



**Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP**  
**Escola de Minas**  
**Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais**  
**Campus Morro do Cruzeiro**  
**Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil**



**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO**  
**EM ENGENHARIA METALÚRGICA**

**“EFEITO *PREG-ROBBING* EM MINERAIS AURÍFEROS POR**  
**COMPOSTOS CARBONÁCEOS: ESTADO DA ARTE”**

**Gabriel Franco Borges**

**Ouro Preto, 03 de Outubro de 2021**

**Gabriel Franco Borges**

**“Efeito *preg-robbing* em minerais auríferos por  
compostos carbonáceos: estado da arte”**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia  
Metalúrgica da Escola de Minas da Universidade  
Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos  
para a obtenção do Grau de Engenheiro Metalúrgico.

**Orientador: Prof. Versiane Albis Leão**

**Ouro Preto, 03 de Outubro de 2021**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

### ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

Ao primeiro dia do mês de outubro de 2021, às 16 horas, por meio da plataforma de videoconferência Google Meet, foi realizada a defesa de monografia pelo(a) aluno(a) **Gabriel Franco Borges**, sendo a comissão examinadora constituída pelo Prof. DSc. Versiane Albis Leão (Orientador), pelo Prof. DSc Victor de Andrade Alvarenga Oliveira (DEMET/UFOP) e pelo MSc. Flávio Luiz Martins (REDEMAT/UFOP). O(A) aluno(a) apresentou a monografia intitulada: *"Efeito Preg-Robbing em Minerais Auríferos por Compostos Carbonáceos: Estado Da Arte"*. A comissão deliberou, por unanimidade, pela aprovação da monografia, concedendo ao(à) aluno(a) um prazo de 15 dias para incorporar, no texto final, as alterações sugeridas. Na forma regulamentar, lavrou-se a presente ata que vai devidamente assinada pelos membros da comissão e pelo(a) aluno(a).

Ouro Preto, 01 de outubro de 2021.

Assinado digitalmente por VERSIANE  
ALBIS LEAO:6503753764  
DN: CN=VERSIANE ALBIS LEAO,  
6503753764, OU=UFOP,  
Universidade Federal de Ouro Preto,  
O=C=PEdu, C=BR  
Razão: Eu sou o autor deste  
documento  
Localização: sua localização de  
assinatura.asp#  
Data: 2021.10.01 19:36:45-0300  
e-mail: versiane@ufop.br; serial: 1191

9  
Prof. DSc. Versiane Albis Leão  
Orientador – Presidente

Prof. DSc. Victor de Andrade Alvarenga Oliveira  
Membro – DEMET/UFOP

MSc. Flávio Luiz Martins  
Membro – REDEMAT/UFOP

Gabriel Franco Borges  
Aluno(a)

## RESUMO

A indústria do ouro, no século XXI, exibe uma necessidade contínua de identificar novas reservas de minérios, economicamente tratáveis cujo avanço das frentes de lavra, em diversas minas é acompanhado com aumento na proporção de minerais auríferos altamente carbonáceos, os quais acarretam o efeito *preg-robbing* em circuitos hidrometalúrgicos. O presente estudo visa a colaborar com a melhoria contínua das operações unitárias que demandem controle eficaz do efeito supramencionado. O método adotado foi uma revisão de literatura sobre o fenômeno *preg-robbing*, a qual incluiu vasta discussão acerca dos compostos carbonosos em sistemas hidrometalúrgicos. O trabalho salienta diversas técnicas de análises que visam a analisar a capacidade *preg-robbing*, composição química, morfologia e medir a área superficial específica de materiais carbonosos. Ademais, são salientadas formas de tratamento, como *carbon-in-leach*, resina de troca iônica, bio-oxidação, oxidação sob pressão, passivação por reagentes químicos e ustulação. Tais técnicas visam a solucionar os problemas acarretados pelo efeito *preg-robbing* e, por consequência, possibilitam a otimização de recuperações de ouro de forma lucrativa e sustentável.

Palavras-chave: *preg-robbing*, ouro, compostos carbonáceos, adsorção, lixiviação, extração.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: Autorradiografia de grafite pirolítica após contato com solução aurífera.....	15
Figura 4.2: Espectro Raman de um carvão ativado.....	17
Figura 4.3: Micrografias geradas por MEV de um carvão ativado (A) e material carbonoso (B).....	19
Figura 4.4: Ilustração simplificada de um circuito <i>carbon-in-leach</i> .....	22

## LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1: Tipos de minerais auríferos, descrição de ocorrência e localização.....	13
Quadro 4.2: Classificação do ouro pela forma de ocorrência e minerais portadores.....	14
Quadro 4.3: Técnicas de análise e respectivos objetivos.....	16
Quadro 4.4: Técnicas de controle do efeito <i>preg-robbing</i> .....	21

## LISTA DE SIGLAS

EUA - Estados Unidos da América

UV/VIS - Ultravioleta/Visível

MEV - Microscopia eletrônica de varredura

EDX - Espectroscopia de Raio-X por dispersão em energia

BET – Brunauer-Emmett-Teller

TOF-SIMS - *Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometry*

ppm - Parte por milhão

DRX – Difração de Raio X

FTIR – Espectroscopia no Infravermelho com Transformação de Fourier

CIL – *Carbon-in-Leach*

CIP – *Carbon-in-Pulp*

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	9
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo Geral .....	11
2.2 Objetivos Específicos.....	11
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	12
4 RESULTADOS .....	13
4.1 Minérios Auríferos .....	13
4.2 Desafios Operacionais Causados pelos Minérios Carbonosos.....	14
4.3 Características dos Minérios Carbonosos .....	14
4.4 Mecanismos de Adsorção do Cianocomplexo de Ouro em Compostos Carbonosos .....	15
4.5 Análises Usuais para o Estudo do Efeito Preg-robbing dos Compostos Carbonosos.....	16
4.5.1 Espectrofotometria ultravioleta/visível .....	16
4.5.2 Espectroscopia Raman .....	17
4.5.3 Microscopia eletrônica de varredura / Espectroscopia de raio-X por dispersão em energia .....	18
4.5.4 Técnica BET.....	19
4.5.5 TOF-SIMS.....	20
4.5.6 Teste doping .....	20
4.6 Formas de Tratamentos do Efeito Preg-robbing .....	20
4.6.1 Carbon-in-leach.....	21
4.6.2 Resina de troca iônica .....	22
4.6.3 Bio-oxidação .....	23
4.6.4 Oxidação sob pressão.....	24
4.6.5 Passivação / Blindagem.....	24
4.6.6 Ustulação.....	25
5 CONCLUSÃO .....	27
REFERÊNCIAS .....	28
ANEXO A – AUTORIZAÇÃO DA EDITORA SPRINGER NATURE PARA REPRODUÇÃO DA FIGURA 4.1.....	30
ANEXO B – AUTORIZAÇÃO DA EDITORA ELSEVIER PARA REPRODUÇÃO DA FIGURA 4.3.....	35
ANEXO C – AUTORIZAÇÃO DA EDITORA ELSEVIER PARA REPRODUÇÃO DA FIGURA 4.4.....	42



## 1 INTRODUÇÃO

Em uma mineração, à medida que a frente de lavra avança para zonas mais profundas, novos minérios são encontrados, os quais apresentam mineralogias diferentes (MUSTAPHA *et al.*, 2014). Tais mudanças acarretam desafios para as diversas operações unitárias de processamento metalúrgico, ou seja, torna-se mais complexa a recuperação dos metais de interesse de forma economicamente viável.

Os minérios auríferos podem ser reunidos em 11 principais tipos. Dentre eles, encontram-se os minérios carbonosos, nos quais o ouro está tipicamente disperso na forma de finas e submicroscópicas partículas e/ou como ouro de superfície (ZHOU, JAGO e MARTIN, 2004).

De acordo com Marsden e House (2009), os minérios carbonáceos são classificados em dois grupos: (1) de média concentração, que possuem menos que 1% de material carbonoso e (2) minérios altamente carbonáceos, com concentrações maiores ou iguais a 1%. Esses últimos são capazes de reduzir a recuperação do ouro em circuitos de lixiviação para níveis inferiores a 80%. Portanto, assim como salientam Mustapha *et al.* (2014), durante o tratamento hidrometalúrgico de minérios auríferos, atualmente, a presença de matéria carbonosa é fonte de desafios operacionais.

Conforme Miller, Wan e Diaz (2005, 2016), em determinados minerais minérios, a recuperação de ouro pelo processo hidrometalúrgico de cianetação é limitada pela existência de compostos carbonáceos de ocorrência natural. Tal limitação é observada quando a matéria carbonosa, como grafite, carbono orgânico, amorfo e elementar presente no minério, adsorve o ouro dissolvido na solução alcalina de cianeto. Após a adsorção na matéria orgânica, os cianocomplexos de ouro são carregados para o rejeito junto com matéria orgânica, ocasionando perdas e comprometendo a recuperação do metal (SANTIAGO e LADEIRA, 2017). Tal fenômeno é conhecido como *preg-robbing*, sendo o termo proposto primeiramente em 1968 e, posteriormente, utilizado por vários outros autores, sendo, atualmente, de uso comum na indústria do ouro. No entanto, tal comportamento já tinha sido detectado em 1911 ao descobrirem que o alto teor de ouro no rejeito da operação Waihi-Paerola na Nova Zelândia resultava da presença de carbono no minério (MILLER, WAN e DIAZ, 2005, 2016).

