



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005

ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Daniela Sousa Silva

ESTUDO DE APLICAÇÃO DO SPL NA CONFECÇÃO DE MATERIAIS REFRATÁRIOS

Palmas - TO

2015

Daniela Sousa Silva

ESTUDO DE APLICAÇÃO DO SPL NA CONFECÇÃO DE MATERIAIS
REFRATÁRIOS

Trabalho elaborado e apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Mestre Daniel Padilha Setti.

Palmas - TO

2015

Daniela Sousa Silva

ESTUDO DE APLICAÇÃO DO SPL NA CONFECÇÃO DE MATERIAIS
REFRATÁRIOS

Trabalho elaborado e apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Mestre Daniel Padilha Setti
Co-orientador: Prof. Mestre Joaquim Carvalho.

Aprovada em xxxxxxxx de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Daniel Padilha Setti
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Daniel Costa
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp. Valerio Sousa Lima
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2015

Aos meus pais, Adão Pereira Silva e Antonia Erinalda de Sousa que me apoiaram e não medem esforços para que eu possa realizar todos os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter traçado meu caminho de forma tão perfeita e ter me abençoado com saúde, força de vontade e sabedoria para enfrentar todas as dificuldades.

Ao meu orientador Daniel Padilha Setti pelo suporte, orientações, correções e tempo dedicado.

Aos meus Pais pelo amor, confiança e apoio incondicional.

Aos meus irmãos e amigos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e souberam me dá palavras de apoio e incentivo quando precisei.

RESUMO

SILVA, Daniela Sousa. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso II (Graduação) – Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2015.

O presente estudo faz uma análise comparativa entre a autoflotação ácida e básica, para uma melhor recuperação do carvão presente no resíduo de SPL. Resíduo este, que é gerado na produção primária de alumínio, não possui destinação viável e quando em contato direto com o meio ambiente pode acarretar sérios danos. Perante isso, o trabalho também estuda uma forma de aplicar o resíduo, após o tratamento que se mostrar mais eficiente, em pastilhas refratárias dando assim uma destinação viável ao resíduo e diminuindo a poluição visual que o mesmo gera, visto que sua atual destinação são aterros industriais. O resíduo passou por processo de cominuição, classificação granulométrica, autoflotação ácida ou básica e posteriormente a parte não autoflotada foi aplicada na confecção de pastilhas. Nos processos de autoflotação o material foi trabalhado com 3 variações de porcentagem de material seco, para 1L de solução. As porcentagens utilizadas foram de 10% ,12% e 15%. A Autoflotação ácida com a utilização de 15% de SPL foi onde se obteve uma maior recuperação de carvão, já na autoflotação básica a polpa com a utilização de 12% de SPL, foi onde ocorreu a maior recuperação de carvão possível de se recuperar. A autoflotação ácida se mostrou mais eficiente para a recuperação do carvão e conseqüentemente o material provindo do tratamento ácido, foi o utilizado na confecção das pastilhas refratárias. Os dados serão apresentados em forma de tabelas e gráficos comparativos.

PALAVRAS-CHAVE: Spent Pot Lining, Autoflotação, Impacto Ambiental.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	História do alumínio	14
2.2	Lavra do Alumínio	15
2.3	Beneficiamento do Alumínio	16
2.4	Produção de SPL	19
2.4.1	Disposição Final do SPL	20
2.4.2	Riscos do SPL ao Meio Ambiente	21
2.4.3	Tratamento do SPL	22
2.4.3.1	Separação física	23
2.4.3.1.1	2.4.3.1.1 Separação em Meio denso	23
2.4.3.2	Separação Química	24
2.4.3.2.1	2.4.3.2.1 Processo de Flotação	24
2.4.3.2.2	2.4.3.2.2 Processo de Autoflotação	25
2.4.3.2.3	2.4.3.2.3 Processo de Autoflotação Alcalina – Alcan Primary Metal	25
2.4.3.2.4	2.4.3.2.4 Processo Cashman	26
2.4.3.2.5	2.4.3.2.5 Processo autoflotação ácida e precipitação	26
2.4.3.3	Processo térmicos	27
2.4.3.3.1	2.4.3.3.1 Processo de temperaturas médias: 500 – 850°C	27
2.4.3.3.2	2.4.3.3.2 Processo térmicos a alta temperatura: 1100 – 1300°C	30
2.4.4	Aplicação do SPL	32
2.5	Materiais Refratários	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	Cominuição	34
3.2	Classificação Granulométrica	34
3.3	Preparo das Soluções para Autoflotação	35
3.4	Autoflotação Ácida	36
3.5	Autoflotação Básica	36
3.6	Flotação	37
3.7	Confecção de Pastilhas Refratarias	38
3.7.1	Sinterização das Pastilhas	39
3.7.1.1	3.7.1.1 Rampa de Aquecimento	39
3.7.1.2	3.7.1.2 Tempo de resfriamento da temperatura:	39

