



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**ESCOLA DE QUÍMICA**



**ROADMAP TECNOLÓGICO:**  
**SAPONIFICAÇÃO DE ELEMENTOS DE**  
**TERRAS RARAS**

**DISCIPLINA**

Gestão da Tecnologia e Propriedade Industrial

**DOCENTE**

Suzana Borschiver

**DISCENTES**

João Marcos

Leandro Nunes

**RIO DE JANEIRO**

**2021**

## SUMÁRIO

0. SUMÁRIO	
0.1.LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	03
0.2. LISTA DE FIGURAS.....	04
0.3. LISTA DE GRÁFICOS.....	05
0.4. LISTA DE TABELAS.....	06
1. INTRODUÇÃO	
1.1. OS ELEMENTOS DE TERRAS RARAS .....	07
1.2. A SAPONIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DE TERRAS RARAS.....	09
2. METODOLOGIA	
2.1. ARTIGOS.....	11
2.2. PATENTES.....	13
3. ANÁLISE MACRO.....	13
4. ANÁLISE MESO.....	18
5. ANÁLISE MICRO.....	20
6. ROADMAP TECNOLÓGICO.....	28
7. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	33
8. REFERÊNCIAS.....	35
9. ANEXO I – FLUXOGRAMA DAS TAXONOMIAS.....	36
10. ANEXO II – FREQUÊNCIAS DAS TAXONOMIAS EM PATENTES CONCEDIDAS...	37
11. ANEXO III - FREQUÊNCIAS DAS TAXONOMIAS EM PATENTES PUBLICADAS...	38
12. ANEXO IV - FREQUÊNCIAS DAS TAXONOMIAS EM ARTIGOS.....	39

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

01. BTJ.....	<i>Baotou Jingrui (ETR) Co.</i>
02. CAS.....	<i>Chinese Academy of Sciences</i>
03. CETEM.....	<i>Centro de Tecnologia Mineral</i>
04. CHINALCO.....	<i>China Aluminum Company</i>
05. DQX.....	<i>Deqing Xingbang (ETR) Co.</i>
06. ETR.....	<i>Elemento(s) de Terras Raras</i>
07. FJU.....	<i>Fujian University</i>
08. Grirem.....	<i>Grirem Advanced Materials</i>
09. Guangzhou.....	<i>Guangzhou College</i>
10. Hunan.....	<i>Hunan Institute</i>
11. IPE.....	<i>Institute of Process Engineering</i>
12. JXU.....	<i>Jiangxi University</i>
13. NEU.....	<i>Northeastern University</i>
14. NHU.....	<i>Nanchang Hangkong University</i>
15. Q TU.....	<i>Qingdao Technology University</i>
16. SKL.....	<i>State Key Laboratory(ies)</i>
17. SMC.....	<i>Sichuan Mianning (ETR) Co.</i>
18. STK.....	<i>Santoku Corp.</i>
19. SX.....	<i>Extração por Solvente</i>
20. XIREM.....	<i>Xiamen Institute of Rare Earth Materials</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Tabela periódica ressaltando os 17 elementos de terras raras.....	07
Figura 02- Áreas de aplicação de patentes.....	09
Figura 03- <i>Cloud map</i> do <i>Patent Inspiration</i> ilustrando as instituições depositantes.....	16
Figura 04- Mapa que ilustra a concentração de publicações de patentes em apenas três países.....	16
Figura 05- Logotipo da <i>Chinese Academy os Sciences</i> .....	22
Figura 06- Logotipo do <i>Institute of Process Engineering</i> .....	22
Figura 07- Logotipo do Centro de Tecnologia Mineral.....	23
Figura 08- Logotipo da <i>Grem Advanced Materials</i> .....	23
Figura 09- Logotipo da <i>Guangzhou University</i> .....	23
Figura 10- Logotipo da <i>Hunan University</i> .....	24
Figura 11- Logotipo da Companhia de Alumínio da China.....	24
Figura 12- Logotipo da <i>Nanchang Hangkong University</i> .....	24
Figura 13- Logotipo da aquisitora da <i>Deqing Xinbang Co.</i> .....	25
Figura 14- Logotipo da <i>Jiangxi University of Science and Technology</i> .....	25
Figura 15- Logotipo os <i>State Key Laboratories</i> .....	25
Figura 16- Logotipo da <i>Baotou Jingrui Co.</i> .....	26
Figura 17- Logotipo da <i>Santoku Corp</i> .....	26
Figura 18- Logotipo da <i>Northeastern University</i> .....	26
Figura 19- Logotipo da <i>Fujian Normal University</i> .....	27
Figura 20- Logotipo da <i>Qingdao Technological University</i> .....	28
Figura 21- Roadmap demonstrando as tendências a curto prazo.....	30
Figura 22- Roadmap demonstrando as tendências a médio prazo.....	31
Figura 23- Roadmap demonstrando as tendências a longo prazo.....	32
Figura 24- Roadmap demonstrando as tendências gerais dos principais <i>players</i> e as parcerias.....	32

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 01- Os cinco jornais com o maior número de resultados de busca.....	08
Gráfico 02- Pesquisa no “ <i>Science Direct</i> ” pelos cinco jornais com mais resultados por aplicação... ..	14
Gráfico 03- Divisão dos artigos analisados por área de estudo.....	15
Gráfico 04- Resultados da busca pelos métodos de separação.....	15
Gráfico 05- Evolução do número de patentes publicadas ao longo dos anos de 2000 a 2021.....	17
Gráfico 06- Divisão sobre as diversas formas de diminuir os danos ambientais causados pelo processo de saponificação.....	18
Gráfico 07- Comparativo da oscilação dos preços das ETR com o ouro entre os anos de 2008 e 2014.....	19

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01- Os cinco jornais com maior número de artigos publicados de aplicações de ETR.....	11
Tabela 02- Os resultados de busca para quatro métodos de separação de ETR.....	12
Tabela 03- Dados utilizados para a construção do <i>roadmap</i> de curto prazo, baseado na análise de patentes publicadas, mas ainda não concedidas .....	29
Tabela 04- Dados utilizados para a construção do roadmap de médio prazo, baseado na análise de patentes concedidas .....	29
Tabela 05- Dados utilizados para a construção do roadmap de longo prazo, baseado na análise dos artigos .....	29

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. OS ELEMENTOS DE TERRAS RARAS

Os elementos terras - raras (ETR) são um conjunto de 17 elementos químicos, que compreende a série dos lantanídeos, o ítrio e o escândio (Figura 1). Suas aplicações concentram-se em áreas de alta tecnologia e não são conhecidos até o momento substitutos que proporcionem o mesmo desempenho. Entre suas aplicações, podemos citar seu uso em catalisadores para as indústrias automotiva e petroquímica, para produzir ligas metálicas especiais, e aquelas relacionadas com as tecnologias de produção de energia limpa, que, invariavelmente, serão formas de produção de energia no futuro. Alguns exemplos neste sentido são: os ETR presentes nos ímãs superpotentes usados nos sistemas de geração de energia elétrica a partir das correntes eólicas, nas células de combustíveis; nas baterias usadas nos veículos híbridos e elétricos, e também nas baterias usadas para o armazenamento de energia produzida a partir de fontes renováveis.

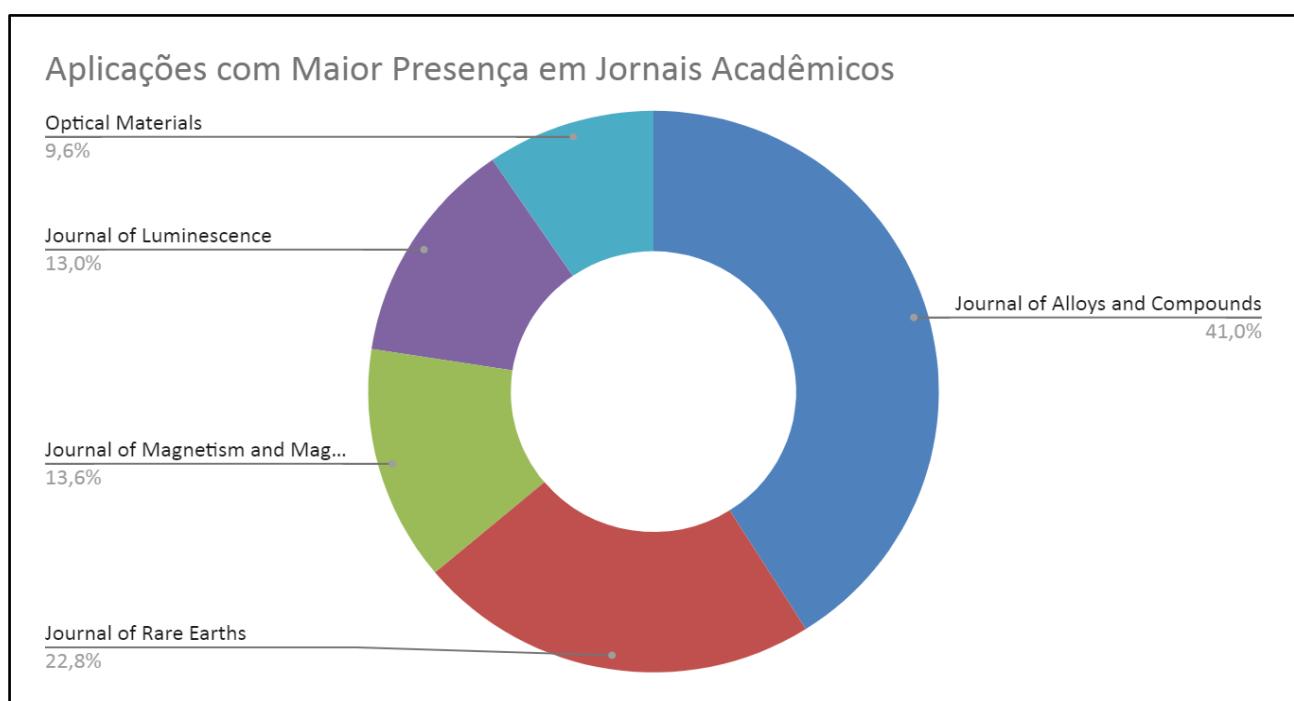
Além disso, estes elementos estão presentes nos diodos emissores de luz (LEDs), que são dispositivos de baixo consumo de energia (MCLELLAN et al. 2013). Com todas as aplicações recentemente descobertas dos terras-raras, tem ocorrido um aumento significativo da sua demanda nos últimos anos.

H																				He	
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br				Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I				Xe	
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At				Rn	
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts				Og	
Lantanídeos		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm						Yb	
Actinídeos		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md						No	

Figura 1. Tabela periódica ressaltando os 17 elementos de terras raras em vermelho. (Adaptado de SOUSA et al., 2020).

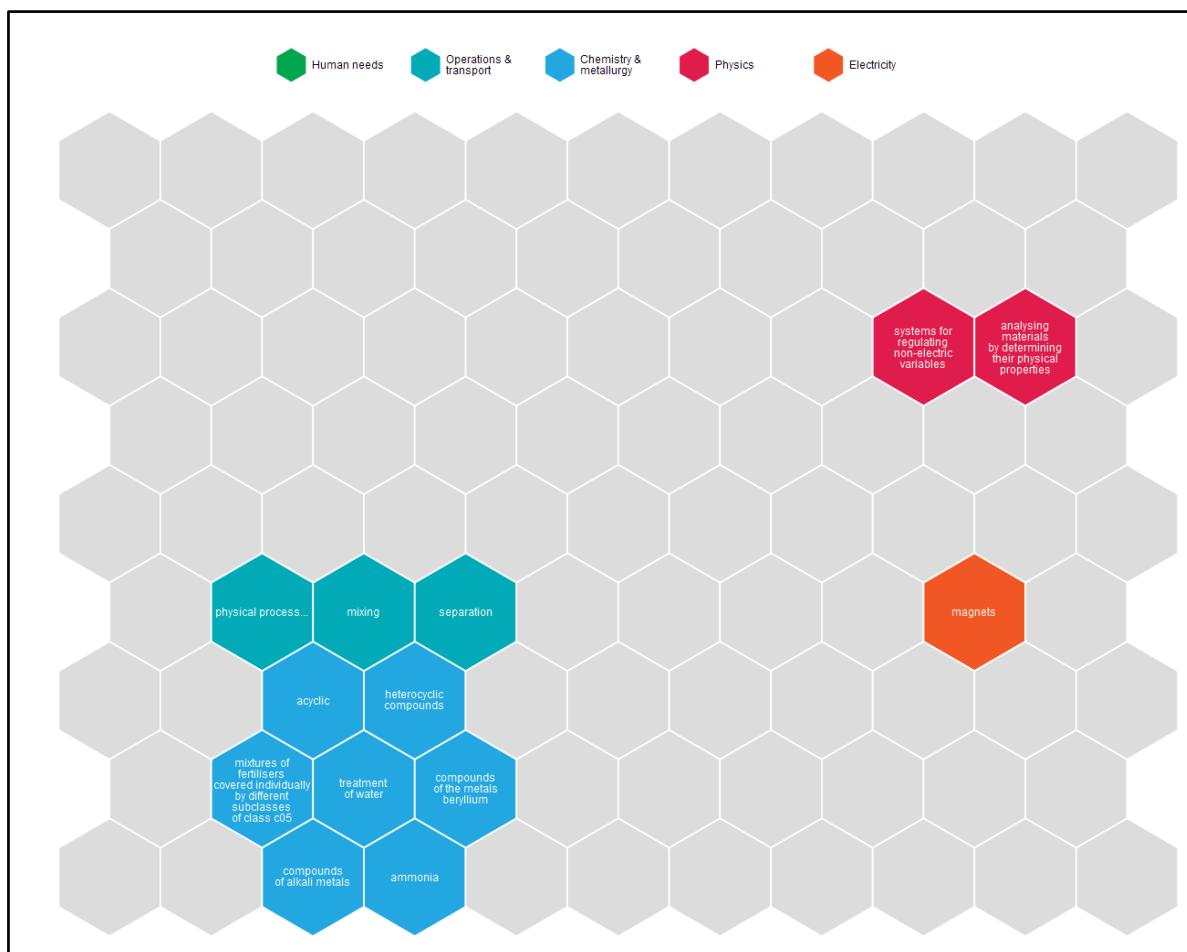
Se em 2010 a demanda foi de 125.000 toneladas, no ano 2020 foram produzidas 240.000 toneladas (GUPTA E KRISHNAMURTHY, 2016; U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2021). O Brasil possui a segunda maior reserva de ETR do mundo, mas produz e consome muito pouco desses elementos (SUMÁRIO MINERAL 2014). Desde a crise das cotas de exportação em 2010, o governo brasileiro tem apoiado pesquisas nessa área, com o objetivo de desenvolver a cadeia produtiva dos elementos, visando tornar o Brasil um grande produtor e exportador dos ETR e produtos de maior valor agregado associados, como ímãs Nd-Fe-B.