Portanto, é mandatório que os compostos carbonáceos em minérios de ouro recebam a devida atenção, a fim de evitar baixa eficiência operacional (MARSDEN e HOUSE, 2009). No entanto, é importante salientar, assim como dito por Miller, Wan e Diaz (2016), que a presença de matéria carbonosa em um minério não resulta, necessariamente, em baixas

recuperações de ouro. O carbono pode existir de diversas formas no mineral minério e, por consequência, possuir diferentes interações físico-químicas com o cianocomplexo de ouro -  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ . Como enfatizado por Oliveira Junior (2011), a definição da rota de processo mais adequada ocorre por meio da realização, primeiramente, de ensaios em laboratório, em planta piloto e, quando aplicável, em escala industrial.

Nesse contexto, a ocorrência do efeito *preg-robbing* é extremamente prejudicial às recuperações metalúrgicas de um sistema hidrometalúrgico. (SANTIAGO e LADEIRA, 2017). Dessa forma, pesquisas envolvendo rotas de processamento mineral ou tratamentos inovadores, que possam resolver problemas de recuperação, econômicos e/ou ambientais, tornaram-se essenciais. Assim sendo, o presente estudo colabora com essa lacuna de conhecimento na medida em que, por meio de uma revisão da literatura sobre o fenômeno *preg-robbing*, identifica diferentes compostos carbonosos, técnicas de análise e formas de tratamento do fenômeno. Por consequência, indica a forma de se otimizar a recuperação de ouro de forma lucrativa e sustentável.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Descrever e definir o fenômeno *preg-robbing* no contexto da recuperação de ouro em operações que utilizam a cianetação desse metal acompanhada ao carbono ativado, como meio adsorvente.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e classificar os diferentes compostos carbonáceos de acordo com sua capacidade de adsorção dos complexos de ouro  $[\text{Au}(\text{CN})_2^-]$  e  $\text{M}^{n+}[\text{Au}(\text{CN})_2^-]_n$ .
- Apontar formas de analisar e tratar minérios auríferos carbonosos que visam a impedir a ocorrência do fenômeno *preg-robbing*.
- Colaborar para com a melhoria contínua dos processos minerais que demandam controle eficaz do fenômeno *preg-robbing*.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O levantamento dos dados na confecção deste estudo foi baseado numa ampla revisão de literatura, em língua inglesa, espanhola e portuguesa, dos últimos 40 anos, utilizando como palavras-chave: *preg-robbing* e *gold extraction*. A busca foi elaborada via *Google Scholar* e *Web of Science*. O autor também buscou por livros, dissertações e teses.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Minérios Auríferos

De acordo com Zhou, Jago e Martin (2004), os minerais minérios de ouro podem ser classificados em 11 tipologias (Quadro 4.1) e, com base na forma de ocorrência, o ouro pode ser reunido em 3 distintas categorias, como demonstrado no Quadro 4.2.

Quadro 4.1 – Tipos de minerais auríferos, descrição de ocorrência e localização

#	Tipo de ocorrência	Descrição	Local
1	Aluvião	O ouro é facilmente liberado ou foi liberado antes de processamento. Granulometria, normalmente, varia de 50µm a 100µm	Witwatersrand (África do Sul), Jacobina (Brasil), Tarkwa (Gana).
2	Veios de quartzo	O ouro ocorre principalmente como ouro nativo nos veios de quartzo. Normalmente ocorre como partículas de ouro liberadas, no entanto certa proporção de ouro disseminado pode estar presente.	Homestake (EUA), Bendigo (Austrália), Shandong Camp: Linglong (China)
3	Minérios oxidados	O ouro, geralmente, ocorre como liberado ou no produtos de alteração de minerais sulfetados e o grau da liberação de ouro é geralmente aumentado pela oxidação.	Pierina (Peru), Yanacocha (Peru), Yilgarn region (Austrália).
4	Minérios ricos em prata	O ouro comumente ocorre como electrum e a prata nativa pode estar presente.	Rochester, Candelaria (EUA), La Coipa (Chile).
5	Minérios sulfetados de cobre	O ouro ocorre como partículas grossas liberadas e/ou finas e presas em grãos de pirita e sulfetos de cobre.	Grasberg e Batu Hijau (Indonésia), Bulyanhulu (Tanzânia).
6	Minérios sulfetados de ferro	O ouro ocorre como partículas liberadas, anexas e/ou como inclusões em sulfeto, comumente, em pirita e pouco comum em marcassita e pirrotita.	Presente em muitos minérios sulfetados, Carlin (EUA).
7	Minérios sulfetados de arsênio	O ouro ocorre como partículas e inclusões liberadas, e como ouro submicroscópico em arsenopirita e compostos oxidados.	Giant Yellowknife, Campbell Mine (Canada), Sao Bento (Brasil).
8	Minérios sulfetados de antimônio	O ouro ocorre principalmente como ouro nativo, com menor a moderada quantidade de <i>aurostibite</i> , liberada ou bloqueada em sulfetos.	Big Bell (Austrália), Hechi (China), Manhattan (EUA)
9	Minérios sulfetados de bismuto	O ouro ocorre principalmente como ouro nativo, com menor a moderada quantidade de maldonita. Também pode estar presente na forma submicroscópica.	Maldon (Austrália), Tongguan (China), Pogo (EUA)
10	Minérios teluríticos	O ouro ocorre como ouro nativo e em composto de telurato de ouro, também ocorre liberado ou bloqueado em sulfetos. Ouro submicroscópico pode ocorrer.	Cripple Creek (EUA), Emperor (Fiji), Kalgoorlie (Austrália).
11	Minérios carbonosos	O ouro ocorre como ouro de superfície e pode ocorrer como ouro de granulação fina e na forma submicroscópica em sulfetos.	Carlin, Cortez, Getchell, Betze e Meikle (EUA), Jinya, Gaolong, Lannigou e Donbeizhai (China).

Fonte: Adaptado de Zhou, Jago e Martin(2004, p. 2).

Quadro 4.2: Classificação do ouro pela forma de ocorrência e minerais portadores

Formas	Ouro microscópico	Ouro submicroscópico	Ouro de superfície
Natureza	visível no microscópio ótico	invisível no microscópio ótico	invisível no microscópio ótico
Minerais portadores	ouro livre e electrum são os mais comuns.	arsenopirita, pirita, calcopirita, minerais de argila, óxidos de ferro, dentre outros.	minérios carbonosos, óxidos de ferro, quartzo manchado, argilo minerais, pirita, arsenopirita e outros.

Fonte: Adaptado de Zhou, Jago e Martin (2004, p. 3).

## 4.2 Desafios Operacionais Causados pelos Minérios Carbonosos

Para Rees e Van Deventer(2000), os dois principais efeitos relativos à presença de compostos carbonáceos em minérios auríferos são:

- Inibir a lixiviação do ouro, ou seja, o material carbonoso pode impedir o contato entre o agente complexante e o ouro contido no minério. Portanto, ocorre aumento do grau de refratariedade do minério;
- Causar o efeito *preg-robbing*, isto é, tal composto, quando em solução contendo cianeto, adsorve o cianocomplexo de ouro e, devido a sua fina granulometria, carrega o metal de interesse para o rejeito. Dessa forma, observa-se baixa recuperação metálica no final dos circuitos hidrometalúrgicos.

## 4.3 Características dos Minérios Carbonosos

O material carbonoso pode ser formado por diferentes materiais como carbono amorfo, cristais de grafite e o carvão antracítico. Tais fases são formadas quando o material orgânico presente em rochas sedimentares sofre metamorfismo. Durante esse processo, o composto carbonoso modifica-se, progressivamente, para formar um cristal de grafite, sendo que o grau de grafitização/cristalização depende da temperatura, pressão e composição do material de origem (HELM *et al.*, 2009).

Segundo Miller, Wan e Diaz (2016), o carvão ativado, principal adsorvente comercialmente usado nos circuitos de cianetação, possui estrutura microcristalina semelhante à do grafite. Outrossim, estudos de Hatcher, Spiker e Orem (1985) acerca da recuperação de

ouro na mina Carlin, em Nevada nos EUA, já indicavam que o minério carbonáceo responsável pelo efeito *preg-robbing* possuía estrutura similar à de um carvão antracítico.

É importante salientar, entretanto, que o fenômeno *preg-robbing* não depende apenas do grau de cristalização do material carbonoso, uma vez que estudos de espectroscopia Raman sugerem que esse efeito é também devido a outras propriedades dos materiais carbonosos. Por exemplo, o grau de desordem da estrutura cristalina e da área superficial (HELM *et al.*, 2009).

#### 4.4 Mecanismos de Adsorção do Cianocomplexo de Ouro em Compostos Carbonosos

Acredita-se que o mecanismo de adsorção do ouro em compostos carbonosos seja semelhante ao que ocorre no carvão ativado, o qual é utilizado em circuitos hidrometalúrgicos como principal adsorvente do cianeto de ouro. Atualmente, o mecanismo de adsorção no carvão ativado mais aceito é a adsorção de pares iônicos, do tipo  $M^{n+}[Au(CN)_2]_n$ , na superfície carbonosa, bem como a adsorção dos ânions  $Au(CN)_2^-$  por meio de interações eletrostáticas em sítios altamente ativados (Miller, Wan e Diaz, 2016).

A adsorção de ouro em compostos carbonosos grafíticos e carvão ativado é predominante nos defeitos e bordas dos planos cristalográficos em relação às faces dos planos basais da estrutura carbonosa (POINEN *et al.*, 1998; MILLER, WAN e DIAZ, 2016). Em 1992, Sibrel e Miller revelaram essa ocorrência no plano basal de uma amostra de grafite pirolítico altamente organizada. Ao analisar a Figura 4.1, percebe-se que o cianocomplexo de ouro, representado pelas regiões escuras da figura, adsorve preferencialmente nas bordas dos planos cristalográficos.