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	Cominuição	40
4.2	Autoflotação Ácida.....	41
4.3	Autoflotação Básica.....	42
4.4	Flotação	44
4.5	Pastilhas Refratárias	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
5.1	Conclusões	50
5.2	Sugestões.....	50
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela I - Insumos para a produção de 1t de Alumínio primário.....	19
Tabela II - Massa para os processos de Autoflotação Ácida, Autoflotação Básica.	34
Tabela III - Equipamentos utilizados para preparo de soluções.....	35
Tabela IV - Flotação para a polpa de 15% com 50g de material seco.	37
Tabela V - Pastilhas Refratarias	38
Tabela VI - Dados Autoflotação Ácida	41
Tabela VII - Dados Autoflotação Básica.....	42
Tabela VIII - Recuperação na Flotação	45
Tabela IX - Dados Pastilhas Refratárias 850°C	46
Tabela X - Dados Pastilhas Refratárias 1000°C.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma básico de uma refinaria de alumínio.....	17
Figura 2 - Diagrama de uma célula para redução de alumínio primário	18
Figura 3 - Separador em meio denso Tri-flo	24
Figura 4 - Fluxograma do processo Regain Technologies	29
Figura 5 - Pastilhas após a queima de 850°C	46
Figura 6 - Pastilhas após a queima de 1000°C	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Classificação Granulométrica	40
Gráfico 2 - Média de recuperação no tratamento ácido.....	43
Gráfico 3 - Média de recuperação no tratamento básico	43
Gráfico 4 - Recuperação Média dos Tratamentos	44
Gráfico 5 - Retração Linear entre as temperaturas	48

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ABAL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

NBR – NORMA BRASILEIRA

SPL – SPENT POT LINER

DRX – DIFRAÇÃO DE RAIOS X

RGC – REVESTIMENTO GASTO DE CUBAS

G – GRAMAS

1 INTRODUÇÃO

Anualmente são produzidas milhões de toneladas de alumínio, para ser utilizado como matéria na construção civil, na fabricação de eletrodomésticos, embalagens, moveis e entre outros. No entanto o aproveitamento da bauxita não é 100%, tendo perdas no decorrer do processo para a purificação do alumínio. Durante o processo de beneficiamento é gerado um volume elevado de resíduo que é considerado perigoso pela Agencia Brasileira de Normas Técnicas.

O resíduo gerado durante a produção primaria do alumínio, para a obtenção de alumínio é composto majoritário constituídos por cianetos, o que o tornando-se nocivo para a saúde humana e para o meio ambiente. Muitos estudos buscaram realizar a aplicação deste resíduo na produção de outra matéria ou tentaram fazer um melhor aproveitamento durante a fase de beneficiamento para evitar a geração do Spent Pot Liner, porém não foi encontrada nenhuma alternativa viável para aplicação do mesmo e atualmente a única destinação são os aterros industriais.

