamento de lavra estão baseados em um único modelo determinista do corpo mineralizado, que por ser uma estimativa, é incapaz de reproduzir a variabilidade intrínseca à realidade do depósito mineralizado (Senhorinho, 2008).

A incorporação da incerteza geológica é fundamental para diminuição dos riscos do empreendimento. Para a incorporação desta estocasticidade, podem ser utilizadas simulações geoestatísticas, que têm como objetivo estimar a variabilidade do material, assim como o possível valor para cada bloco. A condicionante estocástica simula os possíveis cenários de acordo com os dados amostrados de maneira a representar as possíveis situações equiprováveis. Dimitrakopoulos (2011) afirma em seu trabalho que a disponibilidade de múltiplos modelos igualmente prováveis de um depósito permite que os planejadores de minas avaliem a sensibilidade do projeto e a sequência de produção de longo prazo considerando a incerteza geológica (figura 1).

Na atualidade, vários métodos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de incorporar as incertezas geológicas no processo de sequenciamento de lavra. Godoy e Dimitrakopoulos (2004) implementaram um algoritmo de *Simulated Annealing* para controlar a incerteza na determinação dos períodos de lavra dos blocos de forma a minimizar os riscos de desvios de taxas de produção. Ramazan e Dimitrakopoulos (2004) introduziram restrições

probabilísticas ao modelo convencional de programação inteira mista tentando caracterizar o risco de um bloco estar acima ou abaixo de um determinado teor de corte. Com o intuito de caracterizar verdadeiramente a incerteza dos teores Ramazan e Dimitrakopoulos (2008) introduzem um modelo SIP (*stochastic integer programming*) que visa maximizar o fluxo de caixa descontado e minimizar os desvios em relação às taxas de produção ao longo da vida da mina.

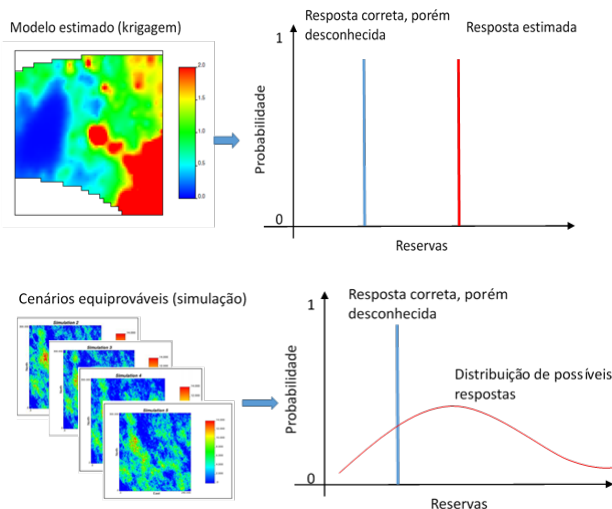


Figura 1 – Planejamento tradicional x estocástico.

Fonte: Adaptado de Dimitrakopoulos, 2011.

A abordagem estocástica do SDB objetiva determinar o arranjo de blocos que maximiza o VPL considerando a incerteza geológica e a variabilidade das variáveis. O sequenciamento estocástico deve determinar o melhor destino possível para cada bloco do depósito individualmente, devido à metodologia utilizada ser capaz de cobrir desde a produção de longo prazo até a produção diária, uma vez que considera a viabilidade operacional de cada bloco.

Os estudos na área de SDB, nos diferentes centros de pesquisa mundiais (Cosmo – McGill, Delphos – Universidade do Chile, Operations Group – Universidad Adolfo Ibáñez), apontam para uma forte tendência de modificação da atual metodologia utilizada em planejamento de lavra para esta nova abordagem e alguns destes centros já estão bem avançados quanto à questão de modelos reais e restrições específicas.

## 2 | PROCEDIMENTOS

De forma a quantificar os ganhos do uso de Sequenciamento Direto de Blocos

utilizando incertezas geológicas para definição de cava final, a metodologia foi comparada com o processo de planejamento de lavra utilizado nos principais softwares comerciais de mineração.

Os testes foram realizados utilizando um modelo de blocos estimado por krigagem (determinístico) e por modelos simulados (cenários equiprováveis de realizações - estocásticos).

A comparação será feita de duas formas: planejamento de lavra utilizando método LG versus método SDB, ambos com modelo determinístico; e após utilizando método LG versus método SDB, porém utilizando modelos simulados.

