

The background is a dark blue gradient. It features several white line-art gears of various sizes. In the center, there is a faint, semi-transparent image of a person's head in profile, looking downwards. The overall theme is technology and future-oriented industry.

Gears of the future

Adriano Pereira da Silva
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2022

The background is dark grey with a complex pattern of white and light grey gears of various sizes. In the center, there is a faint, light grey silhouette of a human head in profile, facing right. The gears are interconnected, suggesting a mechanical or industrial theme. The overall aesthetic is technical and futuristic.

Gears of the future

Adriano Pereira da Silva
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Adriano Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G292 Gears of the future / Organizador Adriano Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-868-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.684220402>

1. Gears of the future. I. Silva, Adriano Pereira da (Organizador). II. Título.

CDD 303.49

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

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



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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



DECLARAÇÃO DA EDITORA

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



APRESENTAÇÃO

A coleção “Organização Gears of the future” versa a pluralidade científica e acadêmica, permeando as singularidades das várias obras que compõem os seus capítulos. O volume apresentará trabalhos, pesquisas, relatos que promovem as diversas formas da aplicação da engenharia de produção, de modo interdisciplinar e contextualizada, em sua gama de conteúdo iterativo.

O principal objetivo é expor, de forma categórica e clara, as pesquisas realizadas nas diversas instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais, cujos trabalhos contemplam diretrizes relacionadas à automação, cromatografia, estilos de aprendizagem, identificação de sistemas, impressão 3d, melhoramento de solo, métodos numéricos, reconhecimento de padrões e áreas correlatas.

Portanto, os tópicos discutidos em sociedade, empresariado e academia, são trazidos para um âmbito crítico e estruturado, estabelecendo uma base de conhecimento para acadêmicos, professores e todos aqueles que estão interessados na engenharia de produção e/ou industrial. Assim, salienta-se a importância das temáticas abordadas nesta coleção, visto pela evolução das diferentes ferramentas, métodos e processos que a indústria 4.0 desenvolveu ao longo do tempo e sendo capaz de solucionar problemas atuais e vindouros.

Deste modo, esta obra propõe uma teoria a partir dos resultados práticos obtidos por diversos professores e estudiosos que trabalharam intensamente no desenvolvimento de seus trabalhos, que será apresentada de forma concisa e pedagógica. Sabemos da importância da divulgação científica, por isso também destacamos a estrutura da Atena Editora para fornecer a esses entusiastas da pesquisa científica uma plataforma integrada e confiável para a exibição e divulgação de seus resultados.

Adriano Pereira da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

RETROSPECTIVA DE LA FORMACIÓN DEL INGENIERO FORESTAL ANTE LA CRISIS AMBIENTAL DEL PLANETA

Zazil Ha Mucui Kac García Trujillo

Alicia Avitia Deras

Jorge Antonio Torres Pérez

Martha Alicia Cazares Moran


Víctor Manuel Interian Ku

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204021>

CAPÍTULO 2..... 14

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PROJETO DE TÚNEIS EM MACIÇOS FRATURADOS

Frederico Veiga Ribeiro Gonçalves


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204022>

CAPÍTULO 3..... 30

CONTROLE ADAPTATIVO USADO EM DOIS ELOS DE UM ROBÔ ELETROMECÂNICO DE CINCO GRAUS DE LIBERDADE

José Antonio Riul

Paulo Henrique de Miranda Montenegro


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204023>

CAPÍTULO 4..... 42

DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO COM SENSOR DE TEMPERATURA E BARRA DE LEDS UTILIZANDO UM MICROCONTROLADOR COM NÚCLEO 8051

Eduardo Batista dos Santos

Salvador Pinillos Gimenez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204024>

CAPÍTULO 5..... 59

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA NATURAL PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO

Arthur Pimentel de Carvalho

Harison França do Santos

Carlos Toshiyuki Hiranobe

Eduardo Roque Budemberg

Gabriel Deltrejo Ribeiro

Giovanni Barrera Torres


Jose Francisco Resende

Leonardo Lataro Paim

Leandra Oliveira Salmazo

Miguel Ángel Rodríguez Pérez

Renivaldo José dos Santos


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204025>

CAPÍTULO 6..... 73

BIOMATERIALS FOR THE STUDY OF CANCER

Nicolas Lara

Maria Inês Basso Bernardi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204026>

CAPÍTULO 7..... 90

INFLUENCIA DEL CLIMA EN EL CRECIMIENTO RADIAL EN UNA PLANTACIÓN DE *Pinus greggii* EN SANTIAGO DE ANAYA HIDALGO, MÉXICO

Pedro Antonio Domínguez-Calleros


Rodrigo Rodríguez-Laguna

José Rodolfo Goché Télles

Norberto Domínguez-Amaya

Héctor Manuel Loera-Gallegos

Jesús Alejandro Soto-Cervantes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204027>

