

Prospecção Tecnológica de Surfactantes Usados em Processos de Concentração Mineral

Technological Prospection of Surfactants Used in Mineral Concentration Processes

Wagner Alves Ribeiro¹

Denílson da Costa Silva¹

Adriano Alves Rabelo¹

¹Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, PA, Brasil

Resumo

O processamento mineral é considerado o coração do setor mineral, entretanto, processos de beneficiamento mineral são dispendiosos e quando não bem dimensionados interferem na produção e no planejamento econômico-financeiro das empresas. Os principais reagentes utilizados no processo de flotação são os surfactantes, moléculas anfipáticas muito eficientes na produção mineral. O objetivo desta pesquisa foi estudar a prospecção tecnológica de surfactantes usados em processos de concentração mineral. Para tanto, foram executadas buscas de documentos de patentes com combinações de estratégias isoladas e uma combinação geral proporcionada pela base Questel – Orbit Intelligence, seguida de análise da maturidade da tecnologia, envolvendo o aspecto temporal, geográfico e os principais depositantes. O levantamento panorâmico do perfil dos depositantes de patentes no Brasil e no mundo de tecnologias relacionadas ao uso de surfactantes sintéticos e biológicos no setor mineral no período em estudo permitiu traçar um cenário favorável sob a visão de sistemas de patentes. Destaca-se a relevância das patentes em surfactantes biodegradáveis, contribuindo para a economia mundial, especialmente na área mineral.

Palavras-chave: Flotação. Surfactantes Sintéticos. Surfactantes Biológicos.

Abstract

Mineral processing is considered the heart of the mineral sector; however, mineral processing processes are expensive and, when not well dimensioned, interfere in the production and economic-financial planning of companies. The main reagents used in this flotation process are surfactants, amphipathic molecules that are very efficient in mineral production. The objective of this research was to study the technological prospection of surfactants used in mineral concentration processes. For this purpose, patent document searches were carried out with combinations of isolated strategies and a general combination provided by the Questel base - *Orbit Intelligence*, followed by an analysis of the technology maturity, involving temporal, geographic aspect, and main depositors. The panoramic survey of the profile of patent applicants in Brazil and in the world of technologies related to the use of synthetic and biological surfactants in the mineral sector in the period under study allowed tracing a favorable scenario from the point of view of patent systems. The relevance of patents on biodegradable surfactants is highlighted, contributing to the world economy, especially in the mineral area.

Keywords: Flotation. Synthetic Surfactants. Biological Surfactants.

Área Tecnológica: Processamento Mineral Inovação Tecnológica. Prospecção Tecnológica.



1 Introdução

A Indústria Extrativa Mineral tem crescido no cenário atual brasileiro (SILVA *et al.*, 2015). Esse elevado crescimento da indústria extrativa mineral ocorre em detrimento da necessidade de avanços em desenvolvimento tecnológico na sociedade pós-moderna (SANTOS; SILVA; COSTA, 2016).

Galdino (2020) explica que um projeto mineral não necessariamente inicia com a exploração do corpo mineral, e sim a partir de análises pré-exploratórias de viabilidade econômica, definições da geologia do minério e do projeto relacionado ao planejamento de operações e beneficiamento mineral, além de compreender como esse minério será transportado e vendido ao negociador, e, finalmente, observar a legislação ambiental.

O universo das operações na mineração é basicamente planejado a partir dos objetivos traçados pelo corpo técnico especializado, nesse sentido, as atividades se subdividem em operações unitárias, cominuição, beneficiamento mineral, transporte e fechamento de mina (IZAGUIRRY, 2018).

Na mineração, há uma particularidade em relação à exploração mineral, na qual geologicamente os minerais não estão isolados no processo de sua formação, logo, necessitam de mecanismos de segregação seletiva para serem concentrados em teores consideráveis economicamente (BRANCO, 2015).

Duthie (2017) explica que o valor do corpo mineral está em seu beneficiamento, que consiste em atingir teores aceitáveis no mercado consumidor, sendo a técnica de segregação físico-química utilizada para concentrar minerais de valor econômico.

O mercado consumidor de produtos oriundos da mineração busca possibilidades de utilizar esses bens primários da forma mais eficaz possível, mas, para que a eficácia dos produtos ou processos de produção terciária seja alcançada, o mineral precisa atingir certo grau de pureza em seu beneficiamento (DUTHIE, 2017).

Minerais que apresentam baixo teor para o mercado consumidor são submetidos a processos de concentração mineral, sendo a técnica de flotação a mais utilizada para se atingir os objetivos (PÉREZ-ZUÑIGA, 2019).

Khoshdast (2011), em seus estudos sobre seletividades de minerais em processos de flotação, afirma que os surfactantes sintéticos são fundamentais para tornar a superfície hidrofílica de um mineral em hidrofóbica condicionando a flotação desse mineral.

Os surfactantes sintéticos são compostos orgânicos tensoativos com propriedades anfipáticas de cadeias carbônicas apolares e grupamentos polares, caracterizados por elementos químicos iônicos, não iônicos e anfotéricos.

Segundo Santos, Silva e Costa (2016), os surfactantes sintéticos são derivados dos hidrocarbonetos de cadeia aberta saturada, tóxicos e de difícil degradação, podendo poluir o solo e a água, causando a morte de espécies presentes nesses ecossistemas (SANTOS, 2019).

Mineração sustentável é hoje o maior desafio dos tomadores de decisão no setor mineral primário, pois a exploração de recursos naturais minerais de certa forma causa impactos nos ecossistemas e degradação do ambiente social, consequentemente impactando a saúde das pessoas (SANTANA, 2013).

Uma alternativa que está sendo pensada para mitigar os impactos ambientais ocasionados pela exploração mineral é a introdução de reagentes biológicos, nesse processo, os microrganismos atuam como biorreagentes do tipo coletores ou de modificadores que transformam a superfície hidrofílica do mineral em um composto com características hidrofóbicas, facilitando, assim, a separação nas operações convencionais de flotação e/ou floculação (SANTOS; SILVA; COSTA, 2016).

A problemática aqui levantada tem feito com que pesquisadores proponham uma rota diferenciada para utilização de surfactantes biológicos nos processos de flotação na indústria mineral (DELL'ANO *et al.*, 2018). Os surfactantes biológicos têm sido uma grande alternativa ambiental para os processos de beneficiamento de minerais de valor econômico (MOREIRA, 2019), a inserção de substâncias produzidas por microrganismos nos processos industriais já é uma realidade biotecnológica em diversos setores da economia (RAO *et al.*, 2004).

Silva (2018) explica que certos tipos de minerais possuem afinidade químico-física com a água, portanto precisam ser tratados de forma diferencial, na flotação, os biosurfactantes atuam como reagentes coletores, agindo de forma eficiente na interface água/sólido, modificando a superfície cristalina do mineral e tornando-o hidrofóbico.

Os biosurfactantes apresentam padrões físicos e químicos dos surfactantes sintéticos por serem compostos anfipáticos, ou seja, apresentam uma porção hidrofóbica com aversão a água e uma região hidrofílica (MALINOSK, 2021).