Na análise macro de artigos, encontrou-se a reserva brasileira de terras raras estimada como 50% das reservas totais da China, sendo a última estimada em 44 milhões de toneladas. Na mesma busca encontrou-se que a maior área de aplicação dos elementos de terras-raras está associada à produção de ligas metálicas com propriedades catalíticas ou propriedades magnéticas especiais, como manutenção da força do campo magnético em altas temperaturas; produtos com propriedades óticas e luminescentes especiais como certos tipos de quartzo e pós de polimento também são usos para alguns ETR. Os jornais com o maior número de resultados de busca refletem esse padrão (Gráfico 1), bem como a frequência de resultados por classificação IPC, na análise macro de patentes (Figura 2).



*Gráfico 1- Os cinco jornais com o maior número de resultados de busca.*

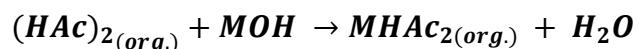
Hoje em dia, apenas dois países, a China e a Austrália, têm empresas que possuem plantas industriais de purificação de ETR. No Brasil, mais especificamente no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), se estuda, desde 2013, a separação de ETR a partir da técnica de extração por solvente. Além disso, desde a metade da década de 90 já se produz, na instituição, artigos no tema.



*Figura 2 - Áreas de aplicação de patentes, por classificação IPC.*

## 1.2. A SAPONIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DE TERRAS RARAS

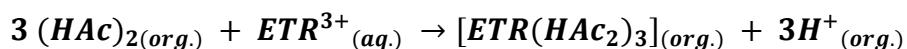
A saponificação é uma técnica que consiste na adição de uma base (composto iônico) à fase orgânica do processo de separação, geralmente em extração por solvente, mas também em outras técnicas. Ao adicionar a base, o extratante, que possuirá uma função ácida ( $H^+$  removível, não necessariamente um ácido carboxílico) irá trocar de cátions com a base, formando um sal e gerando água, como sugere a reação genérica abaixo:



A reação é apenas uma das várias possíveis, cujos objetivos são os mencionados acima. Cabe mencionar que o ácido orgânico (extratante) costuma estar na forma dimérica ( $HAc$ )<sub>2</sub>, de forma a mudar um pouco as reações e possibilitar várias reações paralelas a depender do grau de saponificação do sistema (a quantidade de base adicionada para causar a referida reação no total de extratantes). O cátion  $M^+$  pode ser um alcalino ( $Na^+$  ou  $K^+$ ) ou, mais frequentemente,  $NH_4^+$  (QI, 2018); entretanto,

já se encontrou literatura para outros cátions como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , como é o caso de pesquisas e patentes que buscam utilizar a dolomita como saponificante, comentadas mais adiante.

O objetivo dessa operação é criar uma pequena alteração no mecanismo de reação na extração por solventes (SX). Na SX, salvo para pHs próximos de -1 (10 mols/L de  $\text{H}^+$ ), o mecanismo de extração por troca iônica impera sobre os demais. Esse mecanismo de troca iônica costuma seguir a reação abaixo, para um ETR qualquer:



Se a reação ocorrer com um extratante saponificado, a reação é a seguinte:



Como se pode ver, a diferença entre um e outro mecanismo, é que quando o reagente está saponificado, o que migra para fase aquosa não é um próton, mas  $\text{M}^+$ .

Na separação de ETR, uma parametrização bem fina de parâmetros como pH é necessária, para garantir saídas puras e recuperações altas o suficiente para atender demandas comerciais; onde tamponar o meio não costuma ser uma opção viável. Dessa forma, no decorrer de uma separação sem um saponificante, o próprio pH vai sendo alterado pela troca iônica, de forma que o curso de uma reação altera a separação que segue, pela diminuição do pH. Esse tipo de problema causa uma imprevisibilidade enorme no sistema e, consequentemente, difícil controle.

Quando o extratante é saponificado, o sistema permanece mais controlável e o pH se mantém aproximadamente constante ao longo do processo. Obviamente, ele ainda possui um grau de complexidade relevante, porque em todos os casos, conforme o ETR é trocado pelo cátion do extratante, a força iônica da solução está mudando continuamente, mas a evidência experimental aponta que, do ponto de vista puramente operacional, trabalhar com um sal (extratante saponificado) é mais previsível e, portanto, fácil, do que se trabalhar com o ácido puro; de forma que quando o sistema não saponificado não é capaz de resolver o problema, a saponificação costuma ser a alternativa que segue.

Entretanto, essa alternativa também não vem sem problemas: o primeiro e mais óbvio é um reagente extra na sua operação, que dadas as demais condições iguais, encarece o processo; desta forma, ela só é empregada porque se assegurou primeiro que a SX convencional não é suficiente. Segundo e mais grave, o mecanismo de troca iônica gera uma solução aquosa extremamente concentrada em sais, porque além da alta concentração do cátion na fase orgânica, o volume de fase

orgânica empregada em uma extração costuma ser superior à aquosa. Existe um esforço para criar processos onde essa água com resíduos de saponificação seja usada para ressaponificar o extratante que foi dessaponificado quando houve a troca de íons ETR- $3M^+$ , depois das devidas etapas de processo onde o extratante é recuperado à sua forma original, de forma que o ciclo seja fechado e sem eliminação de rejeitos.

Porém, a reintegração completa enfrenta grandes desafios que parecem ser, sobretudo, econômicos. Quando esses cátions são liberados no efluente, eles ameaçam a vida marinha do local de despejo e populações ao redor que dependem das águas para nutrição, sustento e abastecimento. Por consequência, a legislação ambiental é severa com esses descartes e essa é uma etapa que não deve ser ignorada pela produtora, seja por consciência socioambiental, seja pela preocupação com a sua saúde financeira.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. ARTIGOS

A análise macro dos artigos foi feita usando a base de dados *Science Direct*, pela ocorrência dos termos, que quer que fossem, no título, resumo e palavras-chave dos artigos; publicações que não fossem artigos foram eliminadas da busca.

Uma primeira busca foi feita utilizando apenas os termos (rare AND earth), para obter o número de artigos do tema numa base anual, na qual 41214 resultados foram obtidos para o período de 1910-2021, onde o primeiro ano remonta ao artigo mais antigo no tema, nessa base de dados.

A pesquisa pelos cinco jornais com mais resultados por aplicação (Gráfico 1) foi feita usando os termos (Rare AND Earth AND (Material OR Materials), também para o período 1910-2021. Os resultados se encontram na Tabela 1. A escolha da palavra MATERIALS se deu pelos resultados da primeira pesquisa, na qual MATERIALS SCIENCE compreendia a área com o maior número de resultados publicados.

Tabela 1: Os cinco jornais com maior número de artigos publicados de aplicações de ETR.

Jornal	Resultados
Journal of Alloys and Compounds	1267
Journal of Rare Earths	705
Journal of Magnetism and Magnetic Materials	419
Journal of Luminescence	402
Optical Materials	295

A pesquisa pelos métodos de separação mais relevantes foi feita com base em algum conhecimento prévio do tema, escolhendo-se os quatro métodos mais conhecidos de separação dos ETR: extração por solvente (SX), separação por membranas, líquidos iônicos e precipitação seletiva. A Tabela 2 resume os resultados da busca.

Tabela 2: Os resultados de busca para quatro métodos de separação de ETR.

Método	Extração por Solvente	Separação por Membranas	Líquidos Iônicos	Precipitação Seletiva
<b>Busca</b>	rare AND earth AND solvent AND extraction	rare AND earth AND membrane AND (extraction OR separation)	rare AND earth AND ionic AND liquid AND (extraction OR separation)	rare AND earth AND selective AND precipitation AND (oxidation OR reduction OR extraction OR separation)
<b>Resultado</b>	399	112	95	124

1. rare AND earth AND solvent AND extraction;
2. rare AND earth AND membrane AND (extraction OR separation);
3. rare AND earth AND ionic AND liquid AND (extraction OR separation);
4. rare AND earth AND selective AND precipitation AND (oxidation OR reduction OR extraction OR separation).

A necessidade de restringir o tema, para se fazer uma análise relevante, levou à escolha de uma área específica dos elementos de terras-raras: a sua separação. Dentro da separação, a técnica de saponificação foi escolhida para se fazer a análise meso e micro. Para ambas, a busca foi feita não mais no *Science Direct*, mas sim na base *Scopus*. Manteve-se a busca apenas por artigos e restringiu-se o idioma para apenas inglês. A busca das palavras também continuou sendo apenas em título, resumo e palavras-chave, usando os termos (rare AND earth AND saponification). Obteve-se 51 resultados. Para a prospecção meso, os 15 primeiros foram lidos, em ordem de publicação mais recente. Na análise micro, todos foram lidos, e três deles descartados por não estarem relacionados ao tema.

## **2.2. PATENTES**

A análise macro de patentes foi feita utilizando a base *Patent Inspiration*. Pelo seguimento das atividades, esta análise se prosseguiu após a análise meso de artigos, onde a restrição do tema já havia acontecido. Por este motivo, a especificação por patentes relacionadas à saponificação foi incluída ainda na etapa de análise macro. A busca foi realizada nos títulos e resumos. Usou-se a opção de buscar termos relacionados (“find related terms”) e busca pelo radical das palavras (“stem”) para obter buscas semelhantes que, do contrário, poderiam não ser incluídas, como segue: “((rare AND earth) OR ("rare earth" OR "rare earth element" OR "rare earth elements") AND saponification)”. Obteve-se 178 resultados com a busca, 101 dos quais eram patentes concedidas.

Contrário ao que foi proposto inicialmente na disciplina, não se usou a base USPTO na análise meso de patentes, porque as buscas pelos termos apresentavam um único resultado. Optou-se, então, por procurar uma base de dados chinesa, a base CNIPA (China National Intellectual Property Administration), onde a análise das 15 patentes mais recentes foram analisadas, usando o mesmo tipo de busca, em títulos e resumo. Obteve-se 144 resultados de busca: 137 invenções e 7 modelos de utilidade (que não foram considerados).

Na análise micro, notou-se uma limitação inerente à base, não foi possível incluir um filtro de separação entre patentes concedidas e apenas publicadas mas não concedidas. Dessa forma, optou-se em voltar para a base *Patent Inspiration*, a qual deveria ter sido a primeira opção a ter sido considerada, porque nela é possível configurar tal distinção.

## **3. ANÁLISE MACRO**

A busca mais geral por elementos de terras raras rendeu os resultados em volumes de artigos por ano conforme ilustrado no gráfico 2. Nota-se um fato interessante: o crescimento exponencial de artigos no tema coincide com o surgimento dos primeiros interesses em se estudar os ETR no fim da década de 40 e início da década de 50, podendo estar relacionado com o entendimento do decaimento da matéria radioativa nas armas e nos reatores nucleares.

Desses artigos, as dez áreas de interesse do tema são apontadas no gráfico 3. Nota-se uma prevalência do interesse de aplicação sobre os métodos de obtenção dos mesmos, que ainda são, entretanto, um desafio para quase todos os países que os possuem.