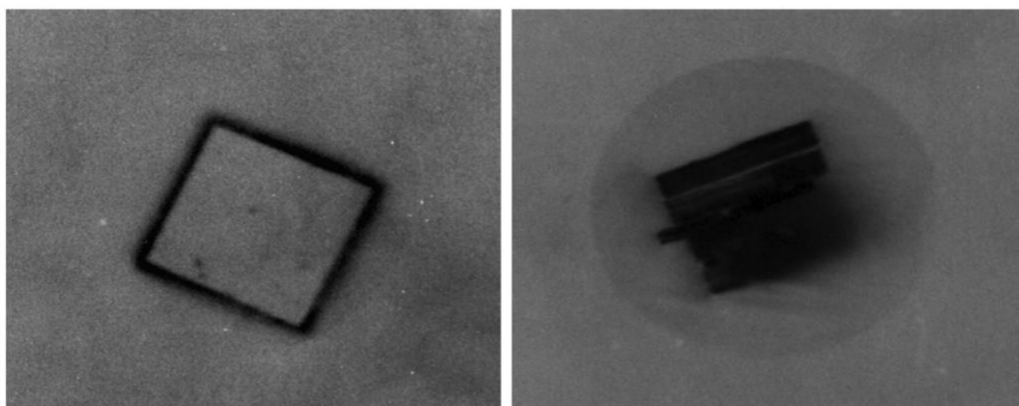


Figura 4.1: Autorradiografia de grafite pirolítica após contato com solução aurífera. Reproduzido com permissão de *Springer Nature*, que detém o direito da figura original, Anexo A. Fonte original: Sibrell e Miller (1992, p. 193).

Assim, uma análise da estrutura física e química dos minérios carbonosos mostrou que o grau de cristalização, o qual está diretamente relacionado às ocorrências geológicas do mineral minério, são de extrema importância para descrever o efeito *preg-robbing* desses (HELM *et al.*, 2009).

#### 4.5 Análises Usuais para o Estudo do Efeito *Preg-robbing* dos Compostos Carbonosos

A alta variabilidade da capacidade adsortiva dos compostos carbonosos, presentes em certos minérios de ouro, é um desafio importante para as usinas hidrometalúrgicas. Além disso, tal característica pode diferir dentro de um mesmo corpo mineralógico (HART *et al.*, 2011).

Como não há um parâmetro único que possa ser usado para descrever o efeito *preg-robbing* de um minério aurífero (HART *et al.*, 2011), diversas técnicas analíticas são aplicadas na obtenção de informações sobre os compostos carbonosos a fim de estimar tal capacidade e entender a ocorrência desse no material em estudo. Algumas das técnicas utilizadas e seus respectivos objetivos podem ser observados no Quadro 4.3.

Quadro 4.3: Técnicas de análise e respectivos objetivos

Objetivo	Técnica
Determinar a capacidade adsortiva	Espectrofotometria UV/VIS
Analisar capacidade <i>preg-robbing</i> e composição química	Espectrometria Raman
Análise morfológica e da composição química	MEV / EDX
Medição da área superficial específica	Adsorção de nitrogênio
Análise da superfície	TOF-SIMS
Determinar a capacidade <i>preg-robbing</i>	Teste de <i>doping</i>

Legenda: UV/VIS - Ultravioleta/Visível, MEV - Microscopia eletrônica de varredura, EDX - Espectroscopia de Raio-X por dispersão em energia, BET – Brunauer-Emmett-Teller , TOF-SIMS - *Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometry*.

Fonte: Adaptado de Pourdasht (2018, p. 6).

##### 4.5.1 Espectrofotometria ultravioleta/visível

A espectrofotometria UV/VIS é uma técnica de espectroscopia na região do ultravioleta e visível do espectro eletromagnético. Tal técnica é, frequentemente, utilizada



para análises químicas quantitativas de íons metálicos e compostos orgânicos. Em estudos do efeito *preg-robbing*, essa análise é utilizada para determinar a concentração de ouro na forma de seu cianocomplexo em solução. Pode-se inferir, portanto, a quantidade de ouro lixiviada que fora adsorvida pela matéria carbonosa e/ou carvão ativado, ou seja, sua capacidade adsortiva (POURDASHT, 2018).

#### 4.5.2 Espectroscopia Raman

De acordo com Pourdasht (2018), a espectroscopia Raman baseia-se no espalhamento inelástico de uma luz monocromática gerada pela interação entre o feixe de luz e as moléculas do material em análise. As ondas espalhadas fornecem informações sobre os modos vibracionais do material, as quais podem ser utilizadas para identificar várias espécies químicas por comparação com espectros conhecidos.

Outrossim, segundo Helm *et al.* (2009), a espectroscopia Raman possibilita examinar o grau de desordem supracitado que é correlacionado ao efeito *preg-robbing* por meio da razão Raman, a qual é calculada pela fórmula a seguir:

$$\text{Razão Raman} = \frac{\text{altura do pico G}}{\text{altura do pico D}} \times \frac{\text{largura do pico G}}{\text{largura do pico D}}$$

Os picos D e G, retirados de gráficos como ilustrado na Figura 4.2, fornecem importantes informações da microestrutura dos compostos carbonáceos, por exemplo, a medida que o material carbonáceo sofre cristalização, o espaçamento entre os planos cristalinos diminui, ou seja, as relações altura e largura dos picos são alteradas (POURDASHT, 2018).

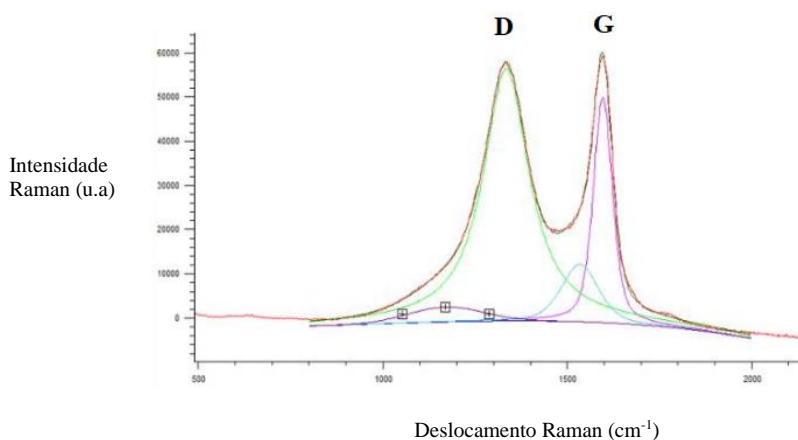


Figura 4.2: Espectro Raman de um carvão ativado

Fonte: Adaptado de Pourdasht (2018, p. 66).

De acordo com os autores Helm *et al.*(2009), a espectroscopia é capaz de explicar como a variação da estrutura física do material carbonoso influencia o fenômeno *preg-robbing*, uma vez que há correlação direta entre a razão Raman e teor de ouro adsorvido em compostos carbonosos por tonelada de minério.

A técnica de espectroscopia Raman possibilitou aos autores concluírem que o material carbonoso grafitico, com alto poder adsorvivo, tem espectros Raman semelhantes aos do carvão ativado. Dessa forma, o grau de grafitização pode ser quantificado utilizando os parâmetros dos espectros Raman, que são posteriormente correlacionados com o efeito *preg-robbing* do minério (HELM *et al.*, 2009).

No estudo de Pourdasht (2018), a espectroscopia Raman foi utilizada para analisar as diferenças estruturais acarretadas pelos processos oxidativos nos compostos carbonosos realizados pela pesquisadora no intuito de amenizar o efeito *preg-robbing*. Foi corroborada a afirmação prévia de Helm *et al.*(2009) de que o uso da espectroscopia Raman possibilita prever o nível do efeito *preg-robbing* de compostos carbonosos presentes nos minérios auríferos.

#### **4.5.3 Microscopia eletrônica de varredura / Espectroscopia de raio-X por dispersão em energia**

A técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é capaz de gerar imagens por meio da digitalização da superfície amostral com uso de um feixe de elétrons de alta energia. A interação entre as cargas elétricas emitidas e os átomos da amostra produz elétrons secundários, os quais são coletados por um detector e, assim, obtêm-se informações sobre a morfologia da amostra (STOKES, 2008).

A Figura 4.4 mostra duas micrografias obtidas por MEV de um carvão ativado comercial (A) e um composto carbonoso (B) presente em um minério aurífero. Verifica-se que a micrografia A possui uma superfície uniformemente macroporosa, enquanto a B apresenta uma estrutura de poros amorfos e isolados. O minério carbonoso em análise apresentava um teor de carbono igual a 40% e uma área superficial de 42,7m<sup>2</sup>/g, além de possuir uma capacidade de adsorção igual a 2,2 g de ouro por kilograma de material carbonoso (MILLER, WAN e DIAZ, 2016).