Os surfactantes de origem biológica têm se mostrado eficazes e promissores em processos de tratamento de minério, pois obedecem a princípios fundamentais e legais do uso consciente e sustentável abordados na legislação para preservação do meio ambiente (PRADO, 2015).

Ainda há necessidade de monitoramentos mais eficientes na indústria de surfactantes e em sua utilização no setor mineral. Para Oliveira *et al.* (2017), entre as fontes de informação tecnológica, os documentos de patentes se destacam por conterem valiosas informações, como data do primeiro depósito, bem como país onde foi aplicado pela primeira vez, nomes dos cessionários e o símbolo da Classificação Internacional de Patentes (IPC, em inglês), que é um sistema de classificação hierarquizada que fornece os aspectos gerais da invenção descritos no documento.

No entanto, os indicadores baseados em patentes são amplamente utilizados por empresas e entidade que se preocupam com desenvolvimento científico e tecnológico das nações em desenvolvimento (RIBEIRO, 2018). A determinação do Nível de Maturidade Tecnológica (TRL, inglês) é uma ferramenta importante para o processo de investigação da indústria e serve como um indicador de gestão do risco inerente à tecnologia em desenvolvimento (RIBEIRO, 2018). Esses indicadores quantitativos têm o propósito de apoiar as políticas em C&T, monitorando a produção de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (CHANCHETTI *et al.*, 2016).

O uso dos indicadores é fortemente recomendado devido a duas razões principais: em primeiro lugar, o indicador monitora o progresso e fornece uma imagem de tendências e de mudanças ao longo do tempo; em segundo lugar, os indicadores mostram claramente não apenas como as organizações individuais estão desempenhando, mas também como podem avaliar o desempenho de *benchmarking* nacional e regional em todo o setor.

Os surfactantes sintéticos têm sido nos últimos anos os principais reagentes da indústria química utilizados em processos de concentração mineral, no entanto, como agravante de sua utilização em larga escala nesse setor, o produto não utilizável desse processamento é descartado

em bacias de rejeitos ao ar livre, causando, sem dúvida alguma, grandes desequilíbrios ambientais no solo, no ar e na água, inviabilizando a sustentabilidade dos processos socioambientais.

O presente trabalho investigou o uso de surfactantes no setor mineral, utilizando indicadores prospectivos em bases de busca de patentes, variação dos pedidos de patentes e tecnologias predominantes em surfactante, e os principais *players* que detêm essa tecnologia mundialmente.

2 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma pesquisa descritiva com o objetivo de caracterizar, de forma abrangente, surfactantes sintéticos e biológicos. O estudo buscou estabelecer relações entre as variáveis apresentadas, empregando técnicas padronizadas de prospecção tecnológica, coleta e análise de dados.

Como se trata de um tema bastante complexo, caminhando por várias tecnologias inovativas, buscou-se realizar diferentes estratégias tecnológicas que se fundamentaram na associação de palavras-chave e símbolos de Classificação Internacional de Patentes, em linhas isoladas e na combinação de linhas de estratégia, que tivessem ligação direta com a tecnologia de surfactantes sintéticos e naturais utilizados em processos de concentração mineral, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Estratégias de buscas utilizadas para recuperar registros de documentos de patentes sobre surfactantes usados em processos de concentração mineral

#	ESTRATÉGIA DE BUSCA	NÚMERO DE PATENTES RECUPERADAS
1	TS = "bioreagent*"	2.333
2	TS = "biosurfactant*"	87
3	TS = "bioflotation*"	28
4	TS = "surfactant*" AND "natural*"	658.316
5	TS = "surfactant*" AND "flotation*"	16.160
6	TS = "surfactant*" AND "sintetic*"	27.365
7	TS = "surfactant*" AND "flotation*" AND "ore*"	3.522
8	TS = "bioreagent*" AND "flotation*" AND "ore*"	9
9	TS = "flotation*" AND "ore*" AND "biosurfactant*"	5
10	IPC = (C01B-025/01*)	754
11	IPC = (B03D - 101/02* OR B03D - 103/02*)	33
12	IPC = (B03D - 001/001* OR C12N-001/20*)	71.211
13	#12 OR #11 OR #10 OR #9 OR #8 OR #7 OR #6 OR #5 OR #4 OR #3 OR #2 OR # 1	2.463

TS: título, resumo e reivindicações; IPC: código de Classificação Internacional de Patentes. Buscas realizadas em 07/01/23. B03D-001/001 – Operação de processamento, separação de materiais sólido, flotação, sedimentação, mistura de compostos orgânicos, B03D-103/02 – Operação de processamento, separação de materiais sólidos, flotação e sedimentação diferencial e processo de flotação por espuma, B03D-101/02 – Operação de processamento, separação de materiais sólidos, flotação de agentes coletores. C12N-001/20 – Bactérias; Meios de cultura para eles. C01B-025/01 – minérios de fosfato ou outros materiais brutos de fosfato para obter fósforo ou compostos de fósforo.

Fonte: Adaptada de Oliveira *et al.* (2017)

Para a pesquisa de busca de atividade tecnológica de patentes relacionadas ao tema, foi utilizada a base de busca de documentos de patentes Orbit Intelligence, do grupo Questel. Nos resultados, foram verificadas as evoluções temporais e geográficas da tecnologia, considerando os principais detentores de patentes ativas dos surfactantes, pontos semelhantes e controversos nos resumos das principais patentes depositadas de surfactantes na mineração.

A base Orbit Intelligence é uma plataforma de busca de patente bastante eficaz, sendo uma das maiores bases de dados de patentes do planeta, a partir dela, foram utilizadas as ferramentas de pesquisa avançada usando as palavras-chave nos campos de título, resumo e reivindicações, além dos símbolos de Códigos Internacionais de Patentes (CIP), operadores booleanos e de truncagem.

Como o intuito da pesquisa era fazer o levantamento e a análise de patentes de surfactantes na mineração, foram analisados os pedidos de depósitos de patentes solicitadas, concedidas e litigiadas, uma vez que se tinha a pretensão de identificar as tecnologias de surfactantes na mineração e a popularização desta no mercado mundial.

O estudo prospectou os pedidos de patentes publicados a partir de 1982 a janeiro de 2023, porém os resultados quantitativos a partir de 2020 não foram considerados devido à influência da pandemia da COVID-19 sobre diferentes áreas de atividade. Foram analisados os resumos e títulos dessas patentes, os quais permitiram filtrar as que não pertenciam ao estudo proposto.

A base de busca de patentes Patentscope, da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), foi consultada para fornecer alguns dados bibliográficos, como famílias, subfamílias e patentes pertinentes, que não foram fornecidos pela base Orbit Intelligence.

A estratégia de busca de patentes de surfactantes na mineração foi baseada nas associações entre os radicais das palavras-chave, com os operadores booleanos AND e OR e operador de truncagem * (asterisco) para possíveis arranjos que mais se aproximassem à tecnologia em estudo, estabelecendo diversas buscas avançadas para se chegar a resultados satisfatórios para as análises da pesquisa.