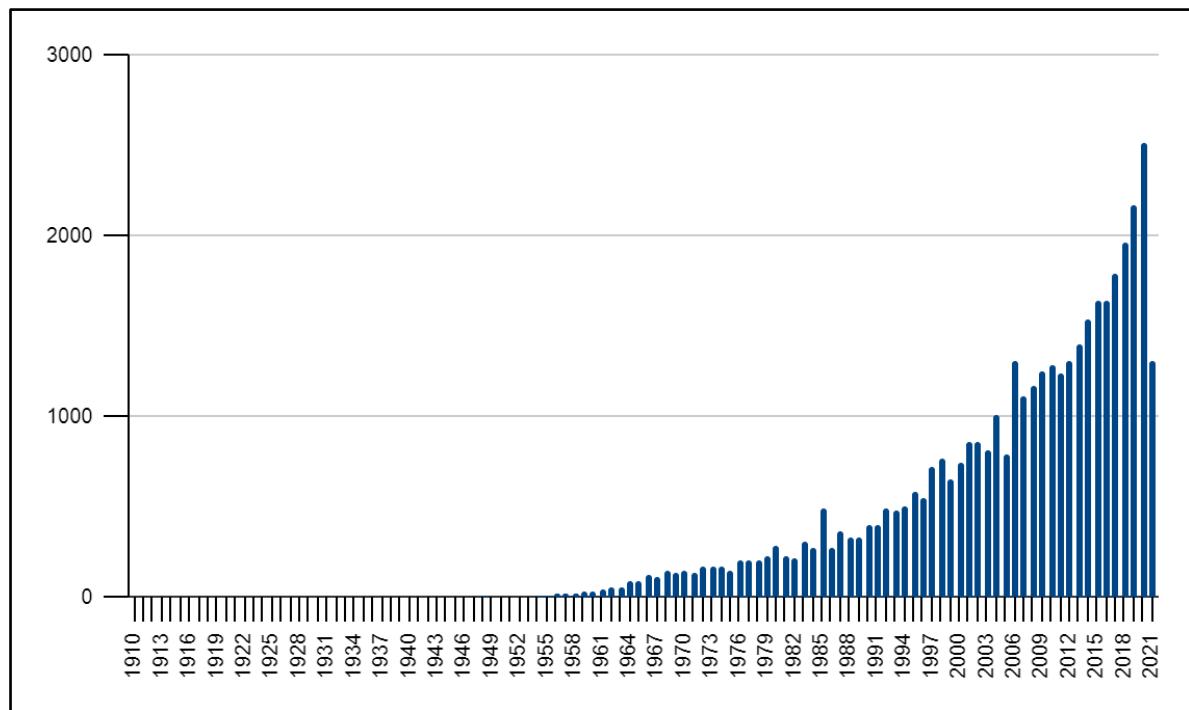


Gráfico 2. Pesquisa no “*Science Direct*” pelos cinco jornais com mais resultados por aplicação.

Já no caso da busca pelos métodos de separação, ilustrado no gráfico 4, ainda mostra a hegemonia da técnica de extração por solvente como área de interesse de estudo, mas nota-se que essa importância relativa está decaindo com o tempo.

Naturalmente, como extração por solvente é a técnica de preferência para utilização em escala industrial, salvo exceções, essa hegemonia ainda é mais presente nas patentes.

Diferentemente da dinâmica típica em que universidades e instituições de pesquisa dominam a produção de artigos, ao passo que empresas dominam a aplicação de patentes, o número de aplicações de patentes com origem em centros de pesquisa e universidades para o tema é significativamente alto e argumentavelmente superior ao das empresas, conforme sugere a *Word Cloud* com os 25 maiores depositantes (Figura 3), gerada automaticamente pela *Patent Inspiration* (não é difícil perceber que o *Cloud Map* referencia, por vezes, a mesma instituição que depositou uma patente com nomes ligeiramente diferentes, de forma que o número real de depósitos é a soma das diferentes instâncias).

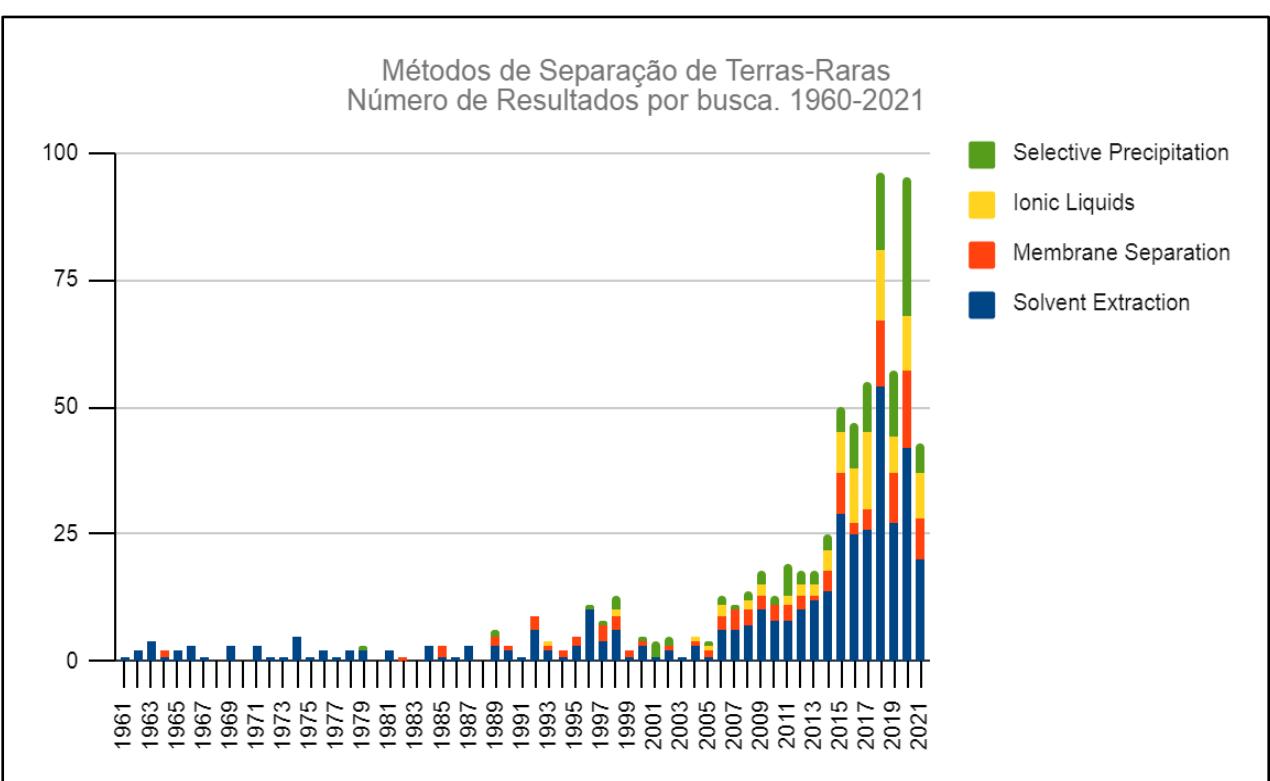
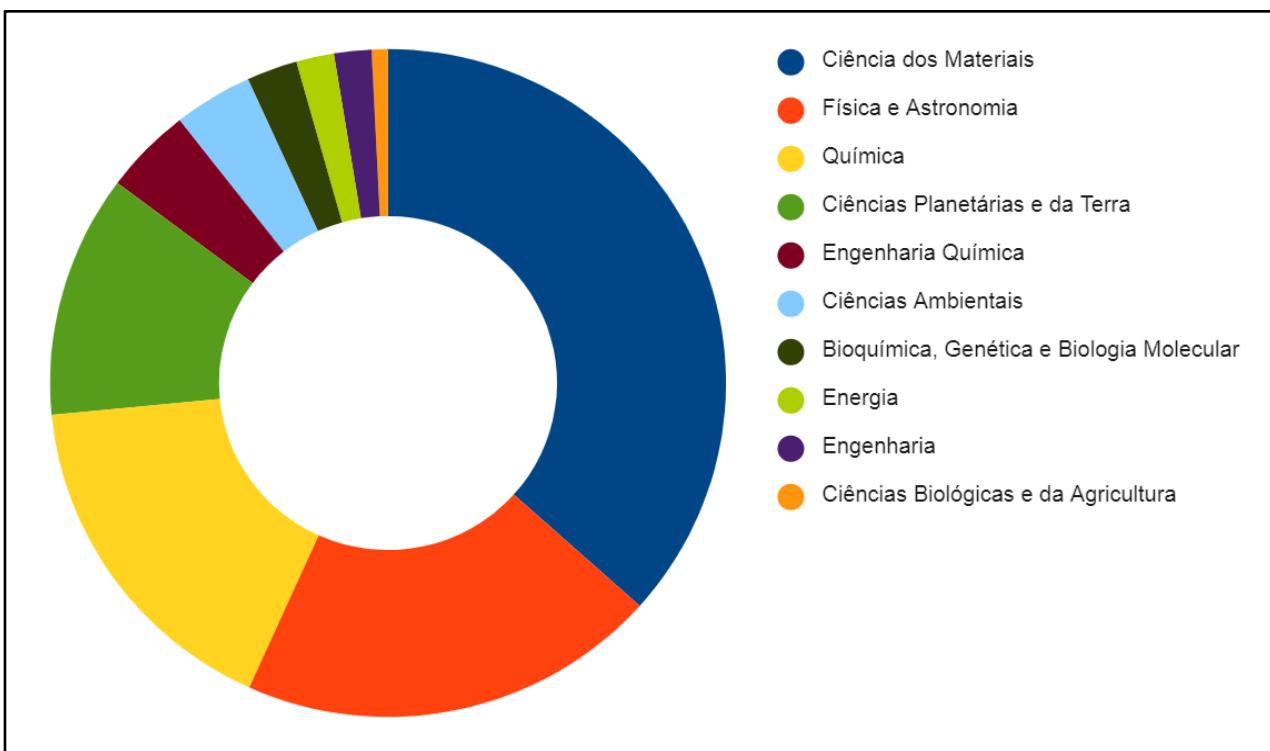
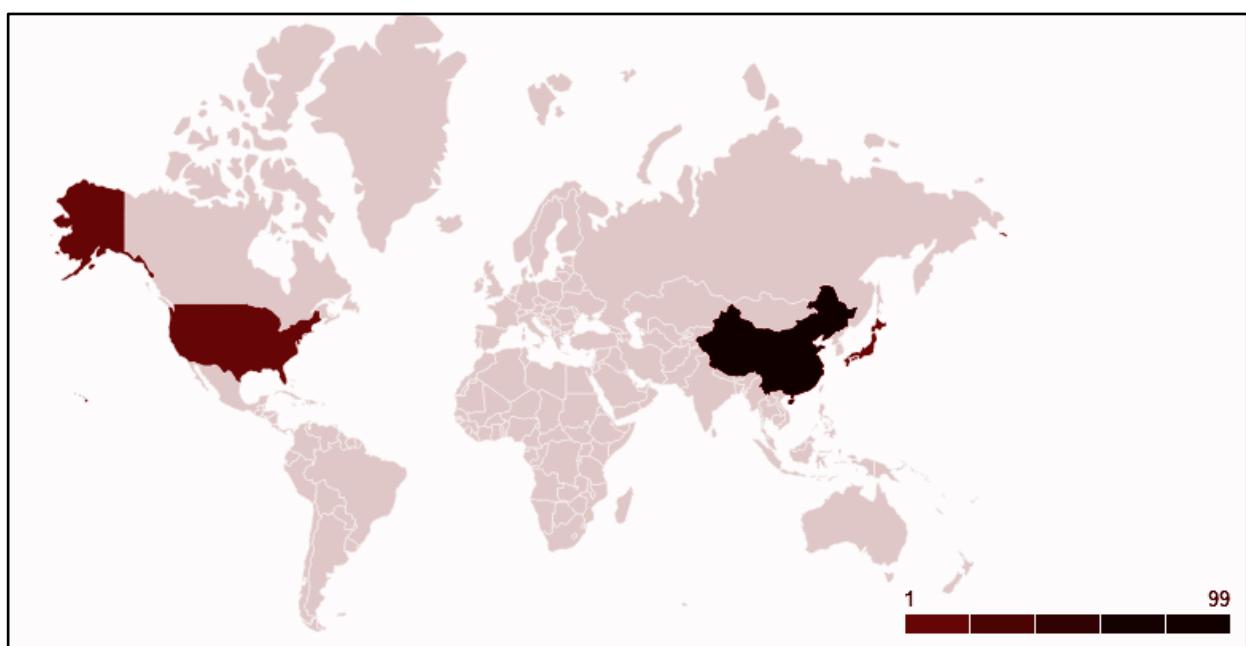


Gráfico 4: Resultados da busca pelos métodos de separação.



*Figura 3: Cloud map do Patent Inspiration ilustrando as instituições depositantes.*

Uma possível justificativa para essa discrepância possui indícios na figura 4 abaixo e a explicação que segue.



*Figura 4: Mapa que ilustra a concentração de publicações de patentes em apenas três países (EUA, China e Japão).*

As 178 patentes obtidas nos resultados de busca possuem apenas três países de origem para seus aplicantes: 99 são da China, 8 do Japão e 2 dos EUA. A hegemonia chinesa se mostra claramente presente na *Word Cloud*. Por conta disso, a dinâmica de como a produção de patentes é feita na China é, aproximadamente, a dinâmica do mundo, neste tema. Quem escreve estima que a presença tão forte de universidades e instituições de pesquisa estão na maneira que a China aloca recursos para sua produção.

Devido a política de planejamento central do país, somado ao fato que o tema concerne a exploração de recursos naturais do país, espera-se que haja uma grande mão do estado em todas as etapas do processo de produção de ETR. Empresas de exploração possuem grande parte do seu capital

próprio como estatal e os centros de pesquisa são em grande parte ou completamente financiados pelo estado. Como a maior parte interessada, o governo, possui mãos tanto na frente de pesquisa quanto na produção, somado a estratégia de planejamento central, ela pode facilmente alocar pessoas e recursos para criar parcerias que noutras países não seria tão fácil. Dessa forma, instituições de pesquisa fazem aquilo que elas são mais capazes — inventar — e empresas de exploração dos recursos lidam com o processo, transferindo-se mutuamente recursos e pessoas de um lado para o outro e usando a economia de escala permitida pela situação para melhor aproveitar o capital disponível.