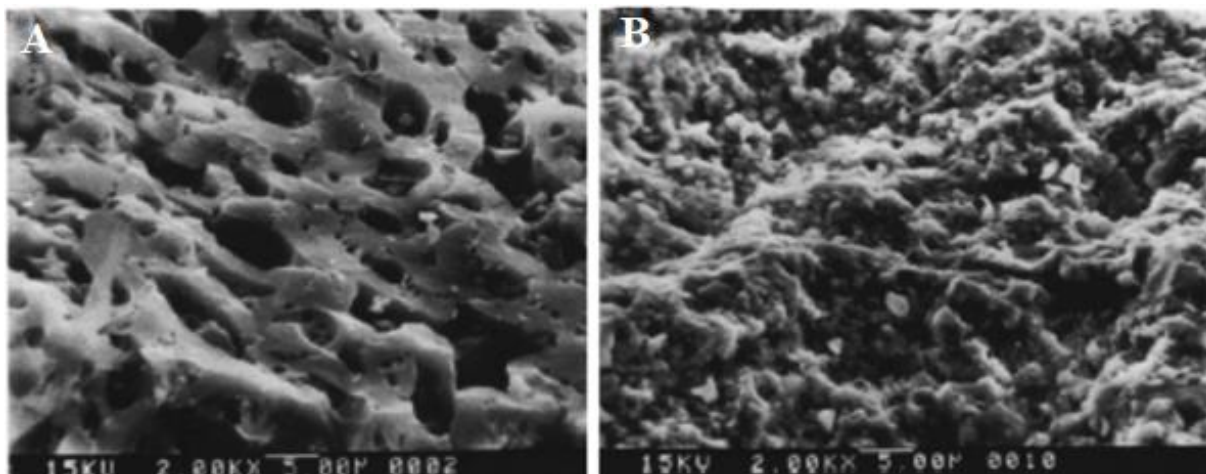


Figura 4.3: Micrografias geradas por MEV de um carvão ativado (A) e material carbonoso (B)

Reproduzido com permissão de Elsevier, que detém o direito da figura original, Anexo B.

Fonte original: Adaptado de Miller, Wan e Diaz (2016, p. 888).

Ademais, pode-se acoplar ao microscópio eletrônico de varredura um detector de raios-X a fim de aplicar a técnica de Espectroscopia por Energia (*Energy Dispersion Spectroscopy*–EDS). Tal incremento permite a identificação da composição elementar da amostra, ou seja, a composição química (STOKES, 2008).

A aferição da morfologia e da composição química por meio dessa técnica pode ser utilizada para analisar compostos carbonosos, antes e depois de serem submetidos aos processos de minimização do fenômeno *preg-robbing*, como, por exemplo, a oxidação das fontes de carbono(POURDASHT, 2018).

#### 4.5.4 Determinação da área superficial por meio da técnica de adsorção de nitrogênio

A determinação da área superficial é feita pela adsorção de um gás, normalmente nitrogênio no sólido e equações matemáticas como a isoterma de BET. A área superficial específica é medida em metros ao quadrado por grama de material (COSTENARO *et al.*, 2010).

De acordo com Marsden e House (2009), um típico carvão ativado utilizado em circuitos hidrometalúrgicos para recuperação de ouro possui uma área superficial entre 900 e 1000m<sup>2</sup>/g; sendo essa característica física um parâmetro essencial à sua capacidade adsortiva. Isto é, quanto maior a área superficial maior será a capacidade adsortiva do material

carbonoso. Assim, a medição quantitativa da área superficial de compostos carbonosos se faz interessante para estudos acerca do efeito *preg-robbing*.

#### 4.5.5 TOF-SIMS

A técnica *Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometry* (TOF-SIMS), consiste na incidência de um feixe de energia iônica sobre a amostra, o qual remove íons secundários das camadas externas da superfície amostral e tais espécies removidas são aceleradas em um tubo e coletadas por um detector. Dessa forma, é construído o espectro de massa, que se baseia no tempo necessário dos íons de diferentes massas colidirem com o detector, dos mais leves ( $H^+$ ) às moléculas mais pesadas. O método possui alta sensibilidade de detecção (na faixa de ppm) para a maioria dos elementos, incluindo o hidrogênio, ou seja, é uma forma de análise superficial extremamente sensível, capaz de fornecer um levantamento abrangente das espécies presentes na superfície no material de interesse (POURDASHT, 2018).

Dimov, Chryssoulis e Sodhi (2003) utilizaram a tecnologia TOF-SIMS para a caracterização de espécies de ouro adsorvidas em compostos carbonosos, por meio da qual foi possível a geração de imagens simultaneamente com a detecção da distribuição de ouro metálico nas partículas de carbono na amostra.

#### 4.5.6 Ensaio de *doping*

Com o objetivo de caracterizar os compostos carbonosos, os testes de *doping* fornecem uma estimativa do valor máximo do efeito *preg-robbing*. Tais análises baseiam-se em contatar amostras do minério aurífero com soluções ricas em  $Au(CN)_2^-$ , contendo 500mg/L e 1000mg/L. Após o ensaio de *doping*, normalmente, quantifica-se e qualifica-se o ouro adsorvido pelo próprio minério por meio da técnica TOF-SIMS. Por meio dos espectros de uma análise TOF-SIMS para amostras antes e posteriores ao ensaio *doping*, pesquisadores são capazes de perceber picos característicos do cianocomplexo de ouro adsorvido pelo composto carbonoso presente no minério (HART *et al.*, 2011).

#### 4.6 Formas de Tratamentos para redução do Efeito *Preg-robbing*

Para Miller, Wan e Diaz (2016), diversos processos podem ser aplicados para evitar o efeito *preg-robbing*. Por exemplo, o uso de resinas de troca iônica como adsorventes e/ou a desativação/passivação do material carbonoso por etapas de oxidação. Ademais, os autores

afirmam, assim como discutido no ítem 4.5, que as características do mineral minério e do material carbonoso devem ser consideradas na seleção do método de tratamento a ser aplicado.

Algumas das metodologias para redução do efeito *preg-robbing* são citadas no Quadro 4.4.

Quadro 4.4: Processos utilizados para redução do efeito *preg-robbing*

<b>Técnica</b>	<b>Princípio do controle</b>
<i>Carbon-in-Leach</i>	Circuito hidrometalúrgico que promove lixiviação e adsorção simultaneamente
Resina de troca iônica	Implementação de resinas como principal adsorvente do cianeto de ouro
Bio-oxidação	Uso de bactérias para bio-oxidar os minerais presentes na polpa
Autoclave	Oxidação sob alta pressão e temperatura
Passivação / Blindagem	Passivação do material carbonoso por meio de reagentes químicos
Ustulação	Oxidação em altas temperaturas

Fonte: Adaptado de Dunne *et al.* (2012), Berg(2000), Xu *et al.* (2020), Pereira (2020), Mubarok e Irianto (2016), Li *et al.* (2021).

#### **4.6.1 Carbon-in-leach**

O processo *carbon-in-leach (CIL)* é uma rota hidrometalúrgica que envolve a lixiviação do ouro de forma simultânea à adsorção do cianeto de ouro em carvão ativado, como ilustra a Figura 4.5 (WADNERKAR *et al.*, 2015).

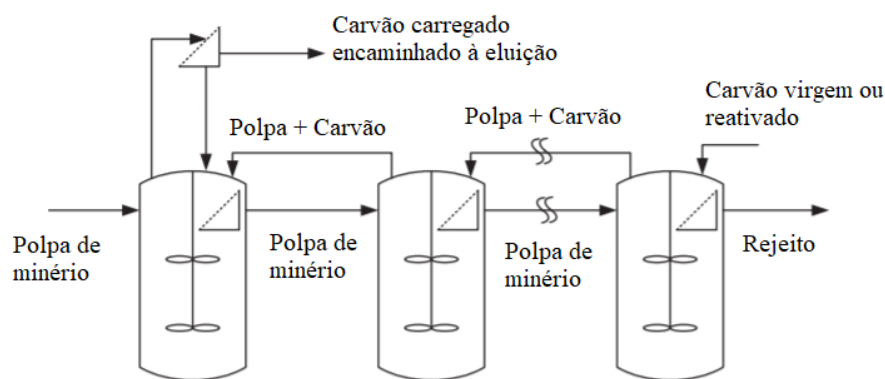


Figura 4.4: Ilustração simplificada de um circuito *carbon-in-leach*  
 Reproduzido com permissão de Elsevier, que detém o direito da figura original, Anexo C.  
 Fonte original: Adaptado de Wadnerkar *et al.*(2015, p. 137).

Ensaio em escala laboratorial e industrial demonstraram elevação na recuperação metalúrgica, quando se opta por processar minérios auríferos contendo compostos carbonosos pelo processo *CIL* em relação aos circuitos *carbon-in-pulp (CIP)*, no qual os processos de lixiviação e adsorção do ouro ocorrem em momentos diferentes. (DUNNE *et al.*, 2012).

O aumento na recuperação de ouro, ao se utilizar o processo *CIL*, decorre da simultânea disputa entre o carvão ativado e os compostos carbonosos presentes no minério pela adsorção do cianocomplexo de ouro. Dessa forma, a eficiência da competição entre tais adsorventes depende da capacidade de adsorção do carvão ativado, a qual deve ser duas ordens de grandeza maior do que a do composto carbonoso (MILLER, WAN e DIAZ, 2016).

#### 4.6.2 Resina de troca iônica

O uso de resinas de troca iônica para a concentração e purificação de ouro por meio de soluções de cianeto têm sido investigadas desde o final de 1940. Elas oferecem algumas vantagens químicas sobre o carvão ativado e apresentam excelente potencial técnico para aplicação em sistemas de extração de ouro. As resinas são materiais sintéticos que consistem em uma matriz inerte (copolímeros de estireno-divinilbenzena) e grupos funcionais superficiais, como, por exemplo, aminas e ésteres. Tais grupos realizam trocas de íons com outras espécies de carga semelhante de tal forma que a permuta depende diretamente da preferência dos grupos funcionais para com os íons de interesse. Ademais, as resinas assim como o carvão ativado são passíveis de recirculação na etapa de adsorção após tratamento adequado (MARSDEN e HOUSE, 2009).