CAPÍTULO 8..... 102


INVESTIGAÇÃO HIDROLÓGICA DA MICRO BACIA DO CÓRREGO DO AFLUENTE DO VEADO, NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP

Karen Caroline Rodrigues Ferreira

Alexandre Teixeira De Souza

Gabriel Itada Tamagno

Elson Mendonça Felici

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204028>


CAPÍTULO 9..... 112

MELHORAMENTO DE SOLO UTILIZANDO MARTELO VIBRATÓRIO: UM ESTUDO DE CASO

Fábio Lopes Soares

Guilherme Ogliari Oliveria

Rhuan Francisco Antunes de Vasconcelos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204029>

CAPÍTULO 10..... 124

RENDIMENTO E ÁCIDOS GRAXOS DOS FRUTOS DE *Calophyllum brasiliensis* CAMBESS NO SUL DO TOCANTINS

Maria Cristina Bueno Coelho

Bonfim Alves Souza

Max Vinicios Reis de Sousa

Wádilla Morais Rodrigues

Yandro Santa Brigida Ataide

Mathaus Messias Coimbra Limeira


Mauro Luiz Erpen

Maurilio Antonio Varavallo

Juliana Barilli

Marcos Giongo


Damiana Beatriz da Silva
André Ferreira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040210>

CAPÍTULO 11..... 137

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DA EXTRAÇÃO LÍQUIDO –
LÍQUIDO EM REGIME CONTÍNUO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS SAMÁRIO E
EURÓPIO


Ysrael Marrero Vera
Gabriel Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040211>

CAPÍTULO 12..... 141

EVOLUTION METHODOLOGY OF BIOABSORBABLE POLYMERIC STRUCTURES IN
THE APPLICATION OF STENTING AORTIC COARCTATION IN NEONATES


Rosana Nunes Santos
Aron José Pazin Andrade
Tiago Senra Garcia Santos
Gustavo Caravita Andrade
Carlos Augusto Cardoso Pedra
Flávio José dos Santos
Bruno Agostinho Hernandez
Edson Antonio Capello Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040212>

CAPÍTULO 13..... 155

LA WEBQUEST COMO PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE
PARA ALUMNOS DE INGENIERÍAS


Carlos David Zapata y Sánchez
Guadalupe López Molina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040213>

CAPÍTULO 14..... 168

O USO DE GEOTÊXTIL PARA O CONTROLE DE DRENAGEM DE ÁGUA DE SUPERFÍCIE
- A SOLUÇÃO UTILIZADA PARA FECHAMENTO ADEQUADO DE UMA PILHA ESTÉRIL


Christ Jesus Barriga Paria
Hernani Mota de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040214>

CAPÍTULO 15..... 180

OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA CURTIDORA DE
PELES EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP


Karen Caroline Rodrigues Ferreira
Alexandre Teixeira De Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040215>

CAPÍTULO 16..... 189

TÓPICOS DE ENERGIA LIMPA E MAPAS COGNITIVOS FUZZY APLICADOS EM ANÁLISE DE SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO DE SOLAR FOTOVOLTAICO


Márcio Mendonça
Marta Rúbia Pereira dos Santos
Célia Cristina Faria
Fábio Rodrigo Milanez
Francisco de Assis Scannavino Junior
Wagner Fontes Godoy
Rodrigo Henrique Cunha Palácios
Marco Antônio Ferreira Finocchio
Carlos Alberto Paschoalino
Gustavo Henrique Bazan
Ricardo Breganon
Uiliam Nelson Lenzion Tomaz Alves
Marcos Antônio de Matos Laia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040216>

CAPÍTULO 17..... 203

RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM SINAIS EMG COM REDE NEURAL PARA IMPLEMENTAÇÃO EM BRAÇO ROBÓTICO


Evelyne Lopes Ferreira
Maury Meirelles Gouvêa Jr.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040217>

CAPÍTULO 18..... 212

SEPARAÇÃO DE TÉRPIO E DISPRÓSIO A PARTIR DA TÉCNICA DE EXTRAÇÃO POR SOLVENTES


Ysrael Marrero Vera
Izabel Nunes Ivancko
João Marcos Batista do Nascimento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040218>

CAPÍTULO 19..... 221

VIVER A CIDADE: UMA ANÁLISE A PARTIR DA APROPRIAÇÃO DO ESPAÇO PÚBLICO URBANO


Anicoli Romanini



 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040219>

CAPÍTULO 20..... 233

SimP - BANCADA VIRTUAL PARA LABORATÓRIOS DE AUTOMAÇÃO PNEUMÁTICA, HIDRÁULICA, ACIONAMENTO DE MOTORES E CONTROLADORES DE PROCESSO – UM CASO EM EVOLUÇÃO