O Gráfico 5 abaixo mostra o número de patentes publicadas entre 2000-2021. Nota-se uma queda no período mais recente. Além da perda relativa de importância da SX frente às outras técnicas de separação, que é a técnica mais fortemente associada com a saponificação, uma outra explicação para essa diminuição na produção tem como possível causa o aumento da preocupação ambiental na exploração destes recursos, onde o processo de saponificação gera um efluente com altas concentrações de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dentre outros possíveis cátions, a depender do processo. Estes são prejudiciais à vida marinha que entra em contato com o efluente e pessoas que dependam da água ou da pesca nos locais afetados.

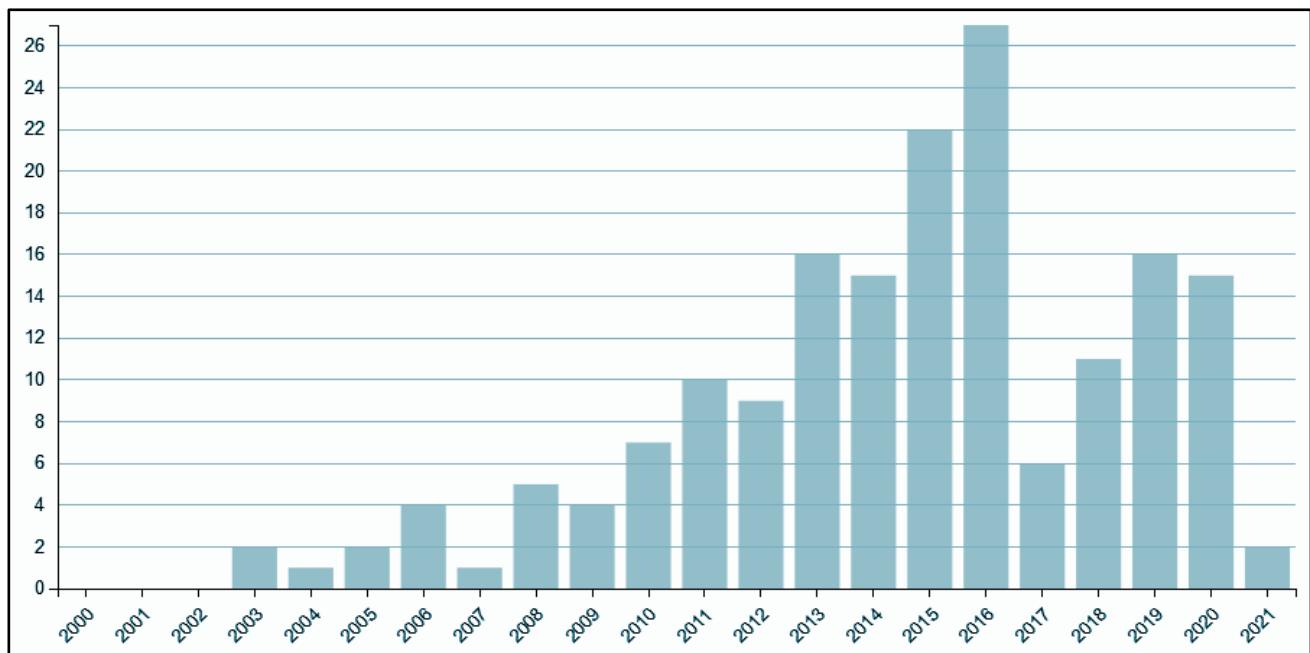
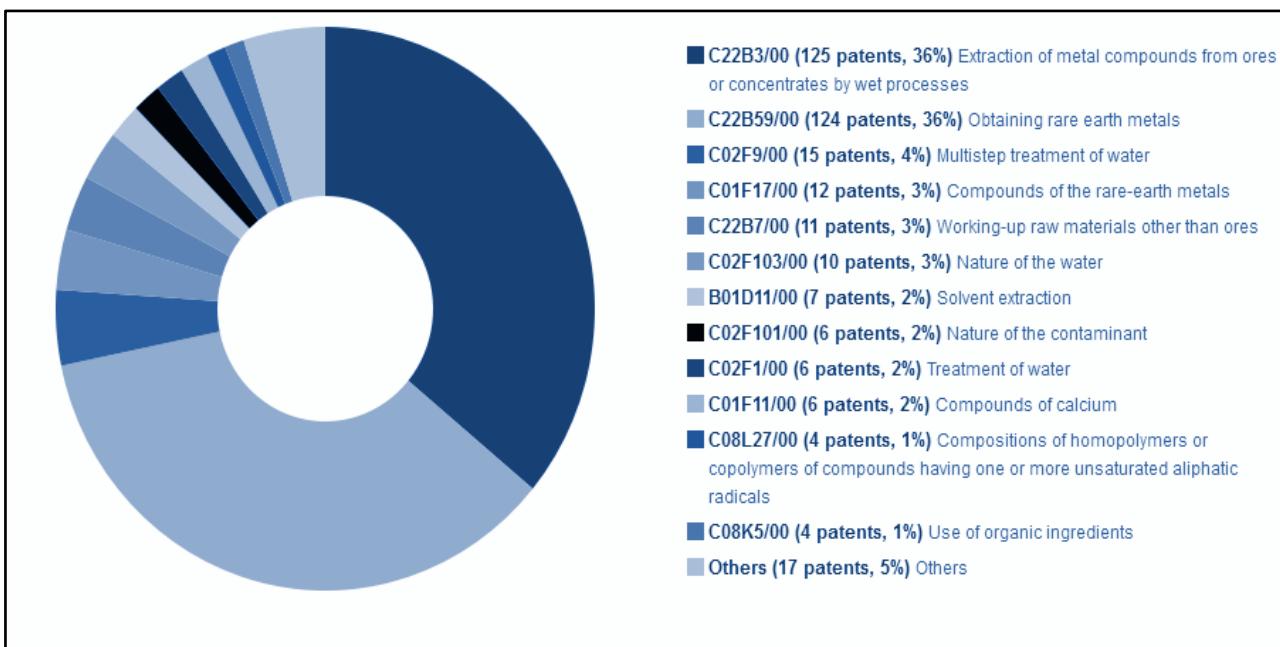


Gráfico 5: Evolução do número de patentes publicadas ao longo dos anos de 2000 a 2021.

Essa preocupação com o meio ambiente, dentre outros assuntos, se torna visível no Gráfico 6. Nele, é possível obter indícios que o assunto de muitas patentes é criar formas de se diminuir os danos causados pela saponificação, pelas mais diferentes formas, como será visto nas taxonomias.



*Gráfico 6: Divisão sobre as diversas formas de diminuir os danos ambientais causados pelo processo de saponificação.*

#### 4. ANÁLISE MESO

A primeira proposta de taxonomias para descrever os 15 artigos analisados se mostrou demasiadamente confusa e foi, em parte, trocada. As taxonomias apresentadas se mostram como resultado de um processo de idas e voltas entre as análises meso e micro, de patentes e artigos. Inspirado na proposta da disciplina de criar um mapa tecnológico, as taxonomias meso e micro foram arquitetadas na forma de fluxograma, no anexo I. A discussão abaixo pressupõe que o leitor está com o fluxograma aberto para consulta.

O grupo de taxonomias relacionados a processo é o mais rico da saponificação de ETR. O que dá tanta importância ao grupo é o que parece ser um período de transição para uma produção mais limpa, dividindo esforços entre substituir completamente a tecnologia de saponificação ou reduzir os impactos de uma técnica já consolidada e com maior custo benefício, a primeira obviamente com caráter de prazo mais longo e a segunda com um horizonte de aplicação mais próximo. Apesar de consolidada, a produção industrial de terras raras numa pureza que permite aplicações práticas é muito recente e, pela natureza da matéria-prima, demanda constante atualização dos parâmetros de processo; dessa forma, a otimização do próprio processo atual de produção, por custo ou pureza, ainda possui muito interesse dos seus desenvolvedores, sendo a terceira frente de atuação, de visão com prazo mais curto.

Quando se trata do grupo de taxonomias de separação de ETR, vemos uma miríade de técnicas que despertam interesse de pesquisa; entretanto, apenas a extração por solvente ganha

destaque quando estritamente associada à saponificação. Não se espera que o cenário mude, porque a extração por solventes já é a técnica mais consolidada e saponificação é uma prática que se deseja evitar no futuro, como mostram as tendências de longo prazo. Dessa forma, desenvolver toda uma nova técnica de separação com uso de saponificação para se tornar competitiva com a extração por solvente, já consolidada, não faria sentido, porque esse processo seria de longo prazo, onde técnicas que façam uso de saponificação provavelmente não atenderão demandas ambientais.

Quanto ao grupo de taxonomias que trata dos objetivos de separação de ETR, vemos um interesse predominante na separação ETR contra ETR. O motivo para isso é claro: o objetivo da saponificação é aumentar a separabilidade entre dois metais pela mudança da dinâmica de troca iônica entre as fases, que se torna mais sensível num extratante saponificado; e esse aumento de separabilidade vem ao custo de um efluente muito mais sujo, gerando encargos sócio-econômico-ambientais para o produtor. Logo, só se há um desejo em aplicar o processo onde essa separabilidade é estritamente necessária: ETR são conhecidos por serem muito parecidos entre si, mas não necessariamente tão parecidos com outros elementos fora do grupo que, porventura, venham a ocorrer junto com eles na natureza ou tenham se tornado parte do licor no processo de tratamento.

De toda forma, ainda se vê vantagens em utilizá-la para separação de outras espécies; com um crescente interesse na reobtenção dos ETR de materiais usados. Essa linha é sobretudo forte em países ocidentais, possivelmente pelo medo de medidas de restrição de exportação de ETR, por parte da China, como a de 2010, que fizeram os preços dos ETR dispararem (Gráfico 7).

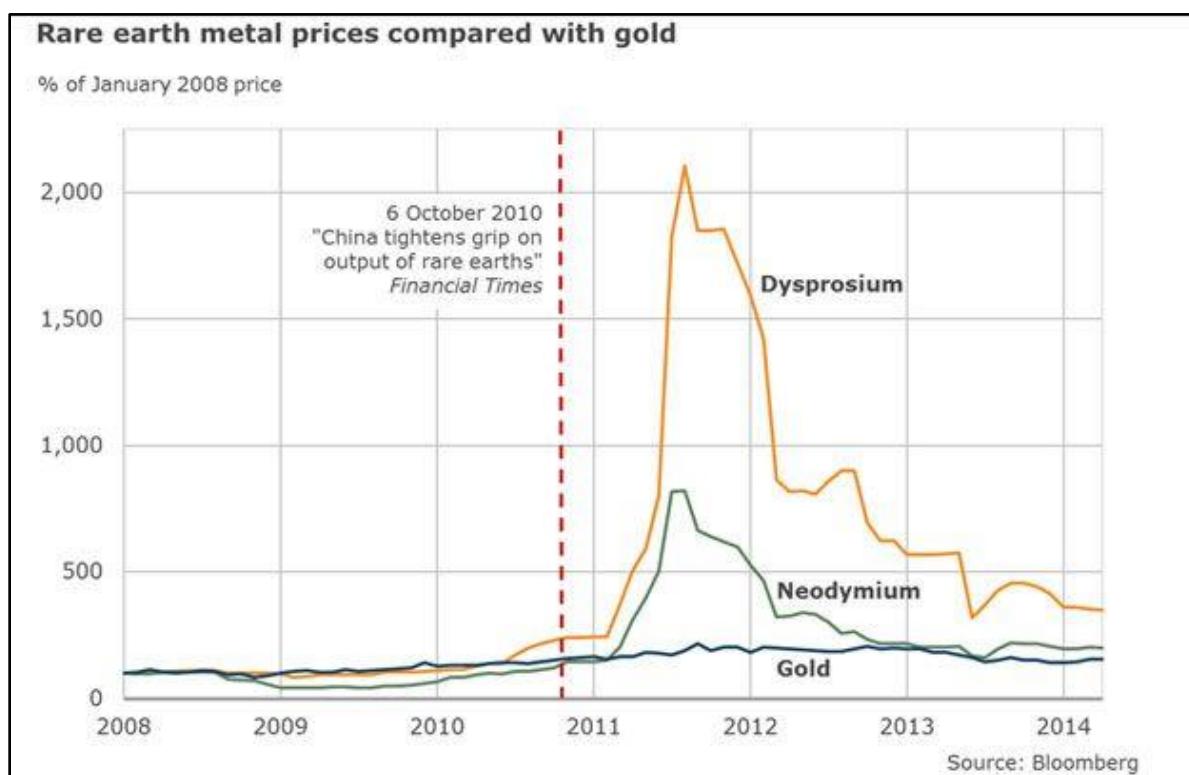


Gráfico 7: Comparativo da oscilação dos preços das ETR com o ouro entre os anos de 2008 e 2014.  
(Fonte: Bloomberg).

No grupo de taxonomias de equipamentos, poucas são as novidades porque os equipamentos de extração por solvente são muito baratos e simples de operar: na maior parte dos casos, um tanque de mistura e um sistema integrado de células de agitação e decantação (mix(er)-settler). Dessa forma, qualquer tentativa de propor novos equipamentos encontra uma barreira de excelência muito alta para ser superada. Além disso, tecnologias emergentes se mostram adaptadas para os equipamentos já presentes. A pesquisa nessa área tem um viés menos ambicioso, no sentido de propor pequenas alterações no *design* de um equipamento ou um arranjo específico deles ou, quando um *software*, uma proposta de controlar ou simular estes circuitos.