A depuração dos dados, o tratamento e a análise foram realizados na própria plataforma de pesquisa Orbit Intelligence. Outras análises mais circunstanciais foram realizadas com auxílio do Microsoft Office Excel 2017 e apresentadas na forma de gráficos ou tabelas.

Foi realizada a análise quantitativa e contextualizada das patentes para inferência de níveis de maturidade tecnológica (TRL) de surfactante na indústria mineral.

3 Resultados e Discussão

Os resultados encontrados nas bases de buscas patentárias Orbit Intelligence com famílias de patentes, associações de palavras-chave e símbolos de Classificação Internacional de Patente, utilizando-se os campos títulos e resumos dessa base de buscas, demonstraram a adesão ao longo do tempo a essa tecnologia, identificada como bastante atrativa do ponto de vista da economia mineral.

As patentes não pertinentes ao estudo podem ser explicadas pelo fato de terem sido utilizados os códigos CIP que não restringiram os resultados ao tema, mesmo eles sendo cruzados com palavras-chave, apresentaram documentos recuperados de patentes que afetaram o resultado da prospecção. Outro ponto que pode explicar a contaminação dos resultados de patentes

recuperadas foi o fato de que parte das estratégias de buscas adotadas utilizou palavras-chave e associações pertencentes aos títulos e resumos que não tratavam da matéria exclusiva ao tema. Entretanto, não foi possível abrir mão dessa estratégia de prospecção, caso contrário, muitos documentos de patentes pertinentes e importantes para avaliar a tecnologia em estudo poderiam ser perdidos nos descartes.

Para recuperar os documentos pertinentes à pesquisa, foram analisados os títulos e os resumos de aproximadamente 3.522 patentes que apresentavam códigos de Classificação Internacional de Patentes pertinentes ao estudo propostos em surfactantes sintéticos. Dessas famílias de patentes, 207 apresentaram as matérias relevantes para análises de tecnologias inovativas em tensoativos utilizados em processos de concentração mineral e 162 famílias apresentaram patentes referentes à tecnologia de biosurfactantes utilizados em flotação de minerais metálicos.

Na busca realizada na Orbit Intelligence usando-se as associações surfactant* AND synthetic*, foram encontradas 27.365 famílias de patentes, mostrando o alto número de pedidos de patentes para esse objeto. Nessa prospecção, não foram levados em consideração apenas pedidos em mineração, incluindo outros setores da indústria.

Com a associação bioreagent* AND flotation* AND ore*, foram recuperadas 207 famílias de patentes, sendo 201 patentes, duas em processo de litigação, 21 oposição e três licenciadas. Esses resultados observados na base de dados da Orbit Intelligence apresentaram um breve painel de tecnologias emergentes em surfactantes sintéticos na mineração.

Todavia, o mercado de surfactantes vem sofrendo evolução em sua forma de tratar os problemas ambientais relacionados à mineração, assim o uso de surfactante biológico tem sido uma alternativa nesse mercado. Com as associações biosurfactant* na Orbit Intelligence foram recuperados 162 pedidos de patentes nessa vertente de tecnologia promissora para a mineração.

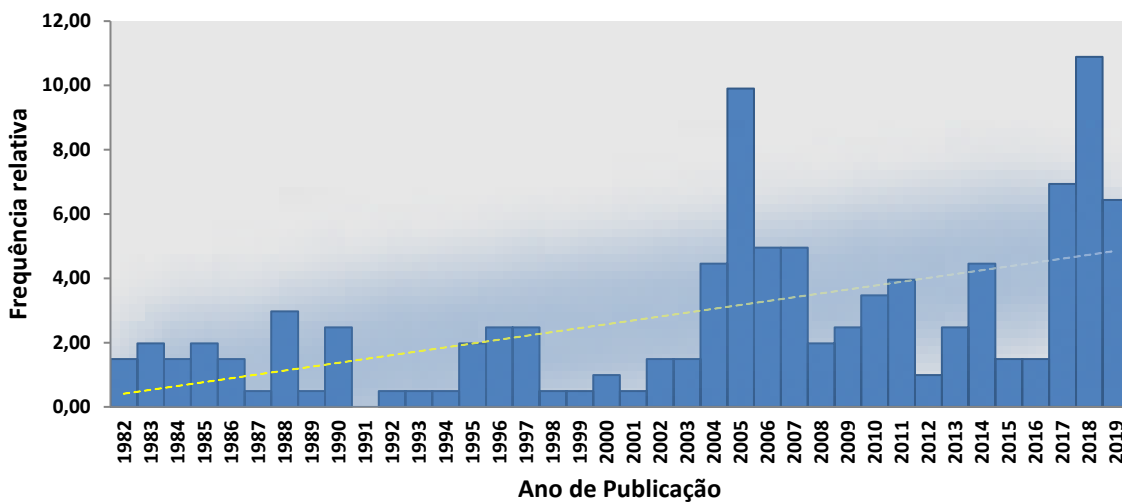
Os dados obtidos não facilitam a obtenção de respostas pontuais, mas permitem a análise da trajetória tecnológica, apontando os países que mais se dedicam à tecnologia e os que a desenvolvem. A evolução temporal também foi considerada para fins de investigação, pois demonstra a adesão, em nível global, dos países.

As patentes são excelentes indicadores de avanços em PD&I por parte de instituições empresariais, estatais e científicas. Segundo Ribeiro (2018), o posicionamento de uma corporação no mercado depende exclusivamente de nível de maturidade de seus produtos e processos frente à concorrência e à competitividade do mercado.

Sabe-se que as mudanças são constantes e que o conhecimento é atualizado muito rapidamente. Há de se entender que os resultados aqui apresentados se referem a um período específico de prospecção tecnológica e que possivelmente nesse momento já sofreram modificações, tendo em vista que pedidos de patentes são atualizados periodicamente em bases de dados tecnológicas. Observa-se que, no período posterior a 2019, os números de publicações em surfactantes não foram analisados em função da Pandemia da COVID-19.

De acordo com histograma da Figura 1, os pedidos de patentes em surfactantes que apresentam alguma relação com processos minerais tiveram uma média de crescimento considerável entre 1982 e 2018 de 1,5% para 10,9% pedidos de famílias de patentes, com destaque para os anos de 2005 com 9,9% e de 2018 com 22 (10,9%) pedidos de patentes.

Figura 1 – Evolução de frequência de publicações de famílias de patentes em surfactantes por ano



Pesquisa realizada na base de dados Orbit Intelligence no dia 07 de janeiro de 2023, utilizando as associações “surfactant*” AND “flotation*” AND “ore*”.
 Fonte: Orbit Intelligence (2022)

Esse crescimento no número de pedidos de patentes demonstra a evolução e a aceitação do mercado mundial por essa tecnologia promissora, apresentando a aderência dos países desenvolvidos em investir cada vez mais em processos de inovação tecnológica no setor da indústria mineral de concentrados.