Sergio Adalberto Pavani
Cesar Tadeu Pozzer
Paulo Roberto Colusso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040220>

CAPÍTULO 21	243
AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO UM SIMULADOR EM TEMPO REAL William Pinheiro Silva Damásio Fernandes Júnior  https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040221	
CAPÍTULO 22	257
von MISES TAPERING: A NEW CIRCULAR WINDOWING Hélio Magalhães de Oliveira  https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040222	
SOBRE O ORGANIZADOR	272
ÍNDICE REMISSIVO	273

SEPARAÇÃO DE TÉRPIO E DISPRÓSIO A PARTIR DA TÉCNICA DE EXTRAÇÃO POR SOLVENTES

Data de aceite: 01/01/2022

Data de submissão: 03/10/2021

Ysrael Marrero Vera

Centro de Tecnologia Mineral, Coordenação de
Processos Metalúrgicos e Ambientais
Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/2651710548891030>

Izabel Nunes Ivancko

Centro de Tecnologia Mineral, Coordenação de
Processos Metalúrgicos e Ambientais
Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/3918788263507474>

João Marcos Batista do Nascimento

Centro de Tecnologia Mineral, Coordenação de
Processos Metalúrgicos e Ambientais
Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/7610621375134871>

RESUMO: Neste trabalho, foi desenvolvido um estudo de separação de Têrbio (Tb) e Disprósio (Dy) através da técnica de extração por solventes utilizando seis diferentes extratantes (D_2 EHPA, P507, Cyanex 272, Ácido Versático, Cyanex 302 e Cyanex 572). O objetivo final desse trabalho foi avaliar a extração e separação do Tb e Dy quando uma solução aquosa contendo estes elementos foi contactada com os diferentes extratantes. Diferentes pH da alimentação aquosa e concentrações de extratantes foram avaliados. Os testes foram realizados com um licor sintético, contendo cloretos de têrbio e disprósio, em concentrações conhecidas,

simulando um lixiviado de xenotímio da mina de Pitinga (AM). Os melhores resultados foram obtidos na extração com P507 a 26% e pH da solução de alimentação 1,0, onde a extração Dy foi $46,6 \pm 1,6\%$ e o fator de separação Dy / Tb foi $4,46 \pm 0,28$.

PALAVRAS CHAVES: extração por solvente, elementos terras – raras, disprósio, têrbio.

SEPARATION OF TERBIUM AND DYSPROSIUM BY SOLVENT EXTRACTION

ABSTRACT: In this work, a study of the separation of Terbium (Tb) and Dysprosium (Dy) through the solvent extraction technique using six different extractants was developed (D_2 EHPA, P507, Cyanex 272, Versatic Acid, Cyanex 302 and Cyanex 572). The main goal of this work was to evaluate the extraction and separation of Tb and Dy when an aqueous solution containing these elements was put in contact with the different extractants. Different pH of the aqueous feed and extractant concentrations were evaluated. The tests were carried out with a synthetic feed solution, containing terbium and dysprosium chlorides, in known concentrations, simulating a leachate of xenotime from the Pitinga mine (AM). The best results were achieved in the extraction with P507 at 26% and pH of feed solution 1.0 where Dy extraction was $46.6 \pm 1.6\%$ and Dy/Tb separation factor was 4.46 ± 0.28 .

KEYWORDS: solvent extraction, rare earth elements, dysprosium, terbium.

1 | INTRODUÇÃO

Estudos em diferentes áreas do conhecimento relacionados com os elementos terras - raras (ETR) vem sendo desenvolvidos recentemente. Os ETR são utilizados para a produção de bens de alta densidade tecnológica e que se utilizam em áreas estratégicas, como por exemplo, defesa e produção de energia a partir de fontes renováveis. Neste trabalho, o elemento terra- rara de interesse é o Disprósio, que tem aplicações em magnetos, ligas, reatores nucleares e nos motores elétricos dos carros híbridos (McLellan et al. 2013; Gupta & Krishnamurthy, 2005).

É estimado que o Brasil detenha a segunda maior deposição de terras-raras do mundo, porém a China controla cerca de 90% da oferta (Sumário Mineral, 2015). A liderança e controle da China no mercado de ETRs, torna os demais países dependentes de sua produção e suscetíveis à oscilação de preços definida por ela.

Neste contexto, o governo brasileiro vem dando apoio a projetos de desenvolvimento de atividades de PD&I aplicadas aos processos hidrometalúrgicos para a obtenção dos ETR. No Projeto multi-institucional INCT – PATRIA pesquisadores do CETEM realizam estudos para definir uma rota hidrometalúrgica para a separação e obtenção do disprósio oriundo de um licor de lixiviação do mineral xenotima é o foco deste estudo. A xenotima é encontrada na mina de Pitinga – AM, uma mina polimetálica e principalmente de estanho, nióbio, tântalo e urânio. A xenotima é um mineral de fosfato de ítrio (YPO₄) contendo cerca de 61,60% de óxidos de terras - raras (OTR), sendo a maior parte destes membros da fração pesada. O óxido de disprósio (Dy₂O₃) corresponde a cerca de 10,64% dessa fração (Lima 2012).