Em circuitos *resins in leach* (RIL), elas são adicionadas com o intuito de competirem com os compostos carbonosos pelos cianocomplexos de ouro, ou seja, adiciona-se um adsorvente com significativa maior interação com o  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  do que os compostos capazes de causar o efeito *preg-robbing* no minério. Em geral, as resinas de troca iônica possuem capacidade de carregamento do cianeto de ouro superior às observadas utilizando carvões ativados (BERG, 2000). Ademais, as resinas representam adsorventes preferíveis, especialmente quando se trata de minérios nos quais a concentração dos compostos carbonosos pode superar a capacidade adsorviva do carvão ativado. No entanto, como enfatiza Oliveira Junior (2011), a realização de ensaios em laboratório, em planta piloto e, quando aplicável, em escala industrial é necessária para a definição da rota adequada de processamento .

#### 4.6.3 Bio-oxidação

O processo de oxidação biológica é uma solução comercialmente comprovada, econômica e ambientalmente atraente para tratamento metalúrgico de minério aurífero. Diversas bactérias são capazes de catalisar a oxidação mineral. No entanto, a *Acidithiobacillus thiooxidans* e a *Acidithiobacillus ferrooxidans* são adequadas para a oxidação de minérios auríferos refratários, uma vez que tais bactérias crescem em temperatura próxima à ambiente, além disso utilizam compostos orgânicos não tóxicos como fonte energética. As bactérias obtêm energia por meio da oxidação do ferro e enxofre e, para que as reações ocorram adequadamente, requer-se a presença de oxigênio, carbono e nitrogênio, os quais podem ser fornecidos separadamente ou por meio dos compostos presentes no próprio minério (MARSDEN e HOUSE, 2009).

Xu *et al.* (2020) demonstraram que a bio-oxidação por meio das bactérias *Acidithiobacillus ferrooxidans* e *Leptospirillum ferrooxidans* pode decompor sulfetos (pirita, arsenopirita, dentre outros) e, simultaneamente, reduzir a capacidade de adsorção dos compostos carbonosos em um sistema de lixiviação com tioureia. Os autores mostraram que o efeito *preg-robbing* foi reduzido em 14 % após a bio-oxidação e, pelas análises de difração de raios-X (DRX), MEV-EDX e espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR), observaram que a introdução de grupos contendo oxigênio foi capaz de destruir a estrutura gráfica do minério, diminuindo, dessa forma, os sítios ativos nos compostos carbonosos necessários à adsorção do ouro.

#### 4.6.4 Oxidação sob pressão

Alguns minerais auríferos, por exemplo, os sulfetados, são decompostos rapidamente em condições de alta temperatura e pressão utilizando-se de oxigênio como principal agente oxidante. Na prática, temperaturas de 180°C a 225°C e pH abaixo de 2 são aplicados (MARSDEN e HOUSE, 2009).

Alguns estudos desmonstraram que compostos carbonosos, quando submetidos à oxidação em autoclaves, desenvolvem grupos funcionais carbonila, que, por sua vez, acarretam na diminuição significativa da capacidade de *preg-robbing* (POURDASHT, 2018).

No estudo de Pereira (2020), avaliou-se o potencial *preg-robbing* de um concentrado aurífero não oxidado em autoclave e oxidado. Para tal, aferiu-se a recuperação metalúrgica do minério em duas situações. Primeiramente, em lixiviação direta com carvão ativado (recuperação de 66%), enquanto que na ausência de carvão esse valor diminuiu para 50,8%, ou seja, percebeu-se uma diferença de 15%, o que indica a ocorrência do fenômeno *preg-robbing*. Posteriormente, em um segundo teste, após processo oxidativo em autoclave, para os materiais lixiviados na presença e ausência de carvão ativado, observaram-se diferenças significativamente menores entre 6 a 12% de recuperação metalúrgica.

Após o tratamento oxidativo em autoclaves, amostras de minério aurífero apresentaram decréscimo na capacidade adsorptiva de 290mgAu/Kg para 1,5mgAu/Kg de composto carbonoso (MILLER, WAN e DIAZ, 2016).

#### 4.6.5 Passivação / Blindagem

As perdas de ouro causadas pelo efeito *preg-robbing* podem ser minimizadas pelo pré-tratamento do minério com reagentes químicos. Vários surfactantes são conhecidos por terem a capacidade de umedecer a superfície dos compostos carbonosos, prevenindo assim, a adsorção de ouro dissolvido nessas partículas do minério (MUBAROK e IRIANTO, 2016).

Santiago e Ladeira (2017) realizaram testes com 8 diferentes aditivos químicos a fim de avaliar a funcionalidade deles para com a desativação/passivação dos compostos carbonosos presentes em minérios auríferos. Os resultados obtidos pelos autores indicam que os reagentes E/PE MIN 012/17 e E/PE MIN 013/17 da empresa Clariant e Querosene da



Petrovila suprimiram o efeito *preg-robbing* entre 80 % e 90 %, quando adicionados em concentração de 500 mg/L com tempo de residência de 120 minutos.

De acordo com Mubarok e Irianto (2016), o pré-tratamento de minério aurífero com reagentes (querosene, óleo diesel e óleo de pinho) resultou no aumento da recuperação de ouro. Para o estudo em questão, realizaram-se ensaios de cianetação do minério misturado com finas partículas de carvão ativado (2 % em peso) a fim de simular a presença do material carbonoso. Verificou-se que o maior incremento de recuperação metalúrgica de 65,5 % para 90,9 % foi obtido por meio da dosagem de 16 mL de querosene por quilograma de minério. Em circuitos *carbon-in-leach* (CIL), a dosagem de reagente deve ser ajustada cuidadosamente para que o carvão ativado utilizado não seja passivado. Os autores enfatizam a sinergia do uso de aditivos de passivação com circuitos *resin-in-leach* (RIL), uma vez que o excesso de agente não tem influência no desempenho de determinadas resinas de troca iônica. Nesse contexto, observou-se aumento de 4,2 % quando se utiliza pré-tratamento com querosene em conjunto com RIL do que com circuito CIL.

#### 4.6.6 Ustulação

A ustulação é considerada um processo maduro e adaptável de tal modo que é um dos métodos preferíveis para o tratamento de minérios auríferos carbonosos. Durante a ustulação, a parcela carbonosa e os sulfetos presentes no minério são oxidados. Nesse contexto, a ustulação promove o aumento na porosidade do mineral sulfetado, por consequência expõe as partículas de ouro ao agente lixiviante e queima a matéria orgânica (LI *et al.*, 2021).

Para Miller, Wan e Diaz (2016), em temperaturas próximas a 600°C, os compostos carbonosos(C) e sulfetados (MeS) são oxidados de acordo com as seguintes reações, respectivamente:



Li *et al.* (2021) conduziram um estudo de ustulação de um minério aurífero carbonoso, onde 55,71 % do carbono estava na forma de carbonato (teor de 3,56 %), 20,81 % na forma de carbono orgânico (teor de 1,33 %) e 23,47 % como carbono grafítico (teor de 1,50 %). Tal minério quando cianetado, sem qualquer etapa anterior de tratamento, apresentou um rendimento de lixiviação equivalente a 12,5 %. Utilizando temperatura de ustulação entre 600

°C a 700°C, com tempo de residência entre 1,75h e 2,25h e vazão de ar entre 0,4m<sup>3</sup>/h e 0,8m<sup>3</sup>/h, aumentou-se o rendimento de lixiviação para 92,5 % (Li *et al.*, 2021).

Entretanto, de acordo com Pourdasht (2018), esse método possui certas desvantagens, tais como:

- Caso os parâmetros operacionais não sejam adequadamente calculados, poderá ocorrer o aumento da reatividade dos compostos carbonosos;
- Geração de passivos ambientais, se não tratados da forma correta, como por exemplo o gás dióxido de enxofre;
- Caso a temperatura exceda 700°C, o ouro poderá formar uma liga com arsênio e volatilizar-se.

## 5 CONCLUSÃO

Após o estudo realizado, obteve-se uma compreensão mais ampla e aprofundada do fenômeno *preg-robbing*, o qual pode ser entendido como a adsorção do cianocomplexo de ouro em material carbonoso inerente a determinados minérios auríferos. Tal efeito é responsável pela elevação do teor de rejeito sólido, uma vez que os cianocomplexos de ouro são carregados para o rejeito junto com matéria orgânica, ocasionando perdas e comprometendo a recuperação do metal.

Identificaram-se e classificaram-se os diferentes compostos carbonáceos envolvidos no processo de adsorção das espécies  $M^{n+}[Au(CN)_2]_n$  e  $[Au(CN)_2]$ , isto é, mostrou-se que a alta concentração de carbono não representa uma certeza de ocorrência do fenômeno *preg-robbing*, pois o mesmo depende do grau de grafitação, área superficial e desordem dos cristais de carbono. Dessa forma, a presença de compostos carbonosos em minérios auríferos representa potencial redução na recuperação de ouro a depender de sua concentração, grau de grafitação e ordenação interna. Para o estudo do efeito *preg-robbing*, diversas técnicas podem ser utilizadas, como espectrofotometria UV/VIS, espectrometria Raman, MEV/EDX, determinação da área superficial, TOF-SIMS e ensaio *doping*.