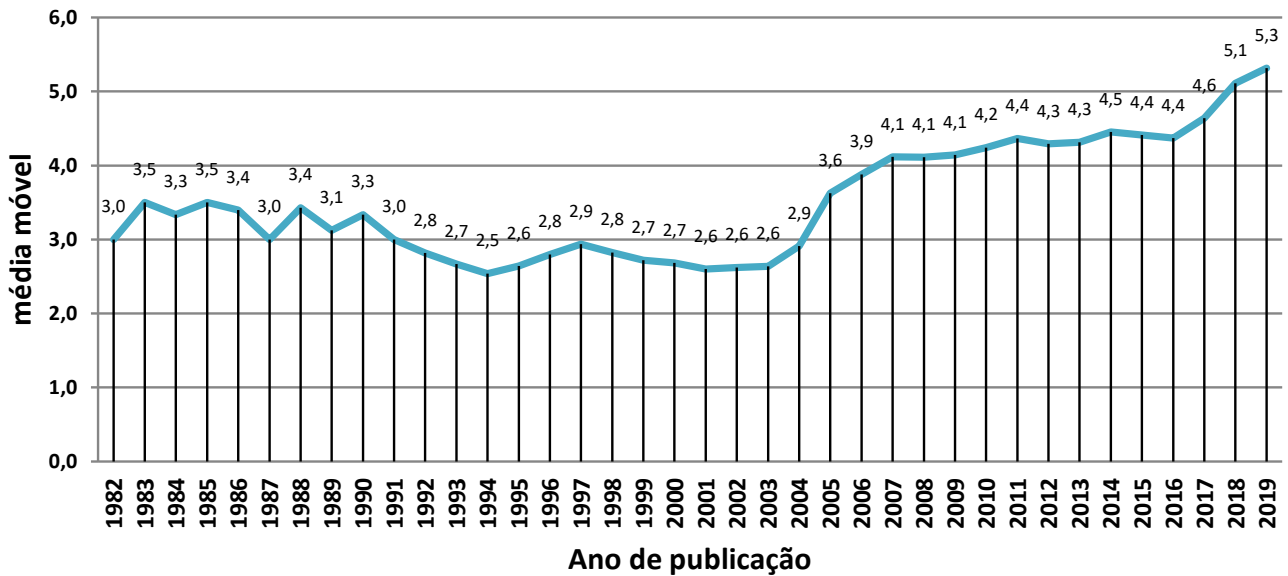
O gráfico de média móvel simples, Figura 2, apresenta o número de família de patentes no decurso do tempo. Percebe-se que, no período de 1982 a 2003, houve pequena variação na média dos pedidos de patente dessa tecnologia, algo em torno de 2,5 pedidos por ano. Todavia, no início do século XXI, percebeu-se uma ascendência nos depósitos de famílias de patentes por períodos de anos consideráveis, chegando em 2019 a 5,3 pontos de média móvel, mostrando a inclinação tendenciosa positiva dos investidores em tecnologias voltadas para tensoativos no setor mineral nos últimos 16 anos (2003 a 2019).

A trajetória tecnológica apresentada na evolução temporal de publicações de famílias de patentes pode ser mensurada, segundo mostra a Figura 3, descrevendo de forma geral o conceito de regularidade na evolução de uma tecnologia, propiciadas pelas oportunidades tecnológicas, pelos processos de aprendizagem e pelo predomínio de certos caminhos em relação a outros (RIBEIRO, 2018).

Para Chanchetti *et al.* (2016), o ciclo de vida das tecnologias segue um tipo de desenvolvimento de Curva S, que é dividida em quatro etapas. A fase de emergência é caracterizada pelos primeiros testes e protótipos de mercado. O progresso tecnológico tende a ser lento, pois o entendimento completo dos fundamentos ainda está em andamento.

A fase de consolidação é caracterizada por retornos de desempenho crescentes por unidade de valor investido, à medida que se alcança um melhor entendimento dos fundamentos. O estágio de penetração no mercado é quando a tecnologia finalmente atinge uma parcela significativa do mercado potencial.

Figura 2 – Média móvel simples de distribuição de famílias de patentes ao longo do tempo

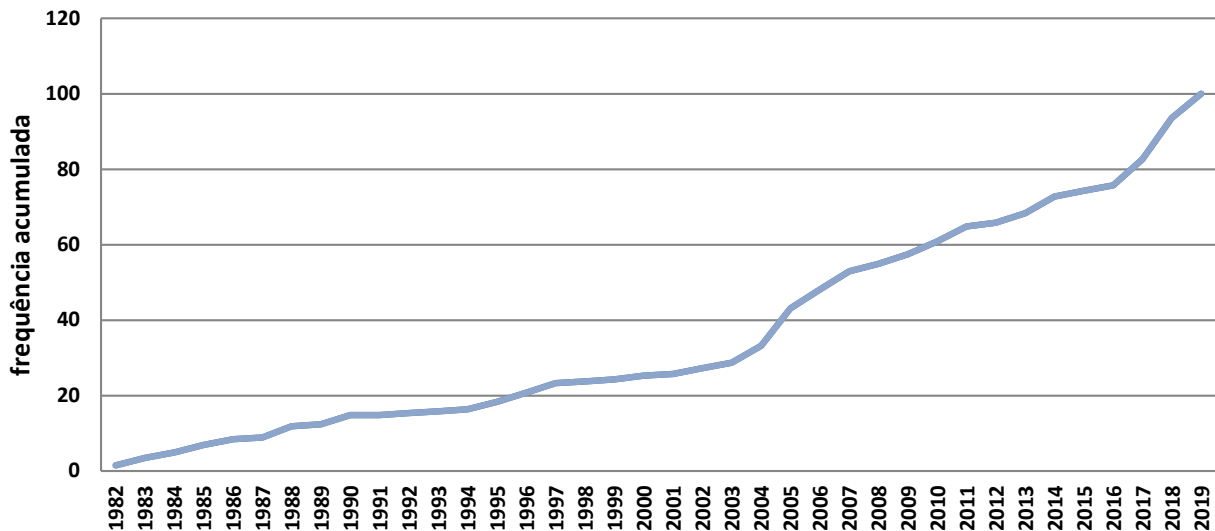


Pesquisa realizada na base de dados Orbit Intelligence no dia 7 de janeiro de janeiro de 2023, utilizando as associações “surfactant*” AND “flotation*” AND “ore*”.
 Fonte: Orbit Intelligence (2022)

Na fase final de maturidade tecnológica, a maior parte do potencial de mercado está sendo explorada. Conforme se observa no período avaliado entre os anos de 1982 e 2018, um intervalo de 36 anos, a trajetória tecnológica do uso de surfactantes na mineração encontra-se na fase de consolidação, que é caracterizada por retornos de desempenho crescentes por unidade de valor investido, à medida que se alcança um melhor entendimento dos fundamentos.