Este artigo tem o objetivo de definir as condições em que ocorre extração do Dy com a maior eficiência e a separação do Dy/Tb com maior seletividade por meio da extração líquido – líquido e a partir de diferentes tipos de licores. Investigamos diferentes extratantes em diferentes concentrações e diferentes valores de pH de alimentação aquosa de partida.

2 | METODOLOGIA

2.1 Composição do licor aquoso e da fase orgânica

A concentração dos ETR na solução sintética foi definida a partir da caracterização de um concentrado de xenotímio da mina de Pitinga (AM) (Neumann, 2013). Como o interesse é a obtenção do disprósio, a partir das concentrações obtidas no lixiviado, foi produzido um licor sintético de uma mistura de óxido de térbio (Tb₄O₇) com óxido de disprósio (Dy₂O₃), de forma que o Tb₄O₇ representou as concentrações de térbio mais os ETR mais leves que ele (4,74 g L⁻¹) e o Dy₂O₃ simulou as concentrações de disprósio mais a dos ETRs mais pesados que ele (32,25 g L⁻¹) além do Ítrio (Y).

Os óxidos foram digeridos com ácido mineral quente (300°C) e se usou uma placa de aquecimento e agitação. O pH da solução foi ajustado tanto por evaporação do ácido e diluição quanto com a adição de lentilhas NaOH. As soluções dos extratantes foram preparadas na concentração desejada, misturando os volumes de extratante e diluente adequadamente.

Os extratantes utilizados foram escolhidos após de uma revisão da literatura, sendo escolhidos o P507 (ácido 2-etilhexil fosfônico mono 2-etilhexil éster), D₂EHPA (ácido di-(2-etilhexil) fosfórico), ácido versático (mistura de ácidos carboxílicos de 10 Carbonos), Cyanex 272 (ácido bis (2,4,4-trimetil-pentil) fosfínico), Cyanex 302 (ácido bis (2,4,4-trimetil-pentil) mono tio fosfínico) e Cyanex 572 (mistura de ácidos fosfínicos e fosfônico)) (Zhang e Baodong, 2016). As extrações foram realizadas nas condições destacadas na Tabela 1.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[Extratante]*	0% Excesso	0% Excesso	0% Excesso	50% Excesso	50% Excesso	50% Excesso	100% Excesso	100% Excesso	100% Excesso
pH**	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
pH***	3,5	4,5	5,5	3,5	4,5	5,5	3,5	4,5	5,5
pH****	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5

Tabela 1: Condições de extração para os extratantes propostos.

*A concentração 0% Excesso é a concentração de extratante estequiométrica necessária para extrair o elemento disprósio presente na solução.

As concentrações de D₂EHPA, P507, Cyanex 272, Cyanex 572 foram: 17%, 26%, 35% (v./v.)

As concentrações de ácido versático foram: 8,5%, 13%, 17,5% (v./v.)

As concentrações de Cyanex 302 foram: 20%, 30%, 40% (v./v.)

**Faixa de pH utilizada para P507, D₂EHPA, Ácido Versático (1ª rodada de experimentos), Cyanex 272, Cyanex 302 e Cyanex 572.

***Faixa de pH utilizada para Ácido Versático (2ª rodada de experimentos), considerando a possibilidade de aumentar a extração dos ETRs em pHs mais altos.

****Faixa utilizada para o D₂EHPA para evitar a formação de emulsão em pHs menos ácidos. A formação de emulsão nas extrações com D₂EHPA ocorrem pela elevada extração dos ETR pelo D₂EHPA associado à não solubilização completa em fase orgânica do complexo orgânico formado entre o extratante e o ETR.

2.2 Composição do licor aquoso e da fase orgânica

As duas fases foram postas em contato direto em pequenos frascos, com 20mL de cada fase e agitadas por 30 min a 270 rpm numa mesa agitadora, e posteriormente a repouso por mais 30 minutos, para a desagregação das fases. Em seguida as fases foram filtradas em papel de filtro de fases WHATMAN-1PS para separação da fase orgânica da fase aquosa, e posteriormente, a fase aquosa foi filtrada a vácuo em membrana (Mistura de éster celulose tamanho de poro 0,2 µm marca Química Moderna) para retirar o excedente de solvente presente em fase aquosa.

2.3 Análise química dos ETR

Os refinados foram analisados quanto ao pH e a concentração de Dy, Tb e de ETR total. A concentração do Dy se determinou por espectrofotometria UV – Vis (a absorvância do disprósio foi medida em 806 nm). A quantificação do térbio foi realizada através de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) e o conteúdo total de terras - raras foi determinado pela titulação com EDTA e indicador de xilenol laranja.