Ademais, constataram-se diferentes maneiras de reduzir a ocorrência do efeito *preg-robbing*, como por exemplo *carbon-in-leach*, resina de troca iônica, bio-oxidação, oxidação sob pressão, passivação/blindagem e ustulação. Assim, o trabalho poderá auxiliar futuros estudos que visem a aumentar a produtividade, otimizar ganhos econômicos e colaborar com a melhoria contínua dos processos hidrometalúrgicos.

Outrossim, as alternativas que visam minimizar o efeito *preg-robbing* necessitam ser estudadas de forma específica para o minério a ser processado. O comportamento do minério, ao ser submetido aos diversos tratamentos, deve ser avaliado por meio de ensaios em escala laboratorial e, quando possível, industrial, uma vez que a melhor opção será definida em função das características do minério e dos parâmetros operacionais da usina.

## REFERÊNCIAS

- BERG, R. V. D. **Inhibition of the pregrobbing phenomenon in gold ores**. 2000. Dissertation (Master) – Department of Chemical Engineering of the CapeTechnikon, CapeTechnikon, 2000. Disponível em: <http://etd.cput.ac.za/handle/20.500.11838/907>. Acesso em: 18 jul. 2021.
- COSTENARO, R.; CUSTODIO, R.; COLLINS, C. H. e COLLINS, K. E. Uma análise das determinações de área superficial de nitrogênio sobre sílicas e modelagem da interação entre estes compostos. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 18., Campinas, 2010. **Anais [...]**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2010.
- DIMOV, S. S.; CHRYSOULIS, S. L. e SODHI, R. N. Speciation of surface gold in pressure oxidized carbonaceous gold ores by TOF-SIMS and TOF-LIMS. **Applied Surface Science**, Amsterdam, v. 203-204, p. 644-647, Jan. 2003.
- DUNNE, R.; BUDA, K.; HILL, M.; STAUNTON, W.; WARDELL-JOHNSON, G. e TJANDRAWAN, V. Assessment of options for economic processing of preg-robbing gold ores. **Mineral Processing and Extractive Metallurgy**, Austrália, v. 121, n. 4, p. 217-223, 2012.
- HART, B. R.; DIMOV, S. S.; MERMILLOD-BLONDIN, R. e FOURNIER, J. Procedure for characterization of carbonaceous matter in an ore sample with estimation towards its preg-robbing capacity. In: ANNUAL CONFERENCE OF METALLURGISTS OF CIM, 50., 2011 Montreal. **Proceedings [...]**. Montreal: Met Soc, 2011. p. 35-50.
- HATCHER, P. G.; SPIKER, E. e OREM, W. H. Oxidative origin of sedimentary humic acids, important carriers of metals. In: DEAN, W. E. (ed.). **Organics and ore deposits**. Wheat Ridge: Denver Region Exploration Geologists Society, 1985.
- HELM, M.; VAUGHAN, J.; STAUNTON, W. P. e AVRAAMIDES, J. An investigation of the carbonaceous component of preg-robbing gold ores. In: WORLD GOLD CONFERENCE. 2009. **Proceedings [...]**. [S. l.]: The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2009. p. 139-144.
- LI, H.; XIAO, W.; JIN, J. e HAN, Y. Oxidation roasting of fine-grained carbonaceous gold ore: the effect of aeration rate. **Minerals**, Basel, v. 11, n. 6, p. 1-15, 2021.
- MARSDEN, J. O. e HOUSE, C. I. **The chemistry of gold extraction**. 2. ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2009.
- MILLER, J. D.; WAN, R-Y. e DIAZ, X. Preg-robbing gold ores. In: ADAMS, M. D. (ed.). **Developments in Mineral Processing**. [S. l.]: Elsevier, 2005. v. 15, p. 937-972.
- MILLER, J. D.; WAN, R-Y. e DIAZ, X. Preg-robbing gold ores. In: ADAMS, M. D. (ed.). **Gold ore processing**. 2. ed. [S. l.]: Elsevier, 2016. cap. 49, p. 885-907.

MUBAROK, M. Z. e IRIANTO, P. S. Improving gold recovery from artificial preg-robbing ore by pre-treatment using blinding agent and resin-in-leach. **Journal of Engineering and Technological Sciences**, Bandung, v. 48, n. 3, p. 276-287, 2016.

MUSTAPHA A.; ASAMOAH, R. K.; OFORI-SARPONG, G. e AMANKWAH, R. K. Preg-robbing characteristics of gold ores in Ghana. In: UMAT BIENNIAL INTERNATIONAL MINING AND MINERAL CONFERENCE, 3., 2014, Austrália. **Proceedings** [...]. Austrália: [s. n.], 2014. p. 192–196.

OLIVEIRA JUNIOR, G. G. **Desenvolvimento de uma rota de processo de dessulfurização de rejeitos de um minério aurífero sulfetado** 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PEREIRA, M. S. **Avaliação dos produtos de oxidação e ocorrência do efeito preg-robbing da oxidação sob pressão em autoclave de bancada e industrial para o minério sulfetado da mina i de Córrego do Sítio, Minas Gerais.** 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

POINEN, G.; THURGATE, S. M.; KIRTON, G. e RITCHIE, I. M. Adsorption of dicyanoaurate (I) ions on highly oriented pyrolytic graphite. **Applied Surface Science**, Amsterdam, v. 134, n. 1/4, p. 73-77, Sept. 1998.

POURDASHT, M. **Study on the surface features of Preg-Robbing carbonaceous matter during oxidation treatment.** 2018. Thesis (Master) - Western University, Ontario, 2018.

REES, K. L. e VAN DEVENTER, J. S. J. Preg-robbing phenomena in the cyanidation of sulphide gold ores. **Hydrometallurgy**, [s. l.], v. 58, n. 1, p. 61-80, Nov. 2000.

SANTIAGO, R. C. C. e LADEIRA, A. C. Q. Minimização da atividade preg-robbing de minérios auríferos carbonosos com a utilização de aditivos químicos. **Holos**, Natal, v. 6, 2017.

SIBRELL, P. L. e MILLER, J. D. Significance of graphitic structural features in gold adsorption by carbon. **Minerals & Metallurgical Processing**, [s. l.], v. 9, p. 189-195, Nov. 1992.

STOKES, D. J. **Principles and practice of variable pressure environmental scanning electron microscope (VP-ESEM).** Chichester: John Wiley & Sons, 2008.

WADNERKAR, D.; TADE, M. O.; PAREEK, V. K. e UTIKAR, R. P. Modeling and optimization of Carbon in leach (CIL) circuit for gold recovery. **Minerals Engineering**, [s. l.], v. 83, p. 136-148, Nov. 2015.

XU, R.; LI, Q.; MENG, F.; YANG, Y.; XU, B.; YIN, H. e JIANG, T. Bio-oxidation of a double refractory gold ore and investigation of preg-robbing of gold from thiourea solution. **Metals**, Changsha, v. 10, n. 9, p. 1216, 2020.

ZHOU, J. e JAGO, B.; MARTIN, C. Establishing the process mineralogy of gold ores. **SGS Minerals**, [s. l.], p. 1-17, 2004.

## ANEXO A – AUTORIZAÇÃO DA EDITORA SPRINGER NATURE PARA REPRODUÇÃO DA FIGURA 4.1

---

---

This Agreement between Mr. Gabriel Borges ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	5151021506601
License date	Sep 16, 2021
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Mining, Metallurgy & Exploration
Licensed Content Title	Significance of graphitic structural features in gold adsorption by carbon
Licensed Content Author	P. L. Sibrell et al
Licensed Content Date	Nov 1, 1992
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations

Title	EFEITO PREG-ROBBING EM MINERAIS AURÍFEROS POR COMPOSTOS CARBONÁCEOS: ESTADO DA ARTE
Institution name	Universidade Federal de Ouro Preto
Expected presentation date	Nov 2021
Portions	Fig. 5 - Autoradiographs of HOPG basal plane and edge samples after contact with radiolabeled gold-cyanide solutions. Page 193
Requestor Location	Mr. Gabriel Borges Avenida Maranhão 1163  Uberlândia, Minas Gerais 38400738 Brazil Attn: Mr. Gabriel Borges
Total	0.00 USD
Terms and Conditions	

**Springer Nature Customer Service Centre GmbH  
Terms and Conditions**

This agreement sets out the terms and conditions of the licence (the **Licence**) between you and **Springer Nature Customer Service Centre GmbH** (the **Licensor**). By clicking 'accept' and completing the transaction for the material (**Licensed Material**), you also confirm your acceptance of these terms and conditions.

**1. Grant of License**

**1.1.** The Licensor grants you a personal, non-exclusive, non-transferable, world-wide licence to reproduce the Licensed Material for the purpose specified in your order only. Licences are granted for the specific use requested in the order and for no other use, subject to the conditions below.

by these Ts&Cs and any applicable laws.

**2. 2.** A separate licence may be required for any additional use of the Licensed Material, e.g. where a licence has been purchased for print only use, separate permission must be obtained for electronic re-use. Similarly, a licence is only valid in the language selected and does not apply for editions in other languages unless additional translation rights have been granted separately in the licence. Any content owned by third parties are expressly excluded from the licence.

**2. 3.** Similarly, rights for additional components such as custom editions and derivatives require additional permission and may be subject to an additional fee. Please apply to [journalpermissions@springernature.com](mailto:journalpermissions@springernature.com)/[bookpermissions@springernature.com](mailto:bookpermissions@springernature.com) for these rights.

**2. 4.** Where permission has been granted **free of charge** for material in print, permission may also be granted for any electronic version of that work, provided that the material is incidental to your work as a whole and that the electronic version is essentially equivalent to, or substitutes for, the print version.