Segundo Company & Bain (2014), os tensoativos são uma realidade em países de primeiro mundo, todavia, o Brasil possui potencial para produção e utilização de surfactantes sintéticos e naturais.

Figura 3 – Curva S de desenvolvimento tecnológico de famílias de patentes em surfactantes



Pesquisa realizada na base de dados Orbit Intelligence no dia 7 de janeiro de janeiro de 2023, utilizando as associações “surfactant*” AND “flotation*” AND “ore*”.
 Fonte: Orbit Intelligence (2023)

A análise dos resumos de algumas patentes demonstrou certa tendência de surfactantes tensoativos na indústria mineral com potencial tecnológico extremamente atrativo econômica e ambientalmente. A técnica mais eficaz para recuperação de minério utilizando surfactantes é a flotação. Esse processo oferece a vantagem da segurança ambiental e operacional, evitando o uso de ácido fluorídrico (HF), ao mesmo tempo em que proporciona bons níveis de recuperação e alta seletividade em relação ao feldspato (BARBOSA *et al.*, 2020).

Nesse sentido, existem grandes oportunidades de negócios relacionados à tecnologia de surfactantes na indústria mineral, uma vez que, de acordo com o crescente número de publicações de pedidos de famílias de patentes nos referidos anos, 207 invenções foram analisadas.

Na análise das conjecturas de desenvolvimento tecnológico pertinentes a surfactantes sintéticos no mercado mundial, pode-se verificar que todas as patentes de surfactantes encontradas na prospecção foram depositadas por pessoas jurídicas conforme apresentado na Figura 4. A maior depositante de patentes em tensoativos pertence à empresa química alemã BASF (Badische Anilin & Soda Fabrik) com 9,8% dos depósitos de patentes em surfactantes. Essa empresa é uma multinacional especializada em soluções de mineração química inovadora que atende aos desafios dos clientes da indústria de mineração.

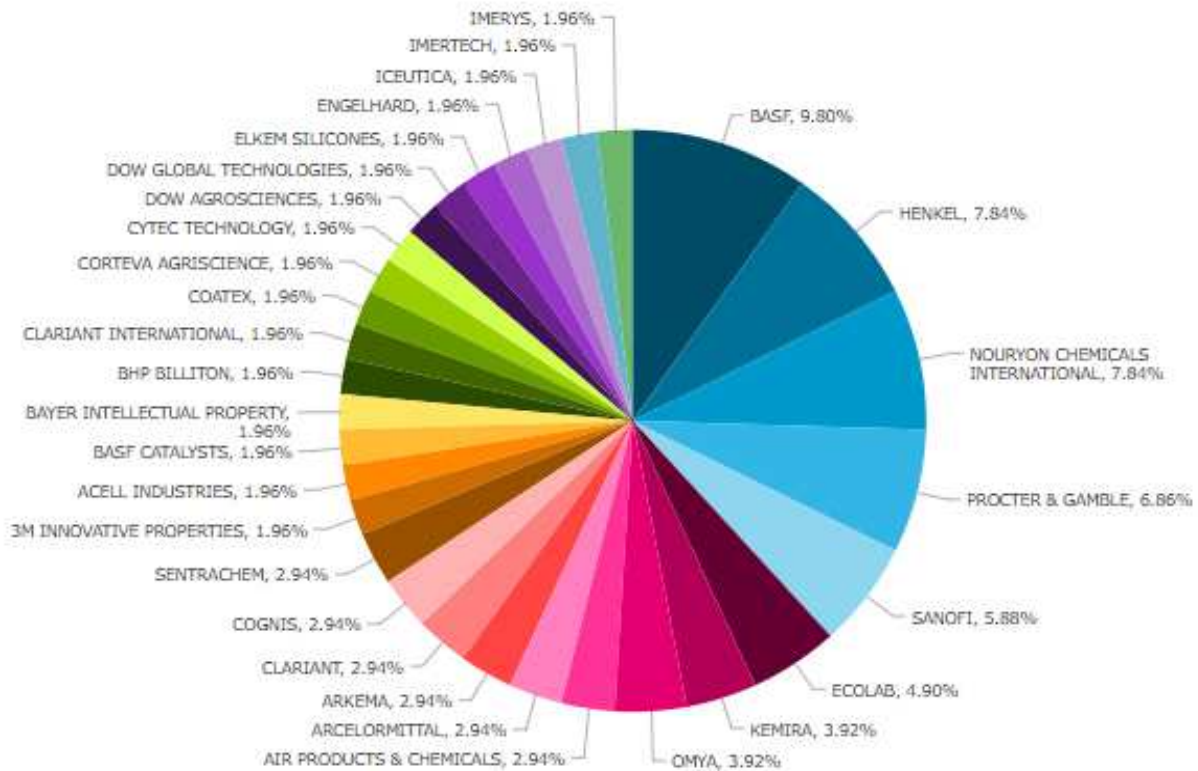
A BASF apresentou depósitos de famílias de patentes em tecnologias de tensoativos em diversos países do mundo, com destaques para Canadá, Austrália, Estados Unidos e Brasil. O Brasil tem sido um diferencial para essa empresa, uma vez que apresenta um mercado bastante promissor em matéria de exploração de produtos do setor primário na indústria da mineração, sendo um dos carros-chefes para utilização de tensoativos.

Além do portfólio padrão, a BASF desenvolve soluções de coletores e/ou espumantes, sob medida, em colaboração com os clientes que apoiam trabalhos de teste em laboratórios, plantas piloto e operações industriais (BASF, 2022).

Para desafios específicos de flotação, a BASF (2022) desenvolve continuamente soluções na medida certa, oferece uma gama diversificada de produtos químicos e tecnologias hidrometalúrgicas e de processamento mineral para melhorar a eficiência do processo e ajudar na extração econômica de recursos valiosos.

A segunda maior depositante de patentes em tensoativos é a empresa alemã Henkel & Cia. Essa empresa ocupa posições de liderança em negócios industriais e de consumo, além de investimentos e produtos autossustentáveis e apresentou oito depósitos de patentes, 7,8% do total de depósitos realizados no período em estudo.

Figura 4 – Famílias de patentes por depositantes



Pesquisa realizada na base de dados Orbit Intelligence no dia 7 de janeiro de janeiro 2023, utilizando as associações "surfactant*" AND "flotation*" AND "ore*".
 Fonte: Orbit Intelligence (2022)

As patentes são fontes de informações técnicas e de negócios, e seu uso pode fornecer informações de alto valor, por exemplo, detalhando quais empresas e institutos estão investindo em quais tecnologias e para que extensão e, assim, apoiar a avaliação de ciclos de vida e políticas de países e empresas em desenvolvimentos tecnológicos (MILANEZ *et al.*, 2014).

A bibliometria pode ser utilizada para avaliar quantitativamente documentos de patentes, pois pode lidar adequadamente com o volume atual de informações disponíveis; ele também pode fornecer análises de tendências de padrões não facilmente perceptíveis.