## 2.1 Planejamento convencional

A partir do modelo de blocos, contendo informações de teores, densidade, litologias, geológicas e geomecânicas, o processo tradicional de planejamento é realizado. Além do modelo de blocos é necessário definir uma função benefício, a qual irá definir o valor econômico de cada bloco, baseado em seu teor de corte e a receita que o mesmo irá fornecer.

Com o critério de otimização para maximizar o valor total da cava, o problema do projeto de cava passa a ser encontrar aquele grupo de blocos que fornecerá o máximo valor possível, sujeito à estabilidade da mina e a restrições à lavra.

A função benefício é uma expressão matemática que atribui ao bloco os custos, preços e ganhos de eficiência como dados de entrada. Os custos geralmente envolvidos no bloco são custo de lavra por tonelada, custo de processamento por tonelada, custo de reabilitação da área por tonelada e custo de venda do produto por unidade de produto produzido, demonstrados nas seguintes equações, (1), (2) e (3):

$$FB = receita - custos \quad (1)$$

$$Receita = Teor * Recuperação * (Preço - custo\_venda) \quad (2)$$

$$Custos = Custo\_lavra + Custo\_processo + Custo\_G\&A \quad (3)$$

## 2.2 Planejamento estocástico

O problema global para ser resolvido com maior eficiência é dividido em subproblemas menores, que são resolvidos sequencialmente em ordem crescente de modo a gerar uma solução global do empreendimento. Cada subproblema pode ser associado a etapas de lavra de modo a encontrar boas soluções factíveis, geralmente próximas do ótimo, com boa eficiência computacional.

Para a resolução destes problemas, geralmente é aplicada a técnica de programação

inteira mista. A formulação do problema é fundamentada pelas receitas e custos de operação e produção. Os modelos considerando programação inteira mista fornecem uma formulação para sequenciamento otimizado da produção, controle da produção de minério, teores e meta de produção.

Segundo Ramazan e Dimitrakopoulos (2012), citados também em Marinho (2013), a função a ser maximizada é dividida em 4 parcelas (equações 4, 5, 6, 7 e 8); a primeira parcela que compõe a função objetivo é responsável por acumular o VPL proveniente da lavra, considerando que o bloco será lavrado e processado no mesmo intervalo de tempo. Já a segunda parte compensa a perda gerada pelo bloco lavrado e direcionado à pilha de estoque. A terceira parte contabiliza o minério retomado da pilha de estoque que será processado no período avaliado. A quarta parcela é responsável por quantificar os riscos. A função será penalizada de acordo com os custos pré-definidos para os limites inferiores e superiores considerando o desconto para o período.

$$\text{Max} \sum_{t=1}^P [\text{Part1}-\text{Part2}+\text{Part3}-\text{Part4}] \quad (4)$$

$$\text{Part1} = \sum_{i=1}^N E \{ (\text{NPV})_i \} b_i^t \quad (5)$$

$$\text{Part2} = \sum_{j=1}^U E \{ (\text{NPV})_j + \text{MC}_j \} w_j^t \quad (6)$$

$$\text{Part3} = \sum_{s=1}^M (\text{SV}^s / M) k_s^t \quad (7)$$

$$\text{Part4} = \sum_{s=1}^M (C_u^{to} a_{su}^{to} + C_l^{to} a_{sl}^{to} + C_u^{tg} a_{su}^{tg} + C_l^{tg} a_{sl}^{tg} + C_u^{tq} a_{su}^{tq} + C_l^{tq} a_{sl}^{tq}) \quad (8)$$

Onde (Ramazan e Dimitrakopoulos, 2012):

P= número de períodos de produção, ou vida útil da mina;

t= é cada período do sequenciamento

N= número de blocos dentro do pit final;

i= identificador do bloco;

$E\{(\text{NPV})_i\}$  = é o valor esperado (médio) do NPV gerado se o bloco i é lavrado no período t.

$b_i^t$  = é uma variável que representa a fração do bloco i lavrado no período t; se for igual a 1, então o bloco é lavrado; se for igual a 0 então não.

U= número de blocos considerado para pilhas de estoque.

$j$  = bloco lavrado e enviado para a pilha de estoque

$MC_j^t$  = custo de lavra do bloco  $j$  que ocorreu no período  $t$ , descontado no tempo 0.

$w_j^t$  = representa a fração do bloco  $j$  enviado para a pilha de estoque no período  $t$ .

$SV^t$  = é o lucro gerado no processamento de uma tonelada de material advinda da pilha de estoque no período  $t$ , descontado no tempo 0.

$M$  = é o número de modelos simulados.