O presente trabalho apresenta uma comparação entre a recuperação via processos de autoflotação ácida e básica e tentou reutilizar o resíduo de SPL aplicando-o na confecção de pastilhas refratarias capazes de suportar altas temperaturas. O pressuposto do presente trabalho é que realizando estes tratamentos a quantidade de resíduos nocivos ao meio ambiente seria reduzida, proporcionando também a redução do impacto visual. Todos esses procedimentos foram realizados, com o intuito de viabilizar uma aplicação para o Spent Pot Liner, para que o mesmo deixe de ser apenas disposto em aterros, se torne menos agressivo ao meio ambiente e não proporcione perigo a saúde humana. Aplicação estudada neste trabalho para resíduo foi a aplicação do mesmo em pastilhas refratarias capaz de suportar altas temperaturas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 História do alumínio

O elemento “alumínio” é encontrado na crosta terrestre na forma de óxido de alumínio (Al_2O_3), e as reservas minerais são quase ilimitadas. De acordo com os dados da ABAL (2007) o minério industrial mais importante é a “bauxita”, com um teor de óxido de alumínio entre 35% a 45%; seus depósitos minerais encontram-se principalmente nas regiões tropicais e, no Brasil, o maior número de ocorrências é na área amazônica.

Segundo Santana (2013), em 2012 as reservas mundiais de bauxita somaram 25,8 bilhões de toneladas. O país que contém o maior número de reservas é a Guiné com 7,4 bilhões de toneladas, em segundo lugar aparece a Austrália com 6 bilhões de toneladas, seguida pelo Vietnã com 2,1 bilhões de toneladas, Jamaica com 2 bilhões de toneladas e Indonésia com 1 bilhão de toneladas. No Brasil, as reservas lavráveis são da ordem de 590 milhões de toneladas, localizadas principalmente no Estado do Pará.

Ainda segundo Santana (2013), a produção mundial de bauxita atingiu em 2012 cerca de 260 Mt, sendo a Austrália o maior produtor, com cerca de 73Mt ou 28% da produção industrial. Em segundo lugar aparece a China com 18,4%, seguida pela Indonésia com 11,5%. Índia e Guiné produziram cerca de 7,7% e 7,3% respectivamente. O Brasil foi responsável pela produção de 33Mt ou 12,7% da produção mundial, o que demonstra estabilidade da produção ante 2011.

De acordo com a Revista Alumínio (2007) a produção de alumínio no Brasil tem crescido a uma média de 3,9% por ano, sendo que 3,2% representa a produção do metal primário e 10% correspondem a reciclagem. Porém o consumo dos produtos derivados do alumínio teve uma elevação maior que a produção, o que ocasionou um aumento de 10,4% ao ano nas exportações. Devido ao aumento das exportações aumentou-se também a oferta dos produtos com um ritmo de 7% anualmente. É válido ressaltar ainda que a essa expansão da industrial se deu em ambiente econômico baixo, o que leva a crer que em um ambiente com crescimento alto a produção e/ou exportações podem aumentar suas taxas.

2.2 Lavra do Alumínio

A lavra do alumínio consiste na extração do minério propriamente dita. Antes da extração, a camada superior do solo (com espessura variando entre 10 a 50cm) é removida e armazenada, para uso posterior no processo de recuperação da área lavrada. A bauxita geralmente se encontra depositada próxima à superfície, numa camada que varia de 2 a 10 metros de espessura. (MOURA; FERREIRA; FUKUSHIMA, 2008)

De acordo com o CETEM – Centro de Tecnologia Mineral (2008), a lavra pode ser realizada a céu aberto ou por lavra subterrânea. A céu aberto pode ser lavrado métodos de lavra por bancadas em cava, por bancadas em encosta ou método por tiras. A lavra subterrânea da bauxita quase não é realizada, devido a típica formação do corpo de mineral, que torna a lavra a céu aberto mais viável.

A alumina é retirada da bauxita, por meio do processo de redução e é transformada em alumínio. A produção é realizada por uma série de reações químicas. O tratamento deste minério vai depender da sua concentração, que dependendo da mesma pode exigir técnicas mais elaboradas, reações químicas mais fortes ou diferentes tipos de reagentes. (MOURA; FERREIRA; FUKUSHIMA, 2008)

A bauxita também é formada por um processo químico natural. O processo de formação da mesma é proveniente da infiltração de água em rochas alcalinas em decomposição. A bauxita pode ser encontrada próximo à superfície com uma espessura média de 4,5 metros. A extração da bauxita realizada na maioria das vezes a céu aberto com o auxílio de retroescavadeiras. (MOURA; FERREIRA; FUKUSHIMA, 2008)