2.4 Planejamento Fatorial

O software Statistica versão 10 foi utilizado para análise dos resultados e definição das condições ótimas de separação Dy/Tb. Um planejamento fatorial de duas variáveis (pH do licor de alimentação e concentração do extratante) e 3 níveis para cada variável, foi empregado, sendo, portanto, um planejamento (2^3) de 9 rodadas, todas em triplicatas, além de 6 réplicas no ponto central com o objetivo de obtenção do erro experimental e melhoria a adequação do modelo matemático.

2.5 Parâmetros calculados

A técnica de extração por solventes se vale da capacidade de um determinado soluto de se distribuir em duas fases imiscíveis entre si (Zhang et al, 2016), que uma vez em equilíbrio, são quantificáveis e possuem uma razão de distribuição (D) que relaciona as concentrações do soluto nas duas fases. Se (D) for dado pela razão de distribuição da concentração do íon metálico na fase orgânica, dividida pela concentração na fase aquosa, espera-se que D_{Dy} (para o disprósio) seja maior que D_{Tb} . Isso quer dizer que, o íon disprósio, com a mesma carga e menor raio que o térbio, possui uma razão carga-raio maior, que interage mais fortemente com a função ácida do extratante, este que doa prótons ao meio aquoso, para formar o composto organometálico na fase orgânica.

Sob as mesmas condições, o fator de separação (β), pode ser descrito como a razão das razões de distribuição (D) de dois solutos M_1 e M_2 . Assim, quanto maior o valor de β , mais separáveis são os solutos, e quando $\beta=1$, significa que as razões de distribuição são iguais e são inseparáveis sob tais condições (Zhang et al, 2016). A razão de distribuição é a proporção de soluto que migrou para fase orgânica dividido pelo que ficou na fase aquosa.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O meio sulfato se mostrou ineficiente em solubilizar a quantidade de OTR desejada. O meio nitrato se mostrou menos ou igualmente eficiente que o meio cloreto nos ensaios, dessa forma o meio cloreto foi escolhido em detrimento dos outros dois.

Os gráficos de Pareto e de Superfícies de Resposta da interferência das variáveis

independentes sobre o fator de separação ($\beta_{Dy/Tb}$) e sobre o % Extração do Dy foram obtidos, através do software *Statistica*. Também realizamos uma análise dos resíduos das respectivas réplicas aplicando os testes de Kolmogorov, Shapiro-Wilk e Lilliefors.

Os modelos matemáticos para o ácido versático não se ajustaram bem aos dados experimentais ($R^2 \leq 0,6$). Além disto, observamos baixa seletividade ($\beta_{Dy/Tb}$ inferiores a 1,0) e baixa %Extração Dy (valores inferiores a 11%), e ainda observamos que em grande parte dos pontos a %Extração Tb > %Extração Dy, caráter inverso ao esperado e indesejado para o objetivo estipulado.

Para o Cyanex 272, foram observados altos valores de $\beta_{Dy/Tb}$ (2,0 – 6,0), porém baixos valores de %Extração Dy (faixa de 12% - 20%), e os modelos propostos apresentaram bons coeficientes de determinação ajustados para os dados obtidos experimentalmente ($R^2 \geq 0,9$).

Para o Cyanex 302, foram observados baixos valores de $\beta_{Dy/Tb}$ (valores próximos de 0,5) e baixos valores de %Extração Dy (7% - 14%). O ajuste do modelo proposto para β apresentou bom coeficiente de determinação ajustado ($R^2 \geq 0,99$) para os dados obtidos experimentalmente, o que não se verificou no ajuste para %Extração Dy ($R^2 < 0,5$).

Os resultados de %Extração de Dy e dos valores de $\beta_{Dy/Tb}$ são apresentados na forma de superfícies de resposta, para os extratantes D₂EHPA, Cyanex 572 e P507. Assim, podemos avaliar as regiões das superfícies que concentram tanto um alto valor de $\beta_{Dy/Tb}$ quanto um bom valor de extração, indo mais adiante, as taxas de crescimento das curvas de cada variável na superfície podem dar a informação de qual variável contribuiu mais para uma determinada resposta (Figura 1 a 6).

Para o D₂EHPA, foram observados valores altos de %Extração Dy (70% - 95%), porém os valores de $\beta_{Dy/Tb}$ (faixa de 2,0 – 3,0) indicaram uma baixa seletividade, já que %Extração Tb também foi alto (faixa 41% - 87%). O modelo proposto para $\beta_{Dy/Tb}$ não apresentou boa adequação aos dados experimentais ($R^2 < 0,3$), já para %Extração Dy, apresentou-se bem adequado ($R^2 \geq 0,96$). O D₂EHPA apresentou ainda um fator preponderante para não ser utilizado em plantas industriais, houve emulsão nos reatores de extração para todos os pontos quando o pH da alimentação estava acima de 1,5 (Figuras 1 e 2).