$s$  = é cada modelo de blocos simulado.

$k_s^t$  = quantidade de minério (em toneladas) processada da pilha de estoque, correspondente ao modelo  $s$  no período  $t$ .

$g$ ,  $o$  e  $q$  = parâmetros alvo;  $g$  corresponde ao teor;  $o$  corresponde à produção de minério; e  $q$  corresponde à quantidade de metal produzida.

$l$  = limite mínimo do alvo.

$u$  = limite máximo do alvo.

$C_u^{to}, C_l^{to}, C_u^{tg}, C_l^{tg}, C_u^{tq}, C_l^{tq}$  = custos unitários (constantes conhecidas) para cada variável  $d$ .

$d$  = quantidades excessivas ou deficitárias para os parâmetros alvo.

O software utilizado para gerar os resultados de SDB considera esta função objetivo e no caso de se utilizar apenas os modelos estimados,  $M=1$ .

### 3 | RESULTADOS

Os resultados apresentados serão na forma de gráficos e tabelas, referentes ao teor, VPL e vida útil do empreendimento obtidos a partir das duas metodologias estudadas: primeiramente apenas a comparação entre LG e SDB, utilizando modelo estimado; após utilizando os modelos simulados (abordagem estocástica).

#### 3.1 Planejamento LG X Planejamento SDB

Os mesmos parâmetros foram utilizados na construção da função benefício e objetivo dos dois métodos, referentes à preço de venda do produto, custos (lavra, processamento, de venda), metas de produção, recuperação, etc.

A partir destas premissas as duas metodologias foram executadas, apresentando os seguintes resultados:

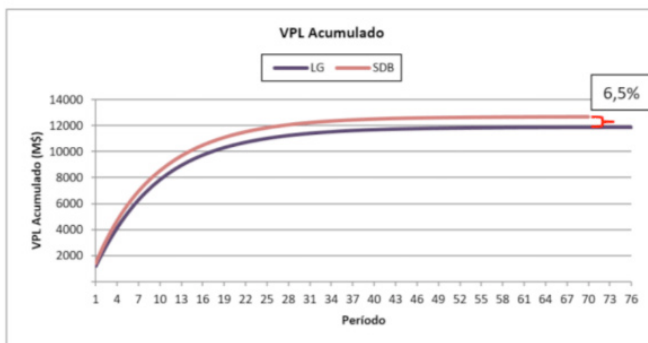


Figura 2 – VPL do empreendimento - LG e SDB

Fonte: Autores.

Parâmetro	LG	SDB
VPL (MU\$\$)	11.880,90	12.653,50
Vida útil	76 anos	70 anos

Tabela 1 – Comparação VPL e vida útil.

Pode ser visto que as duas abordagens apresentam resultados de VPL da mesma ordem de grandeza, o que demonstra que a metodologia de SDB possui uma formulação bastante estruturada, uma vez que o método de LG já é comprovado há mais tempo.

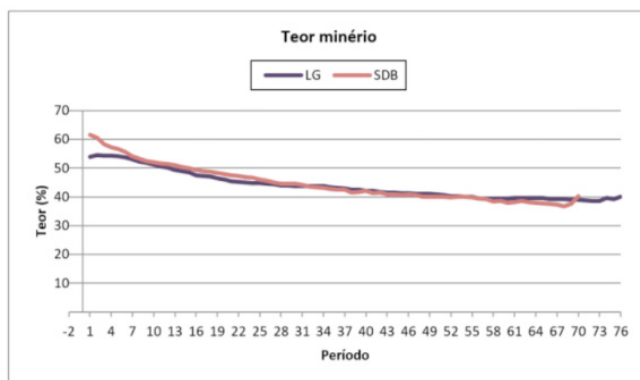


Figura 3 – Teor de minério - LG e SDB

Fonte: Autores.

O teor atingido nos primeiros anos do empreendimento é mais elevado no SDB comparado ao LG (Figura 3). Como o SDB consegue aplicar o fator de desconto correto nos blocos é natural que os blocos dos períodos finais sejam contemplados com maior fator de desconto. Este fator maior é responsável por diminuir a função benefício dos blocos dos últimos períodos, levando a decisão de não lavar estes últimos blocos, de modo que ocorra



uma menor vida útil do empreendimento. Esses fatores implicaram em um VPL 6,5% maior do cenário SDB, conforme a Figura 2 e a Tabela 1.