**2. 5.** An alternative scope of licence may apply to signatories of the [STM Permissions Guidelines](#), as amended from time to time.

### 3. Duration of Licence

**3. 1.** A licence for is valid from the date of purchase ('Licence Date') at the end of the relevant period in the below table:

Scope of Licence	Duration of Licence
Post on a website	12 months
Presentations	12 months
Books and journals	Lifetime of the edition in the language purchased

### 4. Acknowledgement

**4. 1.** The Licensor's permission must be acknowledged next to the Licenced Material in print. In electronic form, this acknowledgement must be visible at the same time as the figures/tables/illustrations or abstract, and must be hyperlinked to the journal/book's homepage. Our required acknowledgement format is in the Appendix below.



sites prior to final publication.

## **6. Ownership of Rights**

**6.1.** Licensed Material remains the property of either Licensor or the relevant third party and any rights not explicitly granted herein are expressly reserved.

## **7. Warranty**

IN NO EVENT SHALL LICENSOR BE LIABLE TO YOU OR ANY OTHER PARTY OR ANY OTHER PERSON OR FOR ANY SPECIAL, CONSEQUENTIAL, INCIDENTAL OR INDIRECT DAMAGES, HOWEVER CAUSED, ARISING OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE DOWNLOADING, VIEWING OR USE OF THE MATERIALS REGARDLESS OF THE FORM OF ACTION, WHETHER FOR BREACH OF CONTRACT, BREACH OF WARRANTY, TORT, NEGLIGENCE, INFRINGEMENT OR OTHERWISE (INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, DAMAGES BASED ON LOSS OF PROFITS, DATA, FILES, USE, BUSINESS OPPORTUNITY OR CLAIMS OF THIRD PARTIES), AND WHETHER OR NOT THE PARTY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. THIS LIMITATION SHALL APPLY NOTWITHSTANDING ANY FAILURE OF ESSENTIAL PURPOSE OF ANY LIMITED REMEDY PROVIDED HEREIN.

## **8. Limitations**

**8.1. *BOOKS ONLY*:** Where '**reuse in a dissertation/thesis**' has been selected the following terms apply: Print rights of the final author's accepted manuscript (for clarity, NOT the published version) for up to 100 copies, electronic rights for use only on a personal website or institutional repository as defined by the Sherpa guideline ([www.sherpa.ac.uk/romeo/](http://www.sherpa.ac.uk/romeo/)).

**8.2.** For content reuse requests that qualify for permission under the [STM Permissions Guidelines](#), which may be updated from time to time, the STM Permissions Guidelines supersede the terms and conditions contained in this licence.

## **9. Termination and Cancellation**

**For Advance Online Publication papers:**

Reprinted by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication), advance online publication, day month year (doi: 10.1038/sj.[JOURNAL ACRONYM].)]

**For Adaptations/Translations:**

Adapted/Translated by permission from [the Licensor]: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)]

**Note: For any republication from the British Journal of Cancer, the following credit line style applies:**

Reprinted/adapted/translated by permission from [the Licensor]: on behalf of Cancer Research UK: : [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication)]

**For Advance Online Publication papers:**

Reprinted by permission from The [the Licensor]: on behalf of Cancer Research UK: [Journal Publisher (e.g. Nature/Springer/Palgrave)] [JOURNAL NAME] [REFERENCE CITATION (Article name, Author(s) Name), [COPYRIGHT] (year of publication), advance online publication, day month year (doi: 10.1038/sj.[JOURNAL ACRONYM].)]

**For Book content:**

Reprinted/adapted by permission from [the Licensor]: [Book Publisher (e.g. Palgrave Macmillan, Springer etc) [Book Title] by [Book author(s)] [COPYRIGHT] (year of publication)]

**Other Conditions:**

Version 1.3

Questions? [customercare@copyright.com](mailto:customercare@copyright.com) or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

## ANEXO B – AUTORIZAÇÃO DA EDITORA ELSEVIER PARA REPRODUÇÃO DA FIGURA 4.3

---

This Agreement between Mr. Gabriel Borges ("You") and Elsevier ("Elsevier") consists of your license details and the terms and conditions provided by Elsevier and Copyright Clearance Center.

License Number	5151020902773
License date	Sep 16, 2021
Licensed Content Publisher	Elsevier
Licensed Content Publication	Elsevier Books
Licensed Content Title	Gold Ore Processing
Licensed Content Author	J.D. Miller,R.-Y. Wan,X. Díaz
Licensed Content Date	Jan 1, 2016
Licensed Content Pages	23
Start Page	885
End Page	907
Type of Use	reuse in a thesis/dissertation

no access to the manuscript

Will you be translating? No

Title EFEITO PREG-ROBBING EM MINERAIS AURÍFEROS POR COMPOSTOS CARBONÁCEOS: ESTADO DA ARTE

Institution name Universidade Federal de Ouro Preto

Expected presentation date Nov 2021

Portions FIGURE 49.1 SEM micrographs of a commercial activated carbon and a carbonaceous material from a Carlin trend ore. Courtesy of Dr Stephen Chrissoulis. Page 888

Requestor Location Mr. Gabriel Borges  
Avenida Maranhão 1163  
Uberlândia, Minas Gerais 38400738  
Brazil  
Attn: Mr. Gabriel Borges

Publisher Tax ID GB 494 6272 12

Total 0.00 USD

Terms and Conditions

### INTRODUCTION

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with

publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol/edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier's permissions helpdesk [here](#)). No modifications can be made to any Lancet figures/tables and they must be reproduced in full.

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's Billing and Payment terms and conditions. If full payment is not received on a timely basis, then any license preliminarily granted shall be deemed automatically revoked and shall be void as if never granted. Further, in the event that you breach any of these terms and conditions or any of CCC's Billing and Payment terms and conditions, the license is automatically revoked and shall be void as if never granted. Use of materials as described in a revoked license, as well as any use of the materials beyond the scope of an unrevoked license, may constitute copyright infringement and publisher reserves the right to take any and all action to protect its copyright in the materials.

9. Warrantie: Publisher makes no representations or warranties with respect to the licensed material.

10. Indemnity: You hereby indemnify and agree to hold harmless publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

#### LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article.

16. **Posting licensed content on any Website:** The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned version of the material to be stored in a central repository such as that provided by Heron/XanEdu.

Licensing material from an Elsevier book: A hyper-text link must be included to the Elsevier homepage at <http://www.elsevier.com>. All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image.

**Posting licensed content on Electronic reserve:** In addition to the above the following clauses are applicable: The web site must be password-protected and made available only to bona fide students registered on a relevant course. This permission is granted for 1 year only. You may obtain a new license for future website posting.

17. **For journal authors:** the following clauses are applicable in addition to the above:

**Preprints:**



PLEASE NOTE THAT COURTESY, THE LIBRARIAN AND SOME SOCIETY-OWNED HAVE DIFFERENT PROPRITY POLICIES. Information on these policies is available on the journal homepage.

**Accepted Author Manuscripts:** An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
  - via their non-commercial person homepage or blog
  - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
  - via their research institute or institutional repository for internal institutional uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group
  - directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
  - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- After the embargo period
  - via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
  - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do
- if aggregated with other manuscripts, for example in a repository or other site, be shared in alignment with our hosting policy not be added to or enhanced in any way to appear more like, or to substitute for, the published journal article.

**Published journal article (JPA):** A published journal article (PJA) is the definitive final record of published research that appears or will appear in the journal and embodies all value-adding publishing activities including peer review co-ordination, copy-editing, formatting, (if relevant) pagination and online enrichment.

Policies for sharing publishing journal articles differ for subscription and gold open access articles:

**Subscription Articles:** If you are an author, please share a link to your article rather than the full-text. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

**18. For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

**19. Thesis/Dissertation:** If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

### **Elsevier Open Access Terms and Conditions**

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

#### **Terms & Conditions applicable to all Open Access articles published with Elsevier:**

Any reuse of the article must not represent the author as endorsing the adaptation of the article nor should the article be modified in such a way as to damage the author's honour or reputation. If any changes have been made, such changes must be clearly indicated.

The author(s) must be appropriately credited and we ask that you include the end user license and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source it is the responsibility of the user to ensure their reuse complies with the terms and conditions determined by the rights holder.

#### **Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:**

**CC BY:** The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

**CC BY NC ND:** The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way; and provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

## 20. Other Conditions:

v1.10

Questions? [customercare@copyright.com](mailto:customercare@copyright.com) or +1-855-239-3415 (toll free in the US) or +1-978-646-2777.

---

---

## ANEXO C – AUTORIZAÇÃO DA EDITORA ELSEVIER PARA REPRODUÇÃO DA FIGURA 4.4

---

This Agreement between Mr. Gabriel Borges ("You") and Elsevier ("Elsevier") consists of your license details and the terms and conditions provided by Elsevier and Copyright Clearance Center.