O último, grupo de insumos, também levanta pouca relevância frente aos demais porque há pouca novidade nele. Isso faz sentido: desenvolver novas pesquisas para propor e sintetizar um novo extratante, e entender o comportamento do sistema complexo que é um sistema extratante-saponificante-solvente-emulsificante-fase aquosa é trabalhoso, possui um espectro de aplicação muito restrito para cada caso e cairia numa aplicação de curto prazo, caindo no mesmo tipo de contradição envolvida no desenvolvimento de uma tecnologia para competir com a SX e que, ao mesmo tempo, usasse saponificação. Por outro lado, incidentalmente, observou-se que esta é uma área em explosão cambriana para tecnologias emergentes como líquidos iônicos.

Agora comparando artigos e patentes, a primeira tendência facilmente observada pelos números puros é que patentes são mais multipropósito do que artigos, isto é, patentes, em média, estão associadas a mais taxonomias que artigos.

Proporcional a quantidade total de patentes concedidas, publicadas e artigos com orientação a processos, nota-se, pela contagem dos números não repetidos do fluxograma (um trabalho produzido por um *cluster* de entidades conta como um só), que: patentes concedidas lideram na busca da otimização dos processos que envolvam saponificação, patentes publicadas lideram na produção de processos que reduzem os impactos ambientais causados por processos e os artigos possuem uma orientação mais forte para a completa substituição do processo de saponificação.

Quanto aos demais grupos, o aparecimento de outras tendências parece ter pouca relevância preditiva e mais provavelmente são resultados causados pela avaliação de uma amostra pequena.

## 5. ANÁLISE MICRO

Aqui segue a identificação dos players e parcerias mais importantes, por número de aparições. Essa seção também foi escolhida para comentar os números mais relevantes das taxonomias meso que não possuem divisão em micro. Um detalhamento exaustivo será colocado em tabela e uma visualização do cenário mais amplo no *roadmap*. A tabela pode ser conferida nos anexos

II, III e IV. Note que as células na linha “Total” no final de cada planilha não são necessariamente a soma das colunas que as antecedem, porque trabalhos em conjunto se repetem na linha de cada instituição, mas são apenas um trabalho. A partir de agora, assume-se que o leitor está com a tabela disponível para consulta.

Generalizando, processos que almejam a otimização da técnica já existente pela diminuição de custo relativo possuem, por exemplo, uma natureza mais imediatista do que aqueles que buscam alterações mais bruscas, na redução de impactos ambientais. Processos que propõem a não saponificação, mas mantendo a SX, possuem uma base literária e experiência industrial muito mais firme e um nível de inovação menor do que propostas de técnicas completamente novas e sem produção industrial competitiva. A ampla integração entre indústria e empresa permitida pela política de planejamento central da China torna perfeitamente possível a produção de pesquisa com viés tecnológico de curto e médio prazo.

Seguindo a mesma ordem comentada na análise meso, adentrando na taxonomia de processo que visa a substituição completa da saponificação, encontramos taxonomias que respondem a pergunta “Se não se usa saponificação, se usa o quê?”. Fazer essa divisão foi uma das tarefas mais problemáticas de definir as taxonomias, porque a resposta dessa pergunta caberia no grupo de taxonomias de técnica de separação. Ainda sim, a distinção entre um e outro foi feita: no grupo de taxonomias de técnica de separação só entraram processos que utilizavam saponificação. De fato, todos os processos que tinham como proposta a sua não utilização foram condensados nas micros “P1X”.

Essa diferenciação aparentemente redundante se mostrou perspicaz, porque apesar de haver uma grande interseção entre as técnicas passíveis de utilização com saponificação e as que foram propostas sem elas, a distribuição de trabalhos em um e outro caso são bem diferentes. Conforme comentado, a extração por solvente impõe inequivocamente quando saponificação é empregada; quando ela é evitada, vemos um aumento de importância relativa muito grande sobretudo da separação utilizando líquidos iônicos, que parece ser a técnica com maior potencial de criar uma alternativa mais limpa e, ainda assim, competitiva com a extração por solvente, definitivamente merecendo seu próprio roadmap tecnológico. A Academia Chinesa de Ciências (CAS, figura 5) detém todo o avanço na área: no seu braço Xiamen Institute of Rare Earth Materials (XIREM) (usa a logo CAS) lidera a produção de artigos; no seu braço Institute of Process Engineering (IPE, figura 6), ela lidera na aplicação de patentes.

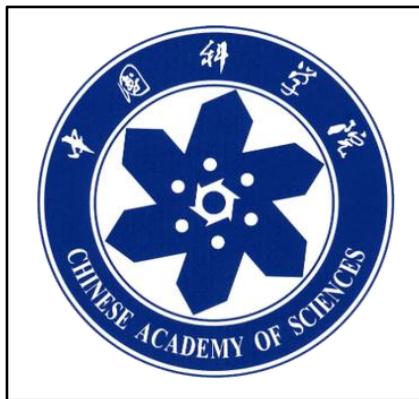


Figura 5: Logotipo da Chinese Academy of Sciences.

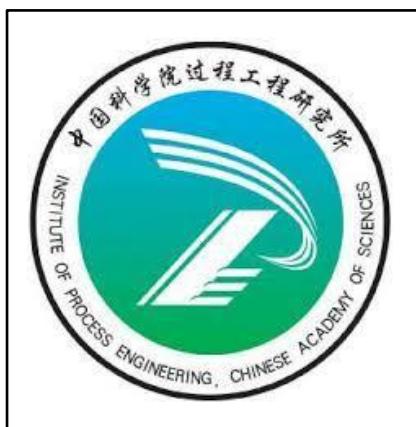


Figura 6: Logotipo do Institute of Process Engineering.

O desenvolvimento acadêmico brasileiro na produção de ETR também está associado a tecnologias alternativas ao uso da saponificação. A tendência por aqui é buscar maneiras mais limpas de se aumentar a separabilidade dos ETR, mas ainda dentro do escopo de extração por solventes. Essa linha de pesquisa é desenvolvida no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM, figura 7). A segunda instituição com investimentos nessa linha é a Grirem Advanced Materials (Grirem, figura 8), uma joint-venture financiada na sua maior parte por institutos de pesquisa. A área se encontra, essencialmente, no escopo de artigos. Aqui, a parceria XIREM-CAS também possui patentes na produção do ETR ítrio, com SX sem saponificação. Patentes na área de extração por solvente que não fazem uso da saponificação também encontram interessados numa técnica específica de agitação, centrífuga, que não usa o misturador-decantador convencional, mas uma adaptação, sendo desenvolvida em parceria do Guangzhou College (Guangzhou, figura 9) com o Hunan Institute (Hunan, figura 10), a Grirem também tem desenvolvido patentes na área, sozinha.



Figura 7: Logotipo do Centro de Tecnologia Mineral.



Figura 8: Logotipo da Grirem Advanced Materials.



Figura 9: Logotipo da Guangzhou University

Quando passamos para os desenvolvimentos que visam diminuir os impactos do processo, vê-se, essencialmente, a aplicação dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar). Reduzir é o melhor cenário e, ao mesmo tempo, o mais desafiador, sendo mais observado nos artigos. Os já mencionados Guangzhou College e Grirem, somados à Companhia de Alumínio da China (CHINALCO, figura 11), a Nanchang Hangkong University (NHU, figura 12) e Deqing Xinbang Co. (DQX, figura 13), detém as patentes publicadas na área de reintegração de rejeitos da própria indústria, ao passo que a CHINALCO também possui uma linha de pesquisa voltada para integração de ganga dolomítica (outra indústria) como saponificante mais barato e mais amigável ao meio ambiente.

A Grirem e a CAS, separadamente, lideram a pesquisa acadêmica para redução dos rejeitos gerados. A Jiangxi University (JXU, figura 14) domina o campo de patentes concedidas e publicadas tanto visando o tratamento quanto a redução dos efluentes. A parceria CAS com os State Key

Laboratories (SKL, figura 15) — laboratórios públicos ou privados financiados diretamente pelo governo — está à frente na produção de artigos no tema de tratamento. Essa parceria divide espaço com a Grire, quando o tema é redução do rejeito.



Figura 10: Logotipo da Hunan University.



Figura 11: Logotipo da Companhia de Alumínio da China.



Figura 12: Logotipo da Nanchang Hangkong University.



Figura 13: Logotipo da Aquisitora da Deqing Xinbang Co.



Figura 14: Logotipo da Jiangxi University of Science and Technology.



Figura 15: Logotipo dos State Key Laboratories.

Agora, nos desenvolvimentos voltados para otimização do processo existente, a NHU é responsável por todas as patentes relacionadas à produção de ETR com altíssima pureza (>99,999%), todas já concedidas. Na diminuição de custo relativo do processo atual, a produção de artigos é liderada pela CAS diretamente e pela parceria CAS-SKL. A parceria CAS-IPE, a NHU, a DQX, a Sichuan Mianning ETR Co. (SMC) — sem logo encontrada — e a parceria Baotou Jingrui Co. (BTJ, figura 16)-Santoku Corp (figura 17). (STK) detém a maior quantidade publicada de patentes nessa área tão difusa. CHINALCO e NHU são as principais donas de patentes concedidas, área também segmentada entre vários outros players.

Passando agora para os tipos de processos utilizados, apenas a extração por solvente possui uma distinção: entre a técnica de mistura-decantação consolidada e a de centrifugação. A última é uma proposta de alteração ao método atual, que promete diminuição do espaço utilizado e melhor transferência de massa entre as fases, mas aumenta a complexidade da operação e o design de

equipamento e menos trivial. Ao que a produção indica, a técnica ainda está em estágio embrionário, mas está sendo observada em processos que não usam a saponificação como comentado acima. Apenas a parceria CAS-BTJ realizou pesquisa utilizando o novo método associado a saponificação. Novamente, NHU se destaca no uso da SX convencional, seguida pela CHINALCO, Grirem e Northeastern University (NEU, figura 18), todas com mais de uma patente concedida, numa área também altamente segmentada. A STK, NHU, JGX, BTJ, CAS e Grirem possuem mais de uma patente publicada. Diferentes parcerias da CAS, com BTJ, SKL e Fujian University (FJU, figura 19) produziram artigos no tema.



Figura 16: Logotipo da Baotou Jingrui Co.

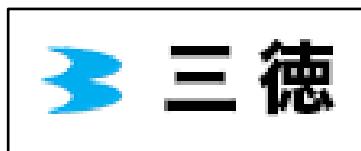


Figura 17: Logotipo da Santoku Corp.



Figura 18: Logotipo da Northeastern University.



Figura 19: Logotipo da Fujian Normal University.

Passando para os objetivos da separação, o interesse em separar ETR x ETR já foi dito como o maior. Dentro desta taxonomia, se vê um interesse maior em buscar maneiras de separar ETR médios e pesados. O provável motivo para isto é a já consolidação das técnicas de separação dos elementos mais leves: os depósitos da China são predominantemente ricos na fração leve, que, por estarem mais concentrados, costumam precisar de menos etapas para sua separação, somado ao fato de haver uma lacuna periódica que facilita o processo, visto que o ETR promécio não ocorre naturalmente, porque ele rapidamente decai em outros elementos. ETR-médios compreendem os ETR mais caros e a otimização do processo atual é tema para muito trabalho, que pela necessidade de concentrá-los antes da separação, que torna o processo mais desafiador em comparação com os primeiros.

ETR pesados atraem interesse pela maior raridade e porque são os mais difíceis de serem separados pela técnica convencional, sendo o campo com maior possibilidade de substituição da SX e, por consequência, onde novas técnicas de separação são incubadas. Já mencionada como a maior interessada em produzir ETR ultrapuros, não surpreende que a NHU seja o player mais relevante na área, liderando em todas as três frentes de separação ETR x ETR, com um grande número de patentes concedidas, ao passo que a CAS possui um número plural e artigos, e a área de patentes aplicadas não possui um player significativo.

A separação entre ETR e não-ETR possui desenvolvimento bem segmentado entre seus participantes, sendo a NEU o único player que se repete na produção de artigos; e a parceria BTJ-STK nas patentes aplicadas e concedidas. O uso de saponificação na lixiviação e recuperação de ETR em produtos usados também são igualmente pontuais e segmentados. Na última, instituições do Japão e Canadá dividem espaço com a colaboração CAS-SKN.

Na taxonomia de equipamentos, existem três diferentes propostas para o que parece ser o mesmo objetivo: melhorar a transferência de massa entre as fases orgânica e aquosa na SX. As patentes geradas pela parceria anteriormente citada entre Hunan e Guangzhou, para desenvolvimento da SX com centrifugação, resultam também em proposta para novos designs de equipamentos para a

técnica. Artigos com propostas para microrreatores têm sido propostos pela parceria CAS-SKN. Por último, artigos da CAS em parceria com a Qingdao Technology University (QTU, Figura 20) tem proposto uma tecnologia que envolve a criação de bolhas entre as superfícies das duas fases para aumentar a área de contato.