### 3.2 Abordagem estocástica

Na abordagem estocástica, a mesma comparação foi realizada, porém utilizando o modelo contendo as n-simulações de teor na metodologia de SDB, a qual consegue lidar com o uso das incertezas.

Os resultados de SDB obtidos contabilizam as incertezas para o destino do bloco de acordo com a sua função benefício, em que cada função benefício possui um valor diferente devido ao teor simulado.

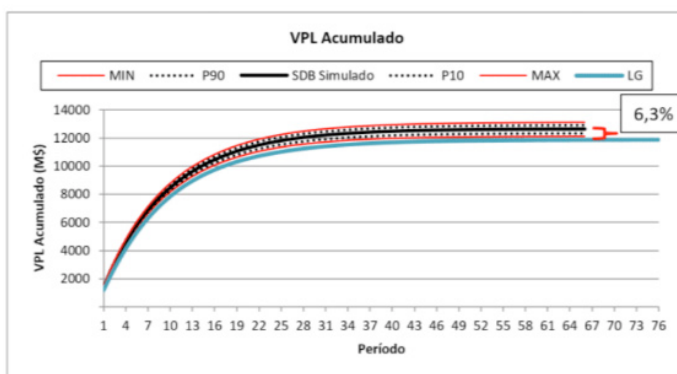


Figura 4 – VPL acumulado simulado - LG e SDB

Fonte: Autores.

Parâmetro	LG	SDB simulado
VPL (MU\$S)	11.880,90	12.635,10
Vida útil	76 anos	66 anos

Tabela 2 – Comparação VPL e vida útil.

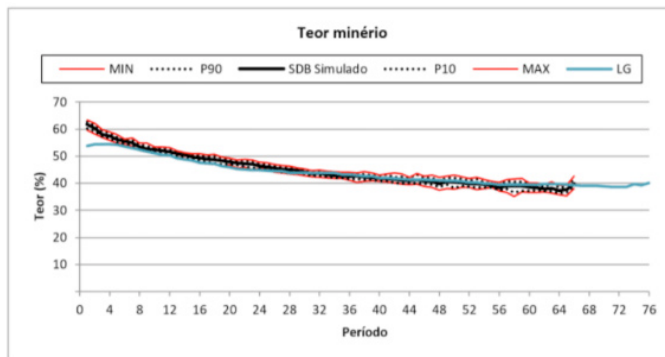


Figura 5 – Teor de minério - LG e SDB simulado

Fonte: Autores.

Devido às características do tipo de interpolação usada para gerar o modelo determinístico, ocorre uma subestimativa do teor no modelo determinístico, o que favorece para que o mesmo permaneça um pouco abaixo dos resultados alcançados pelo SDB simulado (Figura 4 e Tabela 2). Na Figura 5 pode ser observado que o cenário de teor mais elevado registrado pelo modelo probabilístico conduz a um VPL mais robusto.

Quando as simulações de teores são utilizadas, pode ser visto uma diferença maior quanto à vida útil do empreendimento, que acaba atingindo o mesmo VPL do cenário determinístico (ou neste caso, 6,3% maior) em um tempo muito menor, devido à assertividade dos dados.

## 4 | CONCLUSÃO

A metodologia de SDB abre um novo cenário de pesquisa e discussão no setor mineral, uma vez que se mostra como uma solução viável tecnicamente para quantificar as incertezas provenientes da atividade mineral. Os diversos cenários de sequenciamento direto de blocos não eliminam a necessidade de utilização das metodologias de amostragem, modelamento geológico extremamente coerente com as técnicas geológicas, pois erros primários irão determinar cenários geológicos inconsistentes e conseqüentemente um planejamento irreal.

O sistema de SDB utilizado neste estudo demonstrou uma aplicabilidade positiva, fornecendo resultados satisfatórios nos diferentes testes realizados. Apesar disso, os resultados devem ser interpretados levando em conta algumas questões relacionadas à metodologia de cálculo e construção das pilhas, operacionalidade dos resultados e capacidade de processamento neste sistema de SDB.

Quanto à operacionalidade dos resultados, ainda estão sendo trabalhados novos cenários de restrições, para que os blocos definidos por período consigam ser efetivamente lavrados no tempo correto.

O esforço computacional e agilidade na determinação de parâmetros importantes para o planejamento de lavra demonstram que o uso de SDB na indústria de mineração está cada vez mais próximo de ocorrer.

## COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

## REFERÊNCIAS

DIMITRAKOPOULOS, Roussos. Strategic mine planning under uncertainty. **Journal of Mining Science**, Vol 47, n 2, 138-150. 2011.