A Figura 1 mostra que os valores mais altos de $\beta_{Dy/Tb}$ para o D₂EHPA separados em duas “ilhas”, e que a maior delas concentra as melhores respostas, com pHs intermediários e valores baixos de concentração de extratante. A Figura 2 apresenta uma correlação quase linear entre concentração de extratante com altos valores de extração, onde o aumento do primeiro acarreta o aumento do segundo.

A Figura 1 mostra que na região que concentra os $\beta_{Dy/Tb}$ mais altos é muito sensível pH, que possui grandes taxas de crescimento e decréscimo na região, onde há uma sensibilidade à concentração do extratante, ainda que menor.

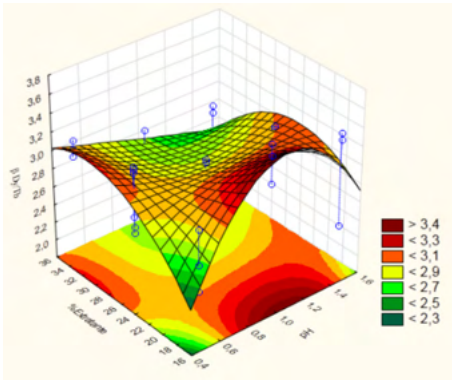


Figura 1. Superfície de resposta de $\beta_{Dy/Tb}$ para o D2EHPA.

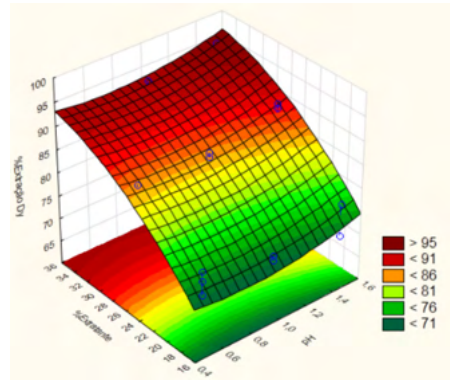


Figura 2. Superfície de resposta de %Extracção de Dy para o D2EHPA.

Para o Cyanex 572, foram observados valores oscilantes de $\beta_{Dy/Tb}$, em sua maioria entre 2,0 - 3,0. Para o %Extracção Dy, foram observados altos valores (21% - 47%). O modelo proposto para $\beta_{Dy/Tb}$ não apresentou boa adequação aos dados experimentais ($R^2 < 0,2$), já para %Extracção Dy, apresentou-se bem adequado ($R^2 \geq 0,98$) (Figura 3 e 4).

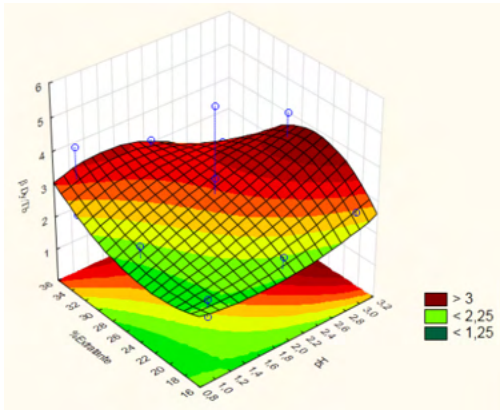


Figura 3. Superfície de resposta de $\beta_{Dy/Tb}$ para o Cyanex 572.

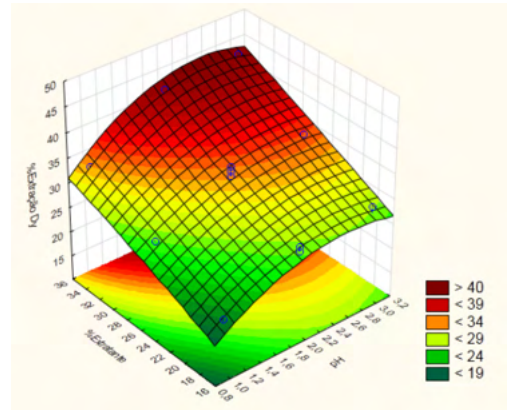


Figura 4. Superfície de resposta de %Extracção de Dy para o Cyanex 572.

A Figura 3 mostra que valores de $\beta_{Dy/Tb}$ de quase 4 podem ser alcançados pelo Cyanex 572, numa concentração intermediária de extratante e altos valores de pH; enquanto a Figura 2 mostra que percentuais de extração de quase 45% podem ser alcançados na concentração alta do extratante e elevado pH.