License Number	5151030681347
License date	Sep 16, 2021
Licensed Content Publisher	Elsevier
Licensed Content Publication	Minerals Engineering
Licensed Content Title	Modeling and optimization of Carbon in leach (CIL) circuit for gold recovery
Licensed Content Author	Divyamaan Wadnerkar, Moses O. Tade, Vishnu K. Pareek, Ranjeet P. Utikar
Licensed Content Date	Nov 1, 2015
Licensed Content Volume	83
Licensed Content Issue	n/a
Licensed Content Pages	13

figures/tables/illustrations<sup>1</sup>

Format both print and electronic

Are you the author of this Elsevier article? No

Will you be translating? Yes, without English rights

Number of languages 1

Title EFEITO PREG-ROBBING EM MINERAIS AURÍFEROS POR COMPOSTOS CARBONÁCEOS: ESTADO DA ARTE

Institution name Universidade Federal de Ouro Preto

Expected presentation date Nov 2021

Portions Fig. 1. Flow of ore slurry and carbon particles across CIL in series. Page 137

Specific Languages Figura 4.6.1.6: Ilustração simplificada de um circuito carbon-in-leach (Adaptado de Wadnerkar et al, 2015, p. 137)

Mr. Gabriel Borges  
Avenida Maranhão 1163

Requestor Location Uberlândia, Minas Gerais 38400738  
Brazil  
Attn: Mr. Gabriel Borges

1. The publisher for this copyrighted material is Elsevier. By clicking "accept" in connection with completing this licensing transaction, you agree that the following terms and conditions apply to this transaction (along with the Billing and Payment terms and conditions established by Copyright Clearance Center, Inc. ("CCC"), at the time that you opened your Rightslink account and that are available at any time at <http://myaccount.copyright.com>).

#### GENERAL TERMS

2. Elsevier hereby grants you permission to reproduce the aforementioned material subject to the terms and conditions indicated.

3. Acknowledgement: If any part of the material to be used (for example, figures) has appeared in our publication with credit or acknowledgement to another source, permission must also be sought from that source. If such permission is not obtained then that material may not be included in your publication/copies. Suitable acknowledgement to the source must be made, either as a footnote or in a reference list at the end of your publication, as follows:

"Reprinted from Publication title, Vol/edition number, Author(s), Title of article / title of chapter, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier [OR APPLICABLE SOCIETY COPYRIGHT OWNER]." Also Lancet special credit - "Reprinted from The Lancet, Vol. number, Author(s), Title of article, Pages No., Copyright (Year), with permission from Elsevier."

4. Reproduction of this material is confined to the purpose and/or media for which permission is hereby given.

5. Altering/Modifying Material: Not Permitted. However figures and illustrations may be altered/adapted minimally to serve your work. Any other abbreviations, additions, deletions and/or any other alterations shall be made only with prior written authorization of Elsevier Ltd. (Please contact Elsevier's permissions helpdesk [here](#)). No modifications can be made to any Lancet figures/tables and they must be reproduced in full.

6. If the permission fee for the requested use of our material is waived in this instance, please be advised that your future requests for Elsevier materials may attract a fee.

7. Reservation of Rights: Publisher reserves all rights not specifically granted in the combination of (i) the license details provided by you and accepted in the course of this licensing transaction, (ii) these terms and conditions and (iii) CCC's Billing and Payment terms and conditions.

8. License Contingent Upon Payment: While you may exercise the rights licensed immediately upon issuance of the license at the end of the licensing process for the transaction, provided that you have disclosed complete and accurate details of your proposed use, no license is finally effective unless and until full payment is received from you (either by publisher or by CCC) as provided in CCC's

10. **Assignment:** You hereby assign to Elsevier, Publisher and CCC, and their respective officers, directors, employees and agents, from and against any and all claims arising out of your use of the licensed material other than as specifically authorized pursuant to this license.

11. **No Transfer of License:** This license is personal to you and may not be sublicensed, assigned, or transferred by you to any other person without publisher's written permission.

12. **No Amendment Except in Writing:** This license may not be amended except in a writing signed by both parties (or, in the case of publisher, by CCC on publisher's behalf).

13. **Objection to Contrary Terms:** Publisher hereby objects to any terms contained in any purchase order, acknowledgment, check endorsement or other writing prepared by you, which terms are inconsistent with these terms and conditions or CCC's Billing and Payment terms and conditions. These terms and conditions, together with CCC's Billing and Payment terms and conditions (which are incorporated herein), comprise the entire agreement between you and publisher (and CCC) concerning this licensing transaction. In the event of any conflict between your obligations established by these terms and conditions and those established by CCC's Billing and Payment terms and conditions, these terms and conditions shall control.

14. **Revocation:** Elsevier or Copyright Clearance Center may deny the permissions described in this License at their sole discretion, for any reason or no reason, with a full refund payable to you. Notice of such denial will be made using the contact information provided by you. Failure to receive such notice will not alter or invalidate the denial. In no event will Elsevier or Copyright Clearance Center be responsible or liable for any costs, expenses or damage incurred by you as a result of a denial of your permission request, other than a refund of the amount(s) paid by you to Elsevier and/or Copyright Clearance Center for denied permissions.

#### LIMITED LICENSE

The following terms and conditions apply only to specific license types:

15. **Translation:** This permission is granted for non-exclusive world **English** rights only unless your license was granted for translation rights. If you licensed translation rights you may only translate this content into the languages you requested. A professional translator must perform all translations and reproduce the content word for word preserving the integrity of the article.

16. **Posting licensed content on any Website:** The following terms and conditions apply as follows: Licensing material from an Elsevier journal: All content posted to the web site must maintain the copyright information line on the bottom of each image; A hyper-text must be included to the Homepage of the journal from which you are licensing at <http://www.sciencedirect.com/science/journal/xxxxx> or the Elsevier homepage for books at <http://www.elsevier.com>; Central Storage: This license does not include permission for a scanned

17. For journal authors, the following clauses are applicable in addition to the above.

### **Preprints:**

A preprint is an author's own write-up of research results and analysis, it has not been peer-reviewed, nor has it had any other value added to it by a publisher (such as formatting, copyright, technical enhancement etc.).

Authors can share their preprints anywhere at any time. Preprints should not be added to or enhanced in any way in order to appear more like, or to substitute for, the final versions of articles however authors can update their preprints on arXiv or RePEc with their Accepted Author Manuscript (see below).

If accepted for publication, we encourage authors to link from the preprint to their formal publication via its DOI. Millions of researchers have access to the formal publications on ScienceDirect, and so links will help users to find, access, cite and use the best available version. Please note that Cell Press, The Lancet and some society-owned have different preprint policies. Information on these policies is available on the journal homepage.

**Accepted Author Manuscripts:** An accepted author manuscript is the manuscript of an article that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and editor-author communications.

Authors can share their accepted author manuscript:

- immediately
  - via their non-commercial person homepage or blog
  - by updating a preprint in arXiv or RePEc with the accepted manuscript
  - via their research institute or institutional repository for internal institutional uses or as part of an invitation-only research collaboration work-group
  - directly by providing copies to their students or to research collaborators for their personal use
  - for private scholarly sharing as part of an invitation-only work group on commercial sites with which Elsevier has an agreement
- After the embargo period
  - via non-commercial hosting platforms such as their institutional repository
  - via commercial sites with which Elsevier has an agreement

In all cases accepted manuscripts should:

- link to the formal publication via its DOI
- bear a CC-BY-NC-ND license - this is easy to do



---

will help your users to find, access, cite, and use the best available version.

Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

If you are affiliated with a library that subscribes to ScienceDirect you have additional private sharing rights for others' research accessed under that agreement. This includes use for classroom teaching and internal training at the institution (including use in course packs and courseware programs), and inclusion of the article for grant funding purposes.

**Gold Open Access Articles:** May be shared according to the author-selected end-user license and should contain a [CrossMark logo](#), the end user license, and a DOI link to the formal publication on ScienceDirect.

Please refer to Elsevier's [posting policy](#) for further information.

18. **For book authors** the following clauses are applicable in addition to the above: Authors are permitted to place a brief summary of their work online only. You are not allowed to download and post the published electronic version of your chapter, nor may you scan the printed edition to create an electronic version. **Posting to a repository:** Authors are permitted to post a summary of their chapter only in their institution's repository.

19. **Thesis/Dissertation:** If your license is for use in a thesis/dissertation your thesis may be submitted to your institution in either print or electronic form. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. These requirements include permission for the Library and Archives of Canada to supply single copies, on demand, of the complete thesis and include permission for Proquest/UMI to supply single copies, on demand, of the complete thesis. Should your thesis be published commercially, please reapply for permission. Theses and dissertations which contain embedded PJAs as part of the formal submission can be posted publicly by the awarding institution with DOI links back to the formal publications on ScienceDirect.

#### **Elsevier Open Access Terms and Conditions**

You can publish open access with Elsevier in hundreds of open access journals or in nearly 2000 established subscription journals that support open access publishing. Permitted third party re-use of these open access articles is defined by the author's choice of Creative Commons user license. See our [open access license policy](#) for more information.

**Additional Terms & Conditions applicable to each Creative Commons user license:**

**CC BY:** The CC-BY license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article and to make commercial use of the Article (including reuse and/or resale of the Article by commercial entities), provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

**CC BY NC SA:** The CC BY-NC-SA license allows users to copy, to create extracts, abstracts and new works from the Article, to alter and revise the Article, provided this is not done for commercial purposes, and that the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, indicates if changes were made and the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. Further, any new works must be made available on the same conditions. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>.

**CC BY NC ND:** The CC BY-NC-ND license allows users to copy and distribute the Article, provided this is not done for commercial purposes and further does not permit distribution of the Article if it is changed or edited in any way, and provided the user gives appropriate credit (with a link to the formal publication through the relevant DOI), provides a link to the license, and that the licensor is not represented as endorsing the use made of the work. The full details of the license are available at <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. Any commercial reuse of Open Access articles published with a CC BY NC SA or CC BY NC ND license requires permission from Elsevier and will be subject to a fee.

Commercial reuse includes:

- Associating advertising with the full text of the Article
- Charging fees for document delivery or access
- Article aggregation
- Systematic distribution via e-mail lists or share buttons

Posting or linking by commercial companies for use by customers of those companies.

**20. Other Conditions:**