GODOY, Marcelo & DIMITRAKOPOULOS Roussos. Managing risk and waste mining in long-term production scheduling of open-pit mines. **SME Transactions**, 316, 43-50. 2004.

JOHNSON, Thys. Optimum Open Pit Mine Production Scheduling. PhD Dissertation. **Operations Research Center**, University of California, Berkeley, 1968.

LERCHS, H., & GROSSMANN, I. F. Optimum Design of Open-Pit Mines. **Canadian Institute of Mining Bulletin**, pp. 47-54. 1965.

MARINHO, Alexandre. Surface constrained stochastic life-of-mine production scheduling. MSc. Thesis. **McGill University**, Canada, 2013.

RAMAZAN Salih, DIMITRAKOPOULOS Roussos. Stochastic optimization of long-term production scheduling for open pit mines with a new integer programming formulation. In: **Orebody modelling and strategic mine planning. Spectrum series**, vol 14, pp 353–360. The Australian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM), Victoria. 2004.

RAMAZAN, Salih, & DIMITRAKOPOULOS, Roussos. Stochastic integer programming for optimizing long term production schedules of open pit mines: methods, application and value of stochastic solutions. **Mining Technology**, vol. 117, n. 4. pp. 155 – 160. 2008.

SENHORINHO, Nelson. Metodologia de planejamento estratégico de lavra incorporando riscos e incertezas para a obtenção de resultados operacionais. Tese de doutorado. **Universidade de São Paulo**. 2008.

**A**

Administração 44  
 Agricultura 2, 7, 13  
 Alimentação 4, 8, 9, 10  
 Alimentos 1, 2, 5, 6, 8, 9

**B**

Biocompostos 10  
 Biomassa 16  
 Blocos 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26  
 Brasil 5, 8, 9, 11, 13, 15, 16

**C**

Cadeia agroindustrial 1, 3, 4, 5, 6, 8, 12  
 Campo elétrico 16  
 Celulose 2, 7, 8  
 Cicatrização 28, 29, 30, 31, 36, 39, 40, 42, 43  
 Coco verde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15  
 Compostos 8, 10  
 Construção civil 2, 11  
 Cultivo 2, 7, 12, 14

**D**

Desenvolvimento 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 30, 44  
 Desperdício 2, 3, 12

**E**

Eco-eficiência 12  
 Eco-produtos 3, 5  
 Empreendimento 12, 19, 21, 23, 24, 25, 26  
 Empresa 1, 3  
 Engenharia 2, 7, 8, 10

**F**

Fibra 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16  
 Fibro-cimento 11

Física 28

**I**

Imagens digitais 28, 29, 30, 31, 36, 40, 41, 42

Indústria 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 13, 18, 26

**L**

Lavra 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27

Lesões 28, 30, 31, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43

Lixo 2, 3, 11

Lucro 1, 2, 3, 12, 23

**M**

Mantas 6

Matéria-prima 4, 6, 7, 8

Meio ambiente 2, 3, 4, 5, 6, 12, 14, 15

Mensuração 28, 29, 30, 31, 33, 36, 39, 41, 42

Mercado 2, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 18

Metodologia 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 30, 42

Microscopia 17

Minas 18, 19, 43

Mineração 18, 21, 26

Minério 19, 22, 23, 24, 25

Modelo 19, 20, 21, 23, 25, 26

**N**

Nanofibras 17

**P**

Papel 2, 7, 8, 30, 32, 35, 36, 37, 43

Planejamento 8, 18, 20, 21, 23, 26, 27

Polímero 10, 16

População 5, 10, 35, 36, 39

Pós-colheita 12, 13

Produção 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 22, 23

Produtos 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 16

**R**

Resíduo 1, 2, 3, 7, 9, 10, 11, 12

**S**

Saúde 12, 29, 30, 43

Software 23, 28, 29, 30, 31, 36, 39, 40, 41, 42

Solo 6

Substrato 7

**T**

Tecnologia 1, 8, 9, 13, 43, 44

Telas 6

Tensão 10, 16


Tratamento 9, 10, 28, 29, 30, 31, 40, 41, 42, 43





*Ciência, tecnologia e inovação:*

# GERAÇÃO DE EMPREGO E DEMOCRATIZAÇÃO DE OPORTUNIDADES 2

---

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)


 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)





*Ciência, tecnologia e inovação:*


# GERAÇÃO DE EMPREGO E DEMOCRATIZAÇÃO DE OPORTUNIDADES 2

---

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)