Nota-se também que os valores de $\beta_{Dy/Tb}$ não são claramente mais influenciados por uma variável ou outra. Contudo, na região mais escura da superfície, a concentração do extratante se mostra mais sensível do que o pH. Já para %Extracção Dy, a concentração do extratante e o aumento de pH refletem efeitos positivos, porém com prevalência para

variações da concentração do Cyanex 572.

Para o P507, foram observados valores relativamente altos para $\beta_{Dy/Tb}$, atingindo valores superiores a 5,0 em alguns pontos. Os testes para P507 evidenciaram ainda altos resultados relativos de %Extração Dy (31% - 47%). Ambos os modelos apresentaram boa adequação aos dados experimentais, com $R^2 \geq 0,95$ (Figura 5 e 6).

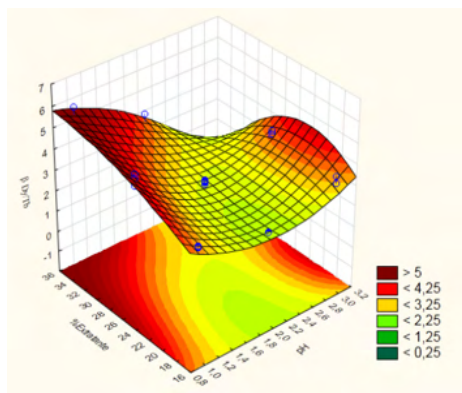


Figura 5. Superfície de resposta de $\beta_{Dy/Tb}$ para o P507.

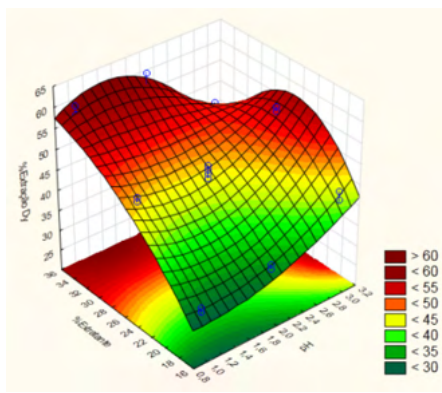


Figura 6. Superfície de resposta de %Extração Dy para o P507.

A Figura 5 mostra que os valores mais altos de $\beta_{Dy/Tb}$ para o P507 são nos pHs mais baixos com concentrações intermediárias ou altas do extratante. A Figura 5 também mostra que o aumento do pH tem uma tendência a diminuir o fator de separação, embora haja uma “ilha” em que há valores de pH altos em que há uma separação boa. O aumento na concentração do extratante em pHs baixos exerce um efeito positivo nos valores de $\beta_{Dy/Tb}$, embora quando se atingiu valores intermediários ele tenda a estagnar e crescendo pouco a partir dessa faixa.

A Figura 6 mostra que os maiores percentuais de extração de Dy se encontram em valores intermediários e altos de concentração de extratante. A Figura 6 indica, genericamente, que a extração é mais sensível à concentração do extratante do que o pH e que quando ambos estão em valores menores, há uma tendência para uma diminuição da %Extração de Dy.

Comparando, agora, os desempenhos de cada extratante, podemos eliminar o Cyanex 572 por apresentar valores de $\beta_{Dy/Tb}$ e %Extração de Dy inferiores ao do P507, sendo o segundo, portanto invariavelmente melhor.

O D₂EHPA possui os valores mais baixos de $\beta_{Dy/Tb}$ enquanto possui os mais altos de extração de Dy; não somente, os valores onde estão as melhores respostas de uma das variáveis, se encontram as piores da outra, onde vale ressaltar que, mesmo os valores mais baixos de extração do D₂EHPA são mais altos que os valores mais altos dos outros dois.

O P507 tem os valores mais altos de $\beta_{Dy/Tb}$ e que são coincidentes com as melhores respostas para o %Extração de Dy. Dessa forma, ele se mostra o mais sensível dos extratantes analisados, e com considerável potencial de extração que, embora inferior ao D₂EHPA, é o suficiente para que se consiga bons valores em extrações sucessivas.

Dessa forma, o P507 foi escolhido em detrimento dos outros dois, na condição de pH 1,0, onde há uma maior sensibilidade ao $\beta_{Dy/Tb}$; e em concentração de extratante de intermediária de 26% que embora não seja a que esta que apresente os maiores valores de $\beta_{Dy/Tb}$ ou de %Extração Dy, mudá-la para o valor alto de 35% importaria numa ínfima melhora na resposta de ambos, que não compensaria o brusco aumento de concentração do P507.