A extração da bauxita é realizada com o auxílio de equipamentos como escavadeiras ou retroescavadeira, que permitem que se trabalhe o terreno a diferentes profundidades, para que haja o melhor aproveitamento possível do minério disponível e menor dano ao solo. Após a extração do minério, o mesmo é levado para a usina de beneficiamento, através de caminhões basculantes ou correias transportadoras. (MOURA; FERREIRA; FUKUSHIMA, 2008)

2.3 Beneficiamento do Alumínio

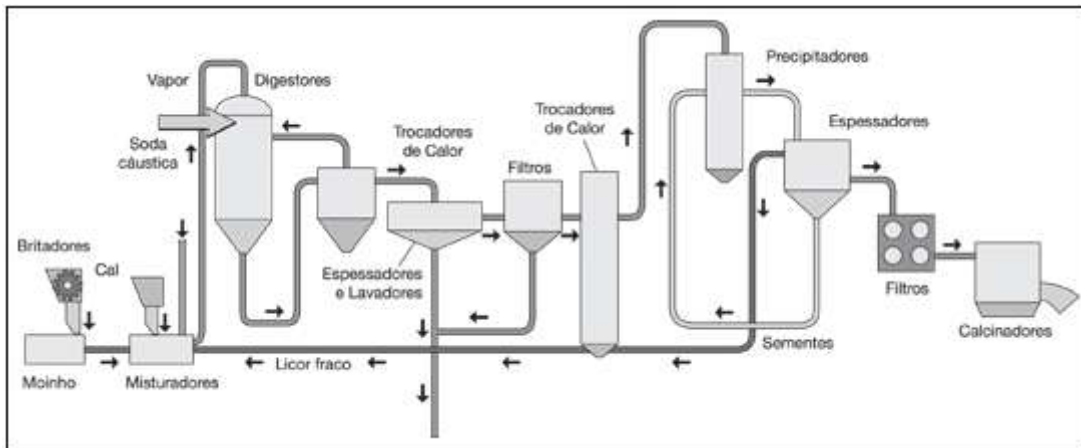
O beneficiamento do alumínio se inicia com um conjunto de operações de redução denominado cominuição. Segundo Chaves e Peres (2012) estas operações servem para reduzir o tamanho de partículas minerais e são realizadas de forma controlada para se atingir o objetivo principal com eficiência, pois existem exigências com relação ao tamanho para se evitar a geração de quantidades excessivas de finos.

Os processos de britagem e moagem são as operações fundamentais da cominuição. Essas operações tem como objetivo principal a redução do tamanho das partículas. As duas operações se diferem na redução da faixa granulométrica que elas podem proporcionar. Por exemplo, a britagem reduz as partículas por compressão ou impacto e é mais utilizada para a redução de partículas grosseiras, já a moagem é mais utilizada na redução partículas mais finas e utiliza de mecanismos de abrasão e quebra de arestas. (CHAVES; PERES, 2012).

Para a transformação da bauxita em alumina, é necessário que o minério bruto passe por algumas fases. “As principais fases da produção de alumina, desde a entrada do minério até a saída do produto, são: moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação.” (ABAL, 2007)

A indústria de alumínio utiliza com maior expressividade o processo químico Bayer, para a obtenção do alumínio através da bauxita. Este processo utiliza o hidróxido de sódio para dissolver a alumina, e posteriormente o material é filtrado, afim de que se separe todo o material sólido. O material filtrado é concentrado para a cristalização da alumina. O material cristalizado é secado e calcinado para que toda a água seja expelida do mesmo. O pó branco de alumina é enviado para a Redução, onde o mesmo passara por um processo de eletrólise também conhecido como Hall-Hérault, afim de que se obtenha o alumínio. Na figura 1, é possível observar as etapas fundamentais de uma refinaria de alumínio. (ABAL, 2007)