Além disso, existem bancos de dados de patentes cobertos em todo o mundo que permitem uma análise comparativa dos comportamentos e interesses de países e organização (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

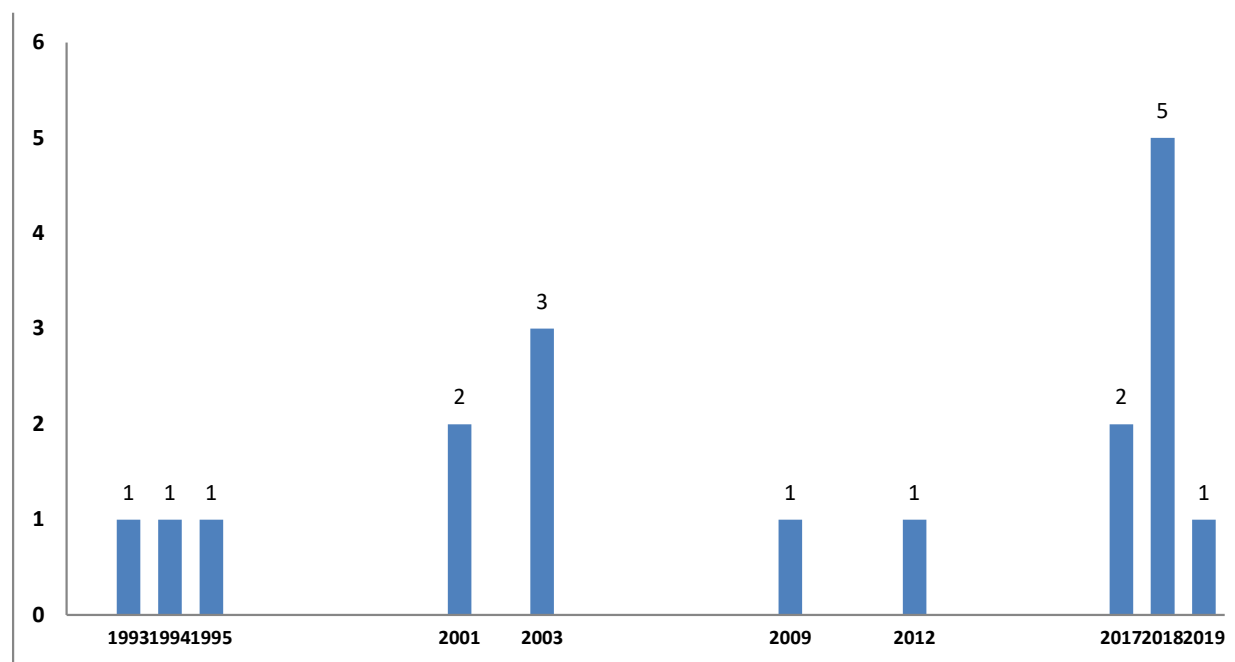
3.1 Evolução de Depósitos de Patentes de Biossurfactantes no Cenário Mundial

A partir da análise prospectiva de surfactantes biológicos relacionados à mineração, utilizando as associações *bioflotation** foram encontrados 28 depósitos de patentes no Orbit Intelligence. Aplicado um filtro nas patentes para seleção apenas dos depósitos dos últimos 20 anos, pois somente nesse período foram encontrados depósitos de famílias de patentes referentes a essa tecnologia, e apenas de biossurfactantes utilizados em processos de flotação mineral, chegou-se ao número de patentes apresentados na Figura 5.

Analisando os títulos e resumos das patentes em surfactantes biológicos presentes em processos de recuperação mineral, percebe-se que as tecnologias predominantes nesses processos utilizam como agente adsorvente de minerais de valor econômico, bactérias e substâncias produzidas por seu metabolismo celular denominado pela literatura como biorreagentes.

Os surfactantes biológicos são moléculas sintetizadas por microrganismos que se nutrem de substâncias orgânicas ou minerais, alguns com características patológicas, outros de vida livre (CALFA; TOREM, 2007).

Figura 5 – Número de depósitos de famílias de patentes em bioflotação mineral por ano



Pesquisa realizada na base de dados Orbit Intelligence no período de 26 de novembro a 30 de dezembro de 2022 utilizando as associações biosurfactant* AND flotation* AND ore*.

Fonte: Orbit Intelligence (2022)

No processamento mineral, alguns microrganismos são utilizados em técnicas de biobeneficiamento para modificação de superfície mineral para melhoramento de eficiência do concentrado final (BOTERO; TOREM; MESQUITA, 2008; CALFA; TOREM, 2007).

Os surfactantes biológicos podem ser de diferentes propriedades químicas, dependendo do tipo de organismo que o produziu e das características genéticas presentes no agente (RANGEL; COUTO, 2020).

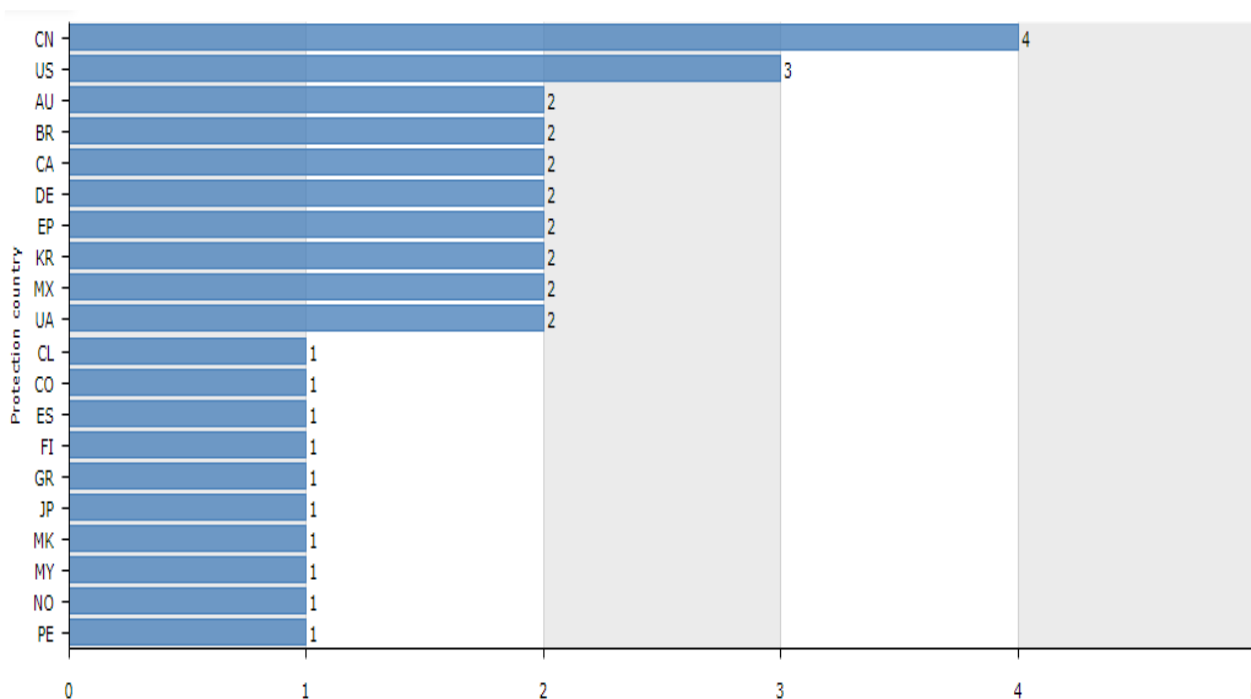
Existem basicamente duas formas de os reagentes biológicos adsorverem na superfície mineral durante o processo de flotação, adsorção direta do microrganismo no mineral, formando os chamados biofilmes, ou sintetizando substâncias orgânicas que adsorvem na superfície mineral, tornando-a hidrofóbica (MESQUITA, 2000 *apud* BOTERO; TOREM; MESQUITA, 2008).