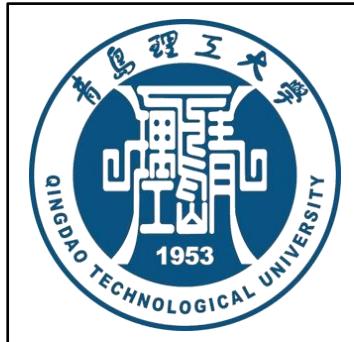


Figura 20: Logotipo da Qingdao Technological University.

Dentro da taxonomia de insumos novos, a pesquisa e desenvolvimento é, essencialmente, acadêmica. Extratantes possuem em seu escopo um viés de longo prazo, pelo tempo que demora para se propor, sintetizar e estudar seu comportamento; saponificantes são moléculas simples e já possuem rotas sintéticas definidas, mas também precisam de seu tempo de estudo para avaliar seu comportamento com extratantes já conhecidos e utilizados, bem como os impactos ambientais.

A parceria CAS-XIREM lidera a produção de novos extratantes; ao passo que a Grirem está estudando o uso de um saponificante mais ambientalmente amigável e amplamente disponível, o bicarbonato de magnésio, presente na dolomita; condizente com seu programa de médio prazo de mitigação dos efeitos da saponificação, citado nas taxonomias de processo, gerando artigos e uma patente, ainda não concedida, na área.

Nota-se que a CHINALCO possui as patentes na área de reintegração mencionada, ao passo que a Grirem desenvolve pesquisas estudando as propriedades do saponificante; entretanto, em nenhum momento se explicita qualquer tipo de parceria entre as duas companhias, um tipo de idiossincrasia que só parece possível na China.

## 6. ROADMAP TECNOLÓGICO

Para o processo de *roadmapping*, foram consideradas apenas as empresas e instituições de pesquisa que produziram ao longo de cada fração do tempo: curto prazo (tabela 3), médio prazo (tabela 4) e longo prazo (tabela 5); ao menos duas patentes ou artigos na respectiva taxonomia em

que ela apareça. Desse modo, foi possível reduzir o escopo para se adquirir mais resolução em meio aos dados levantados, permitindo assim maior clareza em apontar tendências.

*Tabela 3: dados utilizados para a construção do roadmap de curto prazo, baseado na análise de patentes publicadas, mas não concedidas.*

	P13	P14	P21	P22	P24	P31	P32	T11	T2	T5	E11	S11	S12	S13
CAS	2										2			
CHINALCO			2	2		3		2						
GRIREM			2					2						
GUANGZHOU COLLEGE	2										2			
HUNAN INSTITUTE	2										2			
INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING		2				2								
JIANGXI UNIVERSITY					4	4					4			
NANCHANG HANGKONG UNIVERSITY						3	12	12	2			3	7	5

*Tabela 4: dados utilizados para a construção do roadmap de médio prazo, baseado na análise de patentes concedidas.*

	P13	P14	P21	P23	P24	P31	T11	S21
BAOTOU JINGRUI ETR CO					2	2	3	2
CAS		2				3	2	
DEQING XINGBANG			2			2		
GRIREM	2		2				2	
INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING		2				2		
JIANGXI UNIVERSITY				2			2	
NANCHANG HANGKONG UNIVERSITY			2			2	3	
SANTOKU CORP						2	4	2

*Tabela 5: dados utilizados para a construção do roadmap de longo prazo, baseado na análise dos artigos.*

	P11	P14	P23	P24	P31	T11	E12	E13	S11	S22	S4	I1	I2
BAOTOU JINGRUI ETR CO						2							
CAS		7	2	3	7	8	3	2	2		3	2	
CETEM	4					2							
CHINA MINMETALS						2							
FUJIAN UNIVERSITY						2							
GRIREM	2			3		3						3	
Northeastern University						2				2			
Qingdao University of Technology								2					
State Key Laboratories				2	5	7	2						
XIREM		6											

Vale ressaltar que, como as produções para cada taxonomia foram baixas, foi necessário definir uma linha de corte também baixa. Entretanto, é importante que se note que o baixo volume de produções para cada taxonomia sugere um campo ainda pouco explorado, mas em ampla ascensão. Com a construção do roadmap, se espera que a partir do processo de levantamento de informações sobre as patentes concedidas, seja possível inferir tendências de pesquisa e inovação a curto prazo (figura 21); já no caso do *roadmap* construído a partir das patentes já publicadas, porém não concedidas, é possível estimar as tendências de médio prazo (figura 22); com os artigos científicos, podemos então inferir as tendências a longo prazo (figura 23). Por fim, com a análise dos três períodos de tempos, é possível inferir as tendências gerais que se repetem e as parcerias entre os *players* (figura 24).

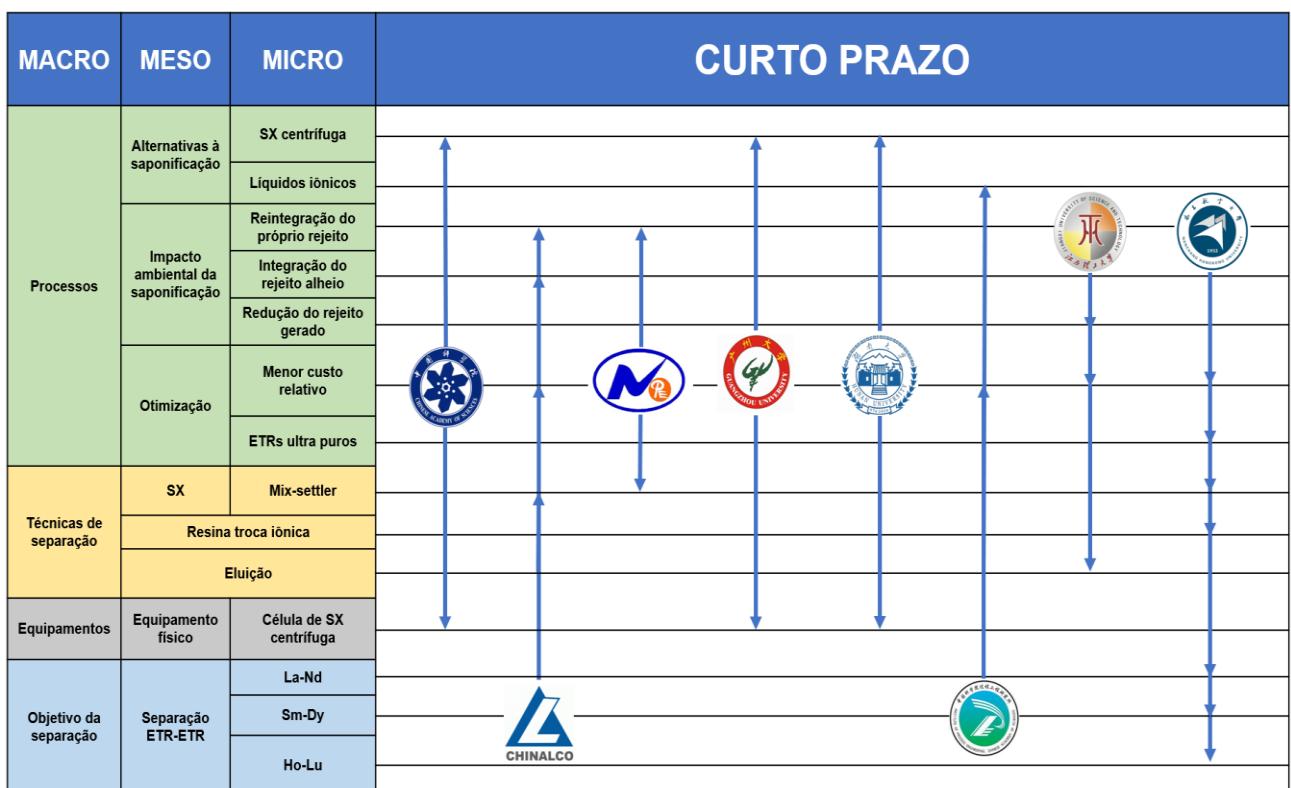


Figura 21: Roadmap demonstrando as tendências a curto prazo.

A curto prazo é possível notar que existe uma maior tendência em pesquisa por processos, sobretudo em alternativas à saponificação e redução dos custos relativos, também é possível notar a pesquisa por equipamentos como bem estabelecida. A curto prazo também é notável o destaque que as pesquisas da CAS desempenham, que alcança a maior abrangência nas áreas de pesquisa macro definidas neste trabalho. Enquanto que a CHINALCO também é um importante ator, embora mais focado na área de processos.

A médio prazo é possível perceber que a pesquisa também se concentra na área de processos, entretanto aqui podemos notar uma maior distribuição entre os atores, sendo impossível apontar algum deles como mais preponderante.

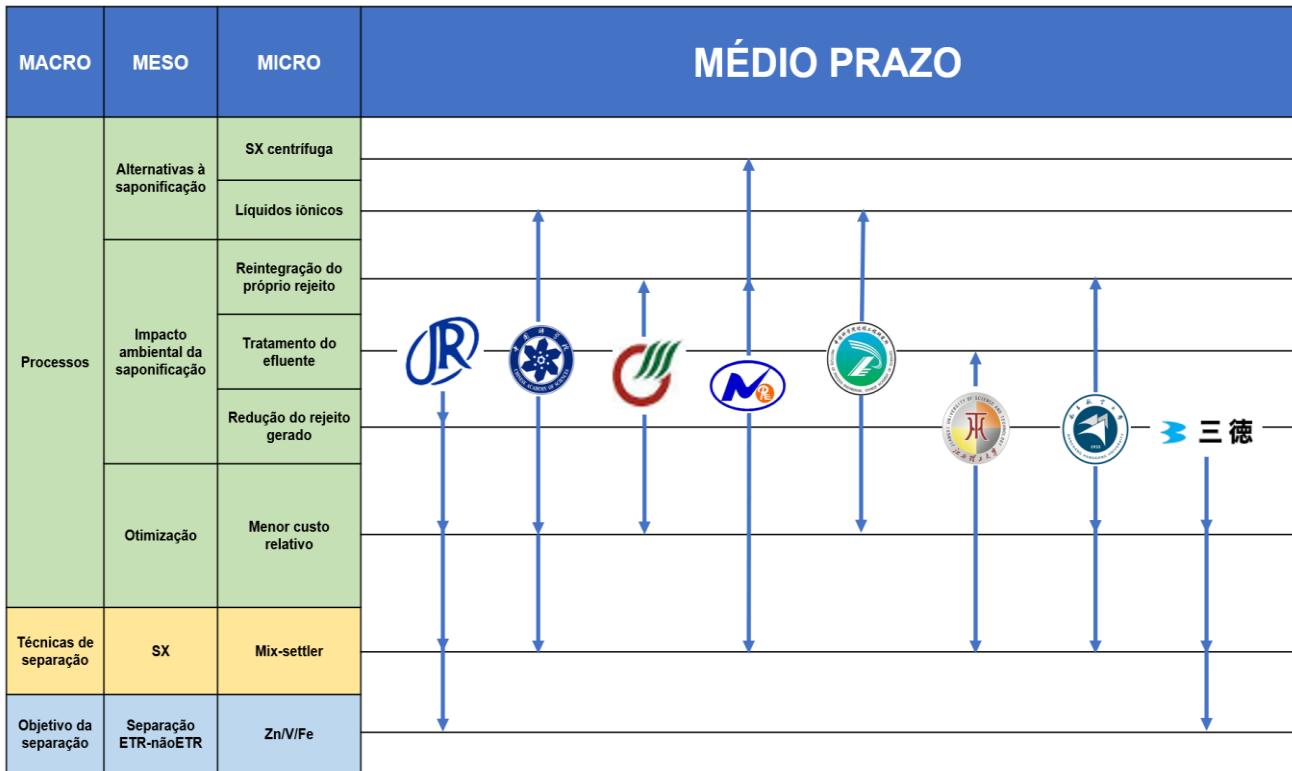


Figura 22: Roadmap demonstrando as tendências a médio prazo.

Já a longo prazo, podemos notar uma distribuição ainda maior do interesse em pesquisa dentre todas as áreas da divisão taxonômica. Novamente, o CAS se mostra o *player* mais influente dentre todos os outros, demonstrando interesse em absolutamente todas as áreas de divisão taxonômica macro. Outros atores importantes são a SKL e a GIREM, com variado interesse dentre as taxonomias.

Com relação ao panorama geral dado pelas frações de tempo postas lado-a-lado é possível inferir as principais tendências ao longo do tempo, sendo aqui possível notar o estabelecimento de CAS e GIREM como os mais fortes *players* ao longo de todo o tempo, é possível também constatar as parcerias entre Guangzhou e Hunan nas áreas de alternativas à saponificação e na pesquisa em equipamentos relacionados à SX; e a parceria entre Bautou e Santoku, focando em diminuir os custos relativos e na separação de ETR de não-ETR; por último, tem-se a NHU com o monopólio intelectual da produção de ETR ultra puros. Há um destaque também para os SKL, despontando a longo prazo na redução dos rejeitos, na redução dos custos relativos, na técnica de separação SX mix-settler e em equipamentos físicos do tipo micro reator de SX; aqui vale relembrar que os SKL são parcialmente financiados pela CAS.