Figura 1 - Fluxograma básico de uma refinaria de alumínio



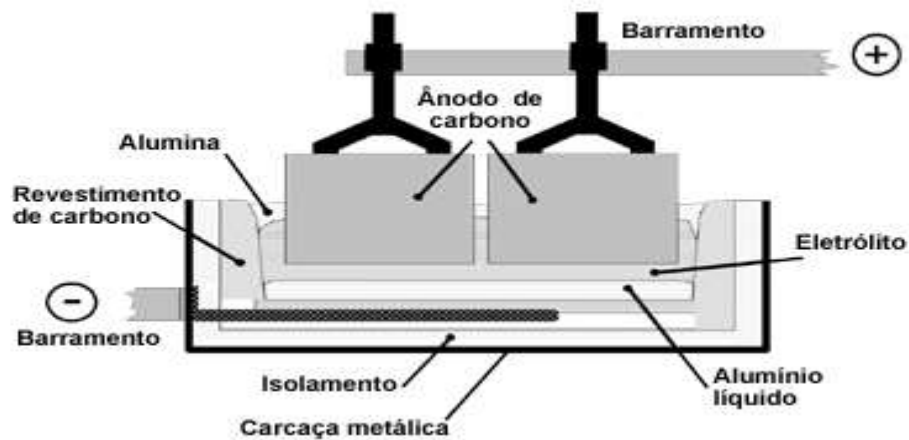
Fonte: ABAL – 2007

A figura 1, descreve de maneira prática os processos básicos para tratamento da bauxita até o refino do alumínio. Nestes processos são utilizados equipamentos como: britadores e moinhos, que realizam a cominuição do material, reduzindo as partículas, para que as mesmas adequem sua granulometria; misturadores que agregam as partículas umas as outras para que em seguida passem para os espaçadores e lavadores onde o material será lavado e preparado para a flotação. (ABAL, 2007)

“No processo de eletrólise, para obtenção do alumínio, a alumina é carregada de forma controlada, em um eletrólito fundido, formado por sais de criolita e fluoreto de alumínio.” (Associação Brasileira do Alumínio, 2007, p.6)

Durante a fase na célula eletrolítica, o material recebe a passagem de uma corrente elétrica, que produz: a redução da alumina, a decantação do alumínio no fundo da célula e libera o oxigênio para que o mesmo reaja com o ânodo de carbono e forme o dióxido de carbono. A figura 2 demonstra de forma prática o processo de redução na célula eletrolítica. (Associação Brasileira do Alumínio, 2007)

Figura 2 - Diagrama de uma célula para redução de alumínio primário



Fonte: ABAL - 2007

Para a obtenção de alumínio primário, o material passa por processos de cominuição, adensamento e em seguida é submetido a processos de redução, em células eletrolíticas. Como mostrado na figura 2, estas células possuem carcaças metálicas com revestimento de carbono. As mesmas possibilitam a separação entre alumina e alumínio líquido. Dentro das células ocorre a passagem de uma corrente elétrica que proporciona a separação do alumínio e o mesmo se deposita no fundo da célula, posteriormente esse alumínio é recolhido e alocado em cadinhos que são destinados a fornos e após passarem pelos fornos o metal é destinado a produção de produtos derivados do mesmo. (ABAL, 2006/2007).

De acordo com Prado (2008, p.2), “para a obtenção de 1 quilograma de alumínio primário são consumidos em torno de 5 quilogramas de bauxita e outros importantes insumos.”. Estes insumos são fundamentais para o processo de eletrolise, na fase de redução, para obtenção de alumínio primário.

Os principais insumos para produção de alumínio primário durante o processo de Redução são indicados na tabela I:

Tabela I - Insumos para a produção de 1t de Alumínio primário

<i>Alumina</i>	<i>1919 kg/t</i>
<i>Energia elétrica</i>	15,0 MWhcc/t Al
<i>Criolita</i>	8,0 kg/t
<i>Fluoreto de alumínio</i>	19,7 kg/t
<i>Coque de petróleo</i>	0,384 kg/kg Al
<i>Piche</i>	0,117 kg/kg Al
<i>Óleo combustível</i>	44,2 kg/t

Fonte: ABAL - 2007

Estes insumos citados na tabela I, são de suma importância para todas as fases, desde o tratamento da bauxita até o refino do alumínio. São eles que possibilitam as inúmeras reações químicas e possibilitam a transformação de bauxita para alumínio. Por exemplo, a energia elétrica é utilizada como fonte de energia dentro da refinaria de alumínio, já os outros insumos citados na tabela são utilizados nos procedimentos de beneficiamento.