Os produtores de biosurfactantes estão distribuídos em vários tipos de gêneros. A depender do gênero, a síntese de biomoléculas vai variar desde complexos orgânicos simples à base de carboidratos e proteínas, há moléculas de fosfolipídios com cadeias ramificadas insaturadas (DESAI; BANAT, 2021).

Estudos de Nitschke e Pastore (2002) apontam a utilização de bioprocessamento de minerais com o uso de compostos orgânicos sintetizados por bactérias do gênero *Rhodococcus* utilizadas para flotação de minerais não metálicos.

A análise de prospecção tecnológica em surfactantes biológicos relacionados à cobertura de mercados e a avaliação dos 20 principais mercados emergentes nessa tecnologia que se referem a processos de biobeneficiamento mineral estão apresentadas na Figura 6.

Figura 6 – Cobertura de mercado de biossurfactantes e os 20 principais mercados emergentes



Pesquisa realizada na base de dados Orbit Intelligence – Questel no período de 26 de novembro a 30 de dezembro de 2022 utilizando as associações biosurfactant* AND flotation* AND ore*.

Fonte: Orbit Intelligence (2022)

Botero, Torem e Mesquita (2008) mostram que os biossurfactantes podem ser mais vantajosos que os da classe dos sintéticos, pois, além de realizarem todos os requisitos de adsorção, adesão e transporte na flotação mineral, eles são extremamente biodegradáveis, enquadrando-se na política da economia circular.

Portanto, a utilidade dos biossurfactante em processos de beneficiamento mineral abrange conceitos e aplicações que se enquadram perfeitamente na chamada política de desenvolvimento sustentável para as nações em desenvolvimento.

A política mundial de desenvolvimento sustentável dita as regras para os países que utilizam bens naturais primários, já que países que utilizam exploração mineral para seu desenvolvimento industrial, econômico e social necessitam enquadrar-se nessa política. Nesse sentido, o uso de reagentes naturais em substituição aos reagentes químicos no beneficiamento mineral em breve será uma realidade para essas nações (CALFA; TOREM, 2007).

4 Considerações Finais

Este trabalho apresentou um mapeamento prospectivo e tecnológico da utilização de patentes de surfactantes na indústria da mineração. Foram abordadas séries temporais de pedidos de patentes em processos com uso de surfactantes no setor mineral, tecnologias emergentes que influenciam a indústria de surfactantes na mineração, principais países que detêm o poder tecnológico e econômico de produção e utilização de surfactantes para mineração, além dos principais *players* que desenvolvem novas tecnologias nesse setor.

O mapeamento patentário dos reagentes mostrou que há uma tendência promissora na utilização dessa tecnologia nos processos de beneficiamento mineral, constatando-se isso por meio dos resultados das médias móveis para análise dos níveis de maturidade tecnológica e do número de patentes depositadas nos últimos 37 anos.

Acerca da distribuição geográfica dos mercados de surfactantes, os Estados Unidos da América despontam como líder mundial de patentes em surfactantes com 104 depósitos de patentes ativas, o Brasil como segundo maior potência no *ranking* com 93 pedidos de patentes, e a China em sexta posição com 62 pedidos de patentes,

Os reagentes biológicos já estão se tornando uma realidade no setor mineral, com a China despontando nesse mercado com 12% de depósitos de famílias de patentes. Todavia, essa tecnologia ainda necessita de complementação científica, pois apresenta lacunas quanto à capacidade de seletividade de alguns minerais metálicos e não metálicos.

Portanto, o levantamento panorâmico do perfil dos depositantes de patentes no Brasil e no mundo de tecnologias relacionadas ao uso de surfactantes sintéticos e biológicos no setor mineral no período em estudo permitiu traçar um cenário favorável sob a visão de sistemas de patentes.

5 Perspectivas Futuras

O uso de informações contidas em documentos de patentes tem se mostrado relevante para orientar decisões e solucionar problemas relacionados à economia mundial. Entre as patentes mais valorizadas pelas corporações minerais em todo o mundo, destacam-se aquelas relacionadas às tecnologias de surfactantes biodegradáveis. Essas inovações têm sido vistas com grande entusiasmo devido ao seu potencial para mitigar um dos maiores desafios ambientais da atualidade: a contaminação do solo e dos fluidos ambientais utilizados pela sociedade. A abordagem de estudos prospectivos mais específicos sobre surfactantes biológicos pode levar a resultados ainda mais promissores, favorecendo a efetividade de uma economia circular no setor mineral. Essa economia circular, por sua vez, é um dos principais temas em destaque para o futuro da indústria de mineração. Ao adotar princípios circulares, as empresas podem obter vantagens competitivas por meio de custos mais baixos, menos restrições regulatórias, melhores pontuações em Ambiental, Social e Governança (ESG) e garantir uma licença social para operar.