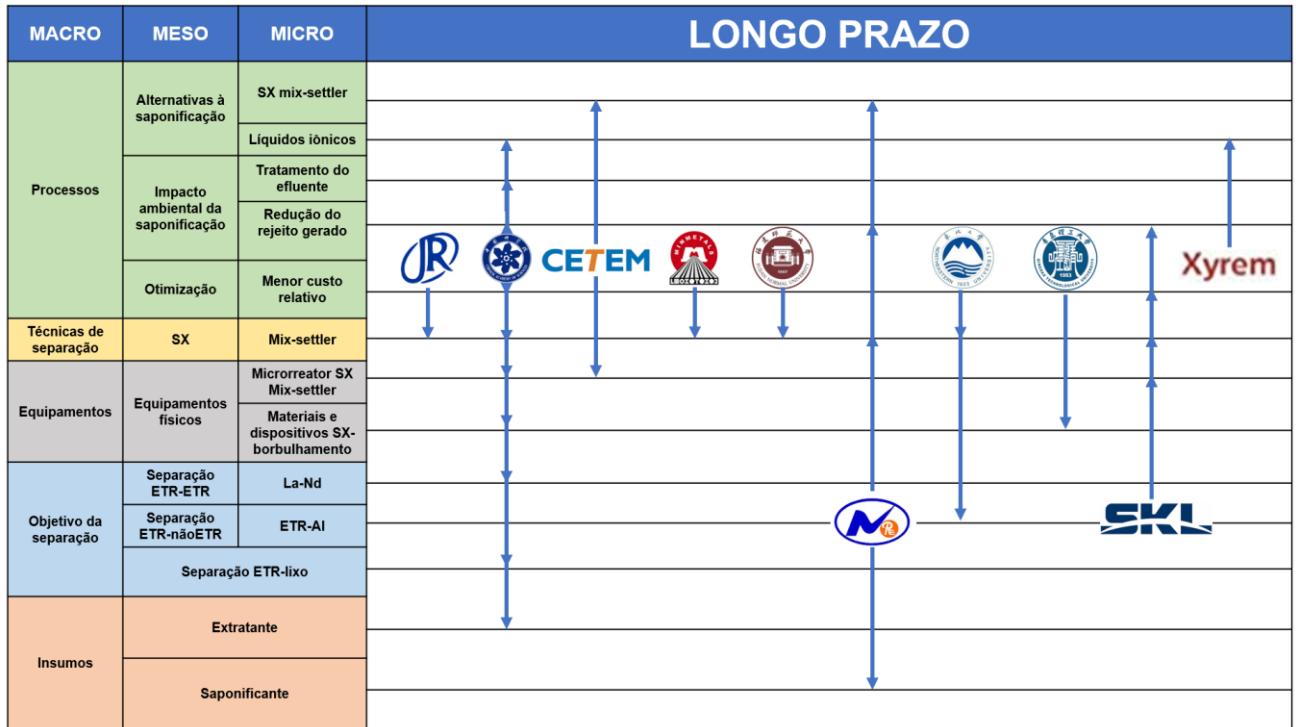


Figura 23: Roadmap demonstrando as tendências a longo prazo.

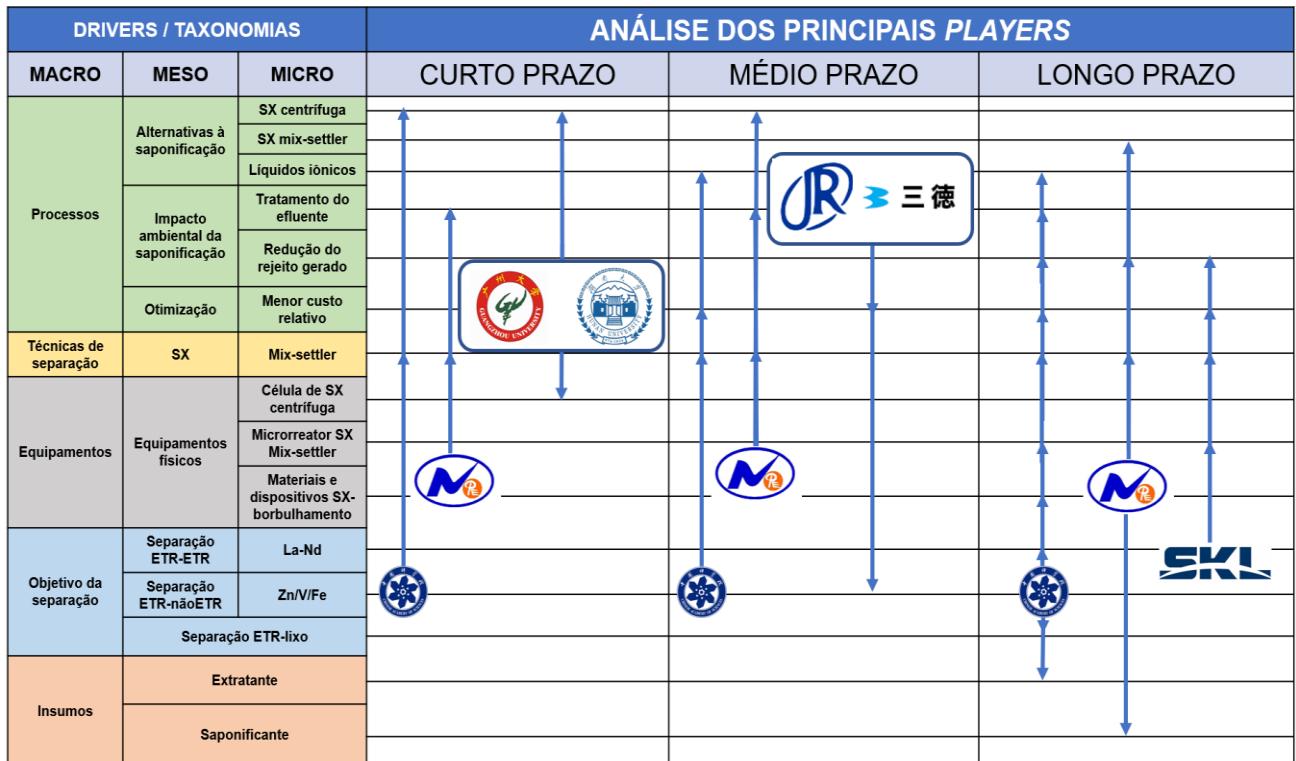


Figura 24: Roadmap demonstrando as tendências gerais dos principais players e as parcerias.

## 7. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Com o roadmap construído, é possível realizar uma avaliação estratégica de quais seriam as tendências na área de saponificação de ETRs. A avaliação estratégica pode ser dividida em análises horizontal e vertical, além da análise de similaridade entre atores.

No primeiro caso, é possível perceber a variação da tendência ao longo do tempo, se as pesquisas em determinada área eram mais comuns no passado e se foram substituídas por novas tendências, ou ainda se continuam gerando interesse em pesquisa e aumentaram com o tempo; já no segundo caso, é possível fazer um recorte temporal e avaliar as tendências dentro de *clusters* de *players*, se determinada empresa ou grupo de empresas e instituições de estudo orientam suas pesquisas em determinada direção durante um intervalo de tempo, podendo assim inferir a tendência localizada por *player* e determinar que tipo de temática está gerando mais interesse em pesquisa; por fim temos a terceira avaliação, a identificação dos diferentes atores que seguem determinada tendência tecnológica, quais áreas despertam mais interesse em pesquisa e como este interesse se comporta ao longo de determinado tempo, se aumentaram ou diminuíram, se mantiveram estáveis ou foram substituídas.

No caso do presente trabalho, foi possível verificar que as taxonomias de processos são claramente as mais relevantes de todas, em termos de valor preditivo: são nelas que se observa mais claramente a tendência pertinente de um processo industrial consolidado, mas que cada vez mais está perdendo espaço devido às demandas socioambientais cada vez mais rígidas.

As linhas de pesquisa que insistem na linha de saponificação possuem dois vieses, o imediatista e o de médio prazo. O primeiro é liderado pelas patentes já concedidas, cujo caráter é voltado para diminuição de custos de processo, que se torna cada vez mais uma necessidade. Atender às demandas ambientais de um processo tão sujo vai se tornando mais caro com o passar do tempo.

Oferecer um produto final de maneira competitiva, sem que aqueles que os seus clientes sejam jogados para fora do mercado ou busquem incessantemente uma alternativa, demanda essa preocupação com o presente. O outro lado da área de otimização, dos ETR ultra puros, pode ver a sua substituição, possivelmente, pela combinação da SX com técnicas que utilizem resinas de troca iônica. Elas são bem conhecidas pelo seu uso na obtenção de altas purezas de ETR pesados, mas que atualmente se restringem apenas aos ETR mais raros, pela pequena capacidade de produção do processo. Vale ressaltar que em qualquer lugar que haja emprego da SX, existe a possibilidade do uso dos líquidos iônicos como substituto aos extratantes convencionais, porque quase todo o restante do processo é semelhante.

O viés de médio prazo também pode ser visto, num certo sentido, como uma tentativa de eliminar custos de lidar com o efluente do processo. Entretanto, o seu diferencial dos demais é reduzir impacto, saindo da esfera meramente econômica e adentrando a ambiental. Os desenvolvimentos nessa área são de extrema importância para que enquanto as tecnologias emergentes não se tornem competitivas, o dano causado seja o menor possível, agindo como uma ponte entre o processo atual e a sua gradual substituição pelos processos futuros. As patentes, tanto publicadas quanto concedidas já refletem essa tendência de mudança, mas a primeira lidera, de forma a indicar que essa é uma percepção relativamente nova.

A ponte que liga o presente ao futuro visa buscar as tecnologias que estão começando a ganhar forma, sobretudo nos artigos mais recentes. Duas frentes parecem as mais importantes, embora esse tipo de previsão seja sempre especulativa: SX não saponificada e a separação utilizando líquidos iônicos. A SX não saponificada ainda poderá ser usada como uma técnica de nicho quando ela atender as especificações de separabilidade e purificação de alguns processos, sendo típica em processos cuja matriz de ETR é rica em um único elemento, como, por exemplo a xenotima brasileira, que é muito rica em ítrio ou para fazer cortes específicos na matriz de separação, como por exemplo o corte neodímio-samário — o mais fácil de todos. A separação utilizando líquidos iônicos pode ser a substituição mais promissora para os processos onde um alto grau de separabilidade é necessário, mas que ainda atente para os padrões cada vez mais elevados de sustentabilidade.

As taxonomias de técnica de separação corroboram para a tendência prevista em processos, porque há um pequeno interesse em desenvolver técnicas de separação competitivas com a SX, que façam uso da saponificação do extratante, de forma que a SX mixer-settler (o equipamento padrão de separação), lidera as técnicas consolidadas.

Alguém com interesse no desenvolvimento da área de separação e purificação de ETR faria bem em acompanhar os trabalhos das parcerias CAS-IPE, CAS-XIREM e CAS-SKL, para ver de perto o desdobramento das tecnologias de líquidos iônicos para o processo. Notou-se, durante a pesquisa, que as duas últimas estão fazendo esforços para sintetizar, estudar e viabilizar novos materiais, ao passo que a primeira possui patentes publicadas e concedidas utilizando-os em processos. Também é altamente recomendável que um próprio roadmap da tecnologia seja feito.

Essa mesma pessoa também deveria se atentar para os desdobramentos das técnicas que não utilizam líquidos iônicos, os dois principais são: a SX que não utiliza o equipamento separador-decantador padrão, mas utiliza de reatores centrífugos com melhor transferência de massa e complexidade de processo e a SX sem saponificação.