4 | CONCLUSÃO

Após análise dos dados experimentais e superfícies geradas em adequação aos modelos experimentais, observou-se que o P507 é o extratante que apresentou condições mais adequadas para utilização em plantas em regime contínuo e em maiores escalas, já que apresentou valores de %Extração Dy suficientemente altos, e um bom perfil de seletividade, com altos valores de $\beta_{Dy/Tb}$ mais elevados entre os observados. O P507 exibiu ainda, boas condições de operação, com duas fases rapidamente separáveis e bem definidas após a extração, corroborando sua indicação para operar em plantas de maiores portes. A melhor condição de extração foi obtida em pH de alimentação de 1,0 e [P507] 26%. O próximo passo da pesquisa é obter a isoterma de extração do Dy e Tb para determinar o número de estágios e a razão volumétrica das fases aquosa e orgânica da extração em regime contínuo usando células de extração do tipo misturadores-decantadores.

REFERÊNCIA

GUPTA, C.K; KRISHNAMURTHY N. **Extractive metallurgy of rare earth**. Boca Raton: CRC Press; 2005.

LIMA, P.C.R. **Terras-Raras: Elementos Estratégicos Para O Brasil**. 02/2012, p. 1-55.
Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/EstudoMineraisEstratgicoseTerrasRaras.pdf>>, acessado em 21/06/2018.

MCLELLAN BC. **Sustainability of Rare Earths - An overview of the state of knowledge**. Minerals, v. 3, p. 304 – 317, 2013.

NEUMANN R. **Caracterização Química e Tecnológica de Minérios de Elementos de Terras Raras**.

Relatório Técnico. J, v. 10, p. 11-16, 2013.

SUMÁRIO MINERAL. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, vol. 35, março, 2015.

ZHANG J, BAODONG Z. **Separation Hydrometallurgy of Rare Earth Elements**. Saskatoon, Canadá: Editora Springer, 2016.

ZHANG, J.; ZHAO, B.; SCHREINER, B. **Separation Hidrometallurgy of Rare Earth Elements**. 1. ed. Canadá: Springer International Publishing, 2016. P. 55-57, 63-64.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Automação 2, 6, 43, 233, 241, 242

B

Barra de leds 3, 42, 43, 44, 51, 52, 55, 58

Borracha natural vulcanizada 60, 61, 70

Braço robótico 6, 203, 204, 207, 209, 210, 211

C

Capacidade de suporte 112, 113, 118

Cerrado 125, 128, 136

Circuito integrado 42, 45

Classificação geomecânica 14, 19, 27, 28

Coagulantes 180, 181, 186, 187

Coarctação da aorta 141, 142, 143, 144, 145, 148, 153

Compostos de borracha 60

Construccionismo 155, 157

Controle adaptativo 3, 30, 31

Crecimiento en pinos, biomasa 90

Cromatografia 2, 125, 130, 131

Curtume 180, 181, 183

D

Degradação 18, 61, 179, 180, 184

Densidade de ligações 3, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69

Drenagem 5, 102, 104, 105, 107, 110, 168, 172, 173, 174, 176, 178, 179

E

Educación en ingeniería 155

Elementos terras 5, 137, 140, 212, 213

Escavações subterrâneas 14, 15

Estabilidade 15, 18, 60, 61, 69, 134, 168

Estilos de aprendizaje 2, 155, 156, 157, 158, 160, 162, 166, 167

Extração líquido 5, 137, 138, 140, 213

G

Geotêxtil 5, 168, 177, 178, 179

Guanandi 125, 135, 136

H

Hidráulica 6, 16, 102, 103, 112, 130, 233, 235, 240, 241

Hidrología 179

I

Identificação de sistemas 2, 30

Impressão 3D 2, 141, 142

Incremento corriente anual 90, 92, 97

Incremento medio anual 90, 92, 97

Investigações de campo 15

L

Laboratório 14, 15, 22, 130, 187, 233, 234, 235, 236

Laboratório virtual 233

Landi 125

M

Maciço fraturado 14

Manejo forestal 1, 8, 10, 11, 100

Martelo vibratório 4, 112, 116

Melhoramento de solo 2, 4, 112

Métodos numéricos 2, 14, 24, 155, 156, 161, 163, 165, 166

México 4, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 90, 91, 98, 99, 100, 101, 155

Microcontrolador 3, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 57, 58, 204, 206, 207

Microestrutura 60, 61, 67

Modelagem computacional 14

Mooney-rilvin 60, 62

P

Pilhas de estéril 168

Plantaciones forestales 3, 90, 91, 100

Pneumática 6, 233, 235, 236, 240, 241

Propriedades macroscópicas 60

R

Reconhecimento de padrões 2, 6, 203, 204

Recursos forestales 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12

Rede neural artificial 203, 204, 206, 207

Robótica 30, 210

S

Sinal eletromiográfico 203, 204, 206

Standard penetration test 112, 113

Stents bioabsorvíveis 142, 147, 151, 154

T

Tomografia computadorizada 141, 142, 148, 153

Transdutor de temperatura 42, 43, 46

Túnel rodoviário 14

W


Webquest 5, 155, 163, 167



Gears of the future

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 


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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Gears of the future

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 