Referências

- ARAÚJO, L. V.; FREIRE, D. M. G.; NITSCHSKE, M. Biosurfactantes: propriedades anticorrosivas, autobiofilmes e automicrobianas. **Química Nova**, [s.l.], v. 36, n. 6, p. 848-858, 2013.
- BAIN & COMPANY. **Potencial de diversificação da indústria química brasileira**: relatório 6: modelo econômico-financeiro: metionina. Rio de Janeiro, 2014. 16p. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/7671/1/Potencial%20de%20diversifica%c3%a7ao%20da%20industria%20quimica_rel.6_metionina_P_BD.pdf. Acesso em: 14 set. 2022.
- BARBOSA, C. *et al.* **O tratamento de minérios e suas aplicações**. LATRAM – UFOP, jun. 2020. Disponível em: <https://latram.ufop.br/2020/07/16/tratamento-de-minerios-e-suas-aplicacoes>. Acesso em: 14 ago. 2022.
- BASF – BADISCHE ANILIN & SODA FABRIK. Tecnologias garantem sustentabilidade aos processos de mineração. **Global Home**, [s.l.], 2022. Disponível em: https://www.basf.com/br/pt/media/quimica_dia_a_dia/processos_mineracao.html. Acesso em: 12 set. 2022.
- BOTERO, A. E. C.; TOREM, M. L.; MESQUITA, L. M. S. D. Trends on the use of bioreagents in mineral flotation. **Revista Escola de Minas**, Ouro preto, MG, v. 61, n. 1, p. 57-61, 2008.
- BRANCO, P. M. **As rochas**. São Paulo: Eyclopaedia Britannica do Brasil publicações Ltda., 2015. p. 608.
- CALFA, B. A.; TOREM, M. L. Biorreagentes: aplicações na remoção de metais pesados contidos em efluentes líquidos por biossorção/bioflotação. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, MG, v. 60, n. 3, p. 537-542, 2007.
- CHANCHETTI, L. F. *et al.* Technological forecasting of hydrogen storage materials using patent indicators. **Science Direct**, São Carlos, SP, v. 41, n. 2, p. 18.301-18.310, 2016.
- DELLANO, F. *et al.* Biosurfactant-Induced remediation of contaminated marine e sediments. **Current Knowledge and Future Perspectives Marine Environmental Research**, [s.l.], v. 137, p. 196-205, 2018.
- DESAI, J. D.; BANAT., I. M. Produção microbiana de surfactantes e seu potencial comercial. **American Society for Microbiology**, [s.l.], v. 61, n. 1, p. 47-64, 22 mar. 2021.
- DUTHIE, A. C. R. **CETEM – Economia circular e o papel da mineração**, 21 setembro 2017. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclefindmkaj/http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2074/1/Ana%20Cristina%20Ribeiro%20Duthie.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2022.
- GALDINO, A. I. S. Planejamento de longo prazo de uma mineração de agregados em Jaboatão dos Guararapes. In: HOLZMANN, Henrique Ajuz; DALLAMUTA, João. **Engenharias: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 2**. Ponta Grossa: Atena, 2020.
- IZAGUIRRY, A. Análise e proposição de melhorias para o ciclo de equipamentos em uma mineração de calcário. In: 10º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIPAMPA, 10, 2, 2018. **Anais [...]**. São Paulo, 2018.
- KHOSHDAST, H. Effect of rhamnolipid biosurfactants on performance of coal and mineral flotation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 65, n. 8, p. 1.238-1.243, 2011.
- MALINOSK, L. O que são Biosurfactante? **Bioblog.com**, 2021. Disponível em: <https://www.bioblog.com.br/o-que-sao-biosurfactantes/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MILANEZ, D. *et al.* Technological Indicators of Nanocellulose Advances Obtained from Data and Text Mining Applied to Patent Documents. **Materials Research**, [s.l.], v. 17 n. 6, p. 1.513-1.522, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mr/a/6KHLR8df7GcQMrrW99BPtBz/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 set. 2022.

MORDOR INTELLIGENCE. **Mercado de surfactantes – crescimento, tendências, impacto do covid-19 e previsões (2022-2027)**. 2022. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/surfactants-market>. Acesso em: 12 set. 2022.

MOREIRA, R. B. **Flotação de hematita a partir do rejeito de minério de ferro com o uso de biossurfactante extraído da bactéria *Rhodococcus opacus***. 2019. 114p.. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Biossurfactantes: propriedades e aplicações. **Quim. Nova**, Campinas, SP, v. 25, n. 5, p. 772-776, 2002.

OLIVEIRA, B. S. D. *et al.* Thermal Spraying Processes and Amorphous Alloys: Macro-Indicators of Patent Activity **Materials Research**. *Materials Research*, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 89-95, 2017.

PÉREZ-ZUÑIGA, C. G. *et al.* Flotation process fault diagnosis via structural analysis. **IFAC – Papers OnLine**, [s.l.], v. 52, n. 14, p. 225-230, 2019.

PCC GROUP. **Onde comprar surfactantes? Fornecedores de agentes tensoativos**. 2022. Disponível em: <https://www.products.pcc.eu/pt/onde-comprar-surfactante/>. Acesso em: 12 set. 2022.

PRADO, A. A. Biossurfactantes e resíduos lignocelulósicos. *In: VII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE*, Sergipe, p. 517, 2015. **Anais** [...]. Sergipe, 2015.

QUESTEL ORBIT INTELLIGENCE. **Site**. 2022. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentRegularAdvancedSearchPage>. Acesso em: 11 set. 2022.

RANGEL, P. S. S.; COUTO, H. J. B. Estudo de distribuição de tamanho de bolhas em sistema trifásico de flotação por análise de imagem. *In: ANAIS DA JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 2020. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2020. p.136-141. **Anais** [...]. Rio de Janeiro, 2020.

REIS, T. O que é taxa de crescimento anual composta. **Suno**, 23 fev. 2019. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/cagr/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

RIBEIRO, N. M. **Prospecção Tecnológica**. 2. ed. Salvador: PROFNIT, 2018. v. 1. 194p.

SÁNCHEZ, L. E. **Associação Paulista de Engenheiros de Minas (APEMI): Palestras 2022 – Mudanças climáticas: mitigação e adaptação no setor de mineração**. 2022. Disponível em: <http://www.apemi.eng.br/home>. Acesso em: 6 jun. 2022.

SANTANA, M. C. C. B. Processo de remoção de metais pesados derivados de mandioca por meio da utilização de quitosana. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 6, n. 4, p. 543-552, 2013.

SANTOS, A. P. P.; SILVA, M. D. D. S.; COSTA, E. V. L. Biossurfactante: uma alternativa para o mercado industrial. **Fronteiras: Journal of Social, Technological, and Environmental Science**, Recife, v. 5, n. 1, p. 88-103, 2016.

SANTOS, S. C. Biossurfactantes: potenciais agentes biorremediadores. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 12, n. 5, p. 1.531-1.540, dezembro, 2019.

SILVA, E. J. Use of bacterial biosurfactants as natural collectors in the dissolved air flotation process for the treatment of oily industrial affluent. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, [s.l.], v. 41, n. 11, p. 1.599-1.610, 2018.

SILVA, L. *et al.* Perspectivas e aplicações de agentes surfactantes. In: VII SIMPROD – SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, São Cristóvão, v. 2, n. 1, UFS, p. 506-516, 2015. **Anais** [...]. São Cristóvão, 2015. Disponível em: <https://simprod.ufs.br/pagina/18182-anais-do-vii-simprod>. Acesso em: 6 jun. 2022.

Sobre os Autores

Wagner Alves Ribeiro Ribeiro

E-mail: wagnerribeiro@unifesspa.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6995-4134>

Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará em 2023.

Endereço profissional: Folha 32, Quadra 07, Lote 86, Nova Marabá, Marabá, PA. CEP: 68508-070.

Denilson da Costa Silva

E-mail: denilson@unifesspa.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4599-792X>

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais em 2012.

Endereço profissional: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Unidade 2, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Folha 17, Quadra 04, Lote Especial, Nova Marabá, Marabá, PA. CEP: 68505-080.

Adriano Alves Rabelo

E-mail: adriano@unifesspa.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3953-3149>

Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos em 2003.

Endereço profissional: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Unidade 2, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Folha 17, Quadra 04, Lote Especial, Nova Marabá, Marabá, PA. CEP: 68505-080.