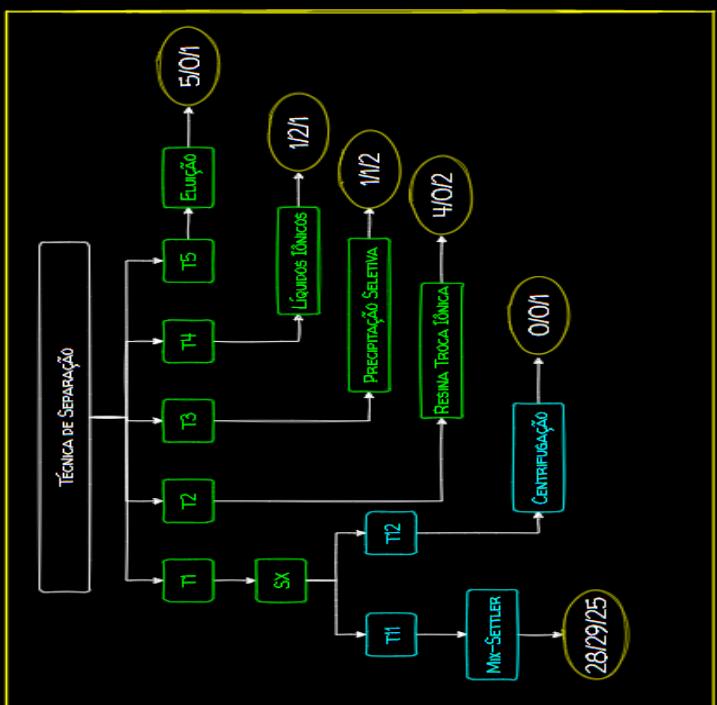
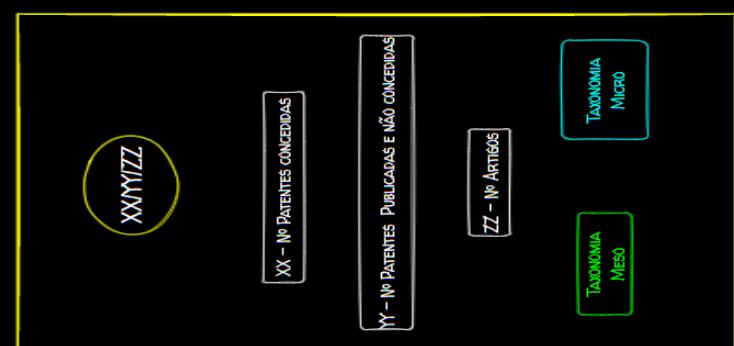
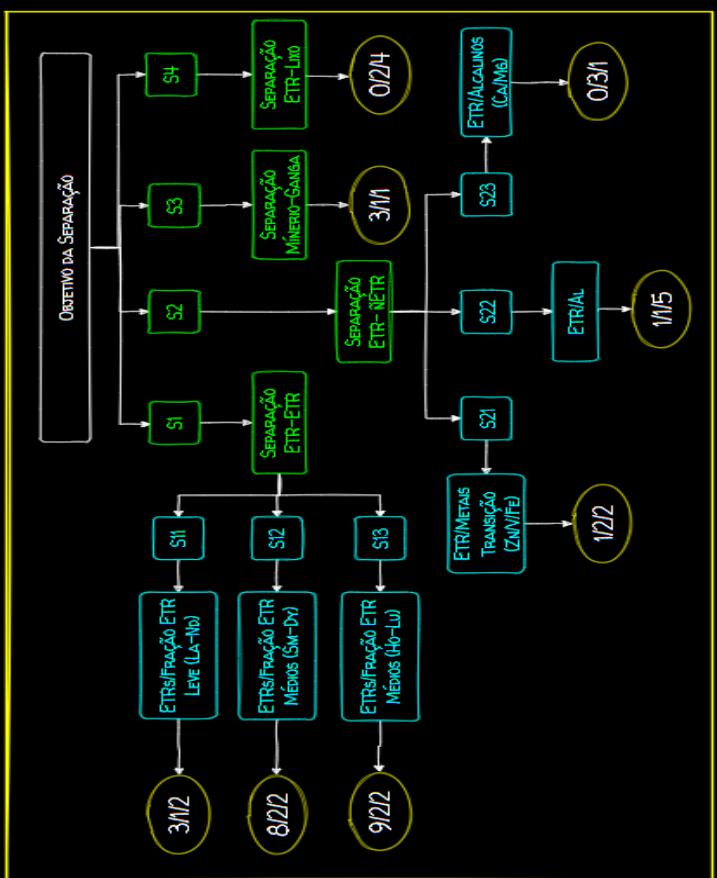
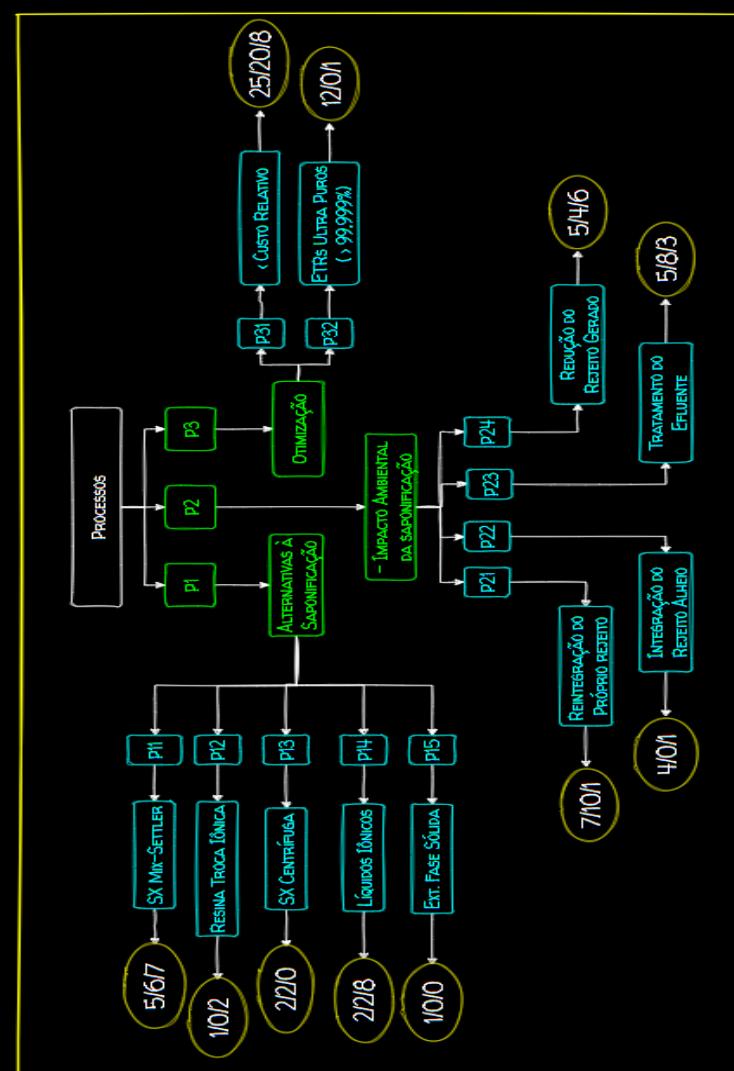
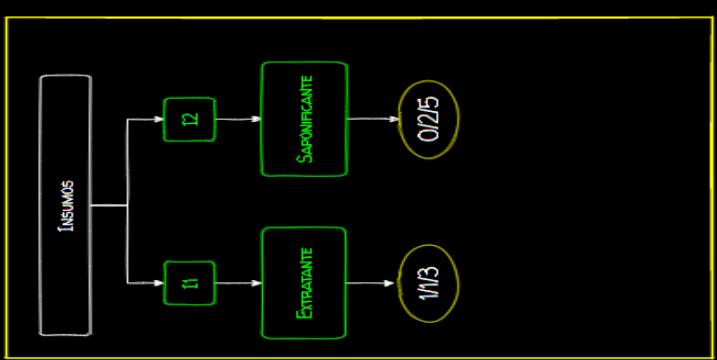
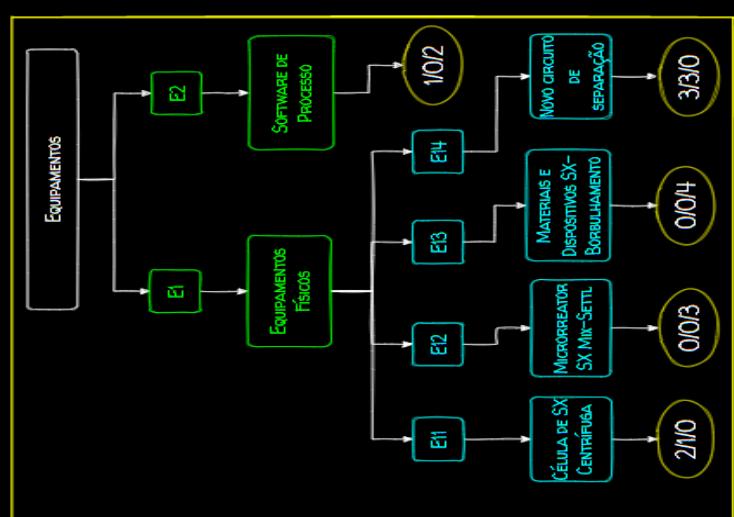
No âmbito da primeira, o interessado deve buscar acompanhar os trabalhos da Girem que, inclusive, está presente na produção de curto, médio e longo prazo de tecnologias mais limpas de processo, da onipresente CAS e a da parceria Guangzhou-Hunan.

Desta última, vale se perguntar o seguinte: “se o agente de saponificação não está sendo usado, o que se pretende usar para aumentar a separabilidade dos produtos de interesse?”. Se a resposta for nada, espera-se que o processo tenha um escopo de aplicação muito limitado e nada inovador. Nos demais casos, deve-se atentar para termos como “emulsificante”, “agente complexante na fase aquosa”, “extratante secundário”, etc., que são propostas de modificação da técnica original para obter uma maior separabilidade dos produtos de interesse, assim como a saponificação. Nessa linha de desenvolvimento, os trabalhos da Girem e do CETEM se destacam. Os trabalhos da Girem, na área, respondem a pergunta acima com “nada”; as linhas de pesquisa do CETEM se dividem entre “nada” e “agente complexante na fase aquosa”.

## 8. REFERÊNCIAS

- GUPTA, C.K; KRISHNAMURTHY, N. Extractive metallurgy of rare earth. Boca Raton: CRC Press; 2005.
- MCLELLAN, B.C. Sustainability of Rare Earths - An overview of the state of knowledge. Minerals, vol. 3, p. 304 – 317, 2013.
- QI, D. Hydrometallurgy of Rare Earths: Extraction and Separation. Elsevier, 2018.
- SUMÁRIO MINERAL 2014. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, vol. 34, março, 2015.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY 2021. Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 200 p.
- Sousa, P. C. D., Galaço, A. R., & Serra, O. A. (2020). Terras Raras: Tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações. *Química Nova*, 42, 1208-1224.

## **9. ANEXO I**



## 10. ANEXO II

	P1	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	E1	E2	S1	S2	S3	S4	H	D							
	P11	P12	P13	P14	P15	P21	P22	P23	P24	P31	P32	T11	T12	E11	E12	E13	E14	S11	S12	S13	S21	S22	S23
1																							
2																							
3	BAOTOU INSTITUTE																						
4	BAOGANG GROUP																						
5	BAOTOU JINGRUI ETR CO																						
6	BLUESTAR ENV ENG CO																						
7	CAS																						
8	CENTRAL SOUTH UNIVERSITY																						
9	CHANGZHOU UNIVERSITY																						
10	CHINA ENFLENG CO																						
11	CHINALCO																						
12	DEQING XINGBANG CO																						
13	GANZHOU HENGYUAN TECHNOLOGY CO																						
14	GANZHOU NONFERROUS INSTITUTE																						
15	GANZHOU TIANHE CO																						
16	GRREM																						
17	GUANGXI NORMAL UNIVERSITY																						
18	GUANGZHOU COLLEGE																						
19	HUMAN INSTITUTE																						
20	INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING																						
21	JIANTHINTAI																						
22	JIANGSU ZHUOBO																						
23	JIANGXI UNIVERSITY																						
24	LONGNAN COUNTY CO																						
25	NANCHANG HANGKONG UNIVERSITY																						
26	NORTHEASTERN UNIVERSITY																						
27	SANTOKU CORP																						
28	XIAMEN GEREE CO																						
29	XIAMEN XITU CO																						
30	XIREM																						
31	YONGZHOU XIANGJIANG																						
32	Total	5	1	4	2	1	7	4	5	5	25	12	28	0	4	1	1	3	8	9	1	0	3

## 11. ANEXO III

		P1	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	E1	E2	S1	S2	S3	S4	I1	I2							
		P11	P12	P13	P14	P15	P21	P22	P23	P24	P31	P32	T11	T12	E11	E12	E13	E14	S11	S12	S13	S21	S22	S23
1																								
2																								
3	ANHUI																							
4	BAOTOU JINGRUI ETR CO																							
5	CAS	1																						
6	CHANGCHUN APPLIED CHEMISTRY	1																						
7	CHANGZHOU UNIVERSITY	1																						
8	CHINA MINIMETALS	1																						
9	CHINALCO																							
10	DEQING XINGBANG																							
11	GANGZHOU HENGJUAN																							
12	GANZHOU NONFERROUS INSTITUTE																							
13	GRIREM																							
14	GUANGXI GUOSHENG																							
15	GUANGXI NORMAL UNIVERSITY	1																						
16	INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING		2																					
17	JIANGSU ZHUJIEBO CO																							
18	JIANGYI UNIVERSITY																							
19	JIANGXI WANNHONG CO																							
20	LIAONING GANGLIGANG																							
21	MITSUBISHI MATERIALS																							
22	NANCHANG HANGKONG UNIVERSITY																							
23	SANTOKU CORP																							
24	SICHUAN KONKA SNOW																							
25	SICHUAN LESHAN ETR CO																							
26	SICHUAN MANNING ETR CO																							
27	STATE KEY LABORATORIES	1																						
28	UNIVERSITY CENTRAL SOUTH																							
29	UNIVERSITY TSINGHUA																							
30	XIREM																							
31	Total	6	0	2	2	0	10	0	8	4	20	0	29	0	0	1	2	2	1	3	0	1	2	1

## **12. ANEXO IV**

		P1	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	E1	E2	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3
		P11	P12	P13	P14	P15	P21	P22	P23	P24	P31	P32	T11	T12	E11	E12	E13	E14
1																		
2																		
3	Ain Shams University																	
4	BAOTOU JINGRUI ER CO																	
5	BEIJING INSTITUTE TECH	1																
6	CAS	1	1	7	1	2	3	7	1	8	1	1	1	1	3	2	1	
7	CETEM																	
8	CHINA MINMETALS																	
9	CHONGMING UNIVERSITY																	
10	FUJIAN UNIVERSITY																	
11	GRIEN																	
12	Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology																	
13	Henan Normal University																	
14	JIANGXI UNIVERSITY																	
15	MCGILL UNIVERSITY																	
16	MEMORIAL UNIVERSITY																	
17	Mohsen National University																	
18	Northeastern University																	
19	Qingdao University of Technology																	
20	Saga University																	
21	State Key Laboratories																	
22	XJEFEM																	
23	Total	7	2	0	8	0	1	1	3	6	8	1	25	1	2	2	2	5