2.4 Produção de SPL

Durante a produção primária de alumínio são gerados dois resíduos: escórias e SPL. As escórias podem ser utilizadas para obtenção secundária de alumínio já o resíduo de SPL que é gerado durante a produção primária de alumínio é destinado para aterros industriais, visto que ainda não existe uma utilização viável para o mesmo. (PRADO, 2008)

Segundo Acero (1999), os revestimentos das células de eletrólise têm de ser completamente removidos e trocados periodicamente. Este material que é originado durante a remoção dos revestimentos recebe o nome de Spent Pot Liner ou simplesmente SPL. Esses revestimentos são compostos de uma camada isolante de escórias e uma camada de carvão, que serve de cátodo na eletrólise em banho de fusão. Os mesmos apresentam, nele agregados, fluoretos e cianetos, tornando-os um limitante ecológico. Segundo o catálogo europeu de resíduos, o SPL é classificado como resíduo controlado pela vigilância. O SPL é classificado como resíduo perigoso de acordo com as normas da ABNT, especificamente com a norma NBR 10004/04.

Anualmente é estimado uma geração de 1 milhão de toneladas de SPL, levando em consideração a produção global. Uma parte considerável do resíduo produzido desde o início

da fabricação do alumínio, vem sendo alocado em aterros industriais, sem uma aplicação ou reutilização. Este fato gera material inativo, transtornos ambientais e necessita de uma aplicação econômica e ambientalmente viável. (PRADO, 2008)

2.4.1 Disposição Final do SPL

Conforme Prado (2008), atualmente não existe nenhuma aplicação economicamente viável para a aplicação do resíduo de SPL. A maioria dos métodos de inertização acaba gerando mais resíduo que a situação de referência, e alguns processos desenvolvidos que consomem totalmente o SPL ainda apresenta problemas técnicos e econômicos para sua consolidação. “O que faz com o que mesmo seja destinado a aterros industriais. Os mesmos devem cumprir exigências da ABNT, por se tratar de um resíduo extremamente nocivo a saúde e ao meio ambiente.” (PRADO, 2008, p.16)

Em setembro de 1998 a EPA (2000), sob decreto 63 FR 51254, oficializou uma proibição determinando que o Spent Pot Liner não pode ser disposto em aterros, que não atendam as condições necessárias para alocar o resíduo. Este determina que seja feita uma destruição ou imobilização dos compostos perigosos contidos no SPL.

As áreas, contêiner e/ou espaços designados para a armazenagem do SPL têm que ser espaços ventilados, mantidos nas condições mais secas possíveis para prevenir a formação e acumulação de concentrações explosivas de hidrogênio e metano; e a formação de amônia (NH₃) e fosfina (PH₃). As concentrações destes compostos têm que ser mantidas em valores menores que os limites máximos permissíveis. Devido a estas razões monitorar as concentrações desses gases é muito importante. Lazarinos (2007 *apud* COOPER et al., 2006 e ALCOA, 1998)

De acordo com Prado (2008, *apud* ALCOA, 1998), “algumas alternativas veem sendo desenvolvidas e/ou estão em desenvolvimento para uma melhor e mais adequada disposição do SPL, elas são:”

- a. Aterros industriais, estes precisam atender a todas as normas com relação a construção e projeção;
- b. Inertização dos resíduos, neste processo o resíduo é tratado em forno a altas temperaturas;
- c. Recuperação de constituintes, neste caso o SPL é cuminuido e posteriormente submetido a reações químicas, para que seja autoflotado;
- d. Reciclagem, parte do material tratado pode ser utilizado na confecção de anodos pré-codios, devido ao seu alto teor de carbono.

- e. Reutilização em outros processos, após ser tratado, parte do resíduo pode ser utilizado na siderurgia e outra parte é descartada para aterros industriais;

Obedecendo as determinações, segundo Lazarinos (2007 *apud* ALCOA 1998), “a armazenagem temporária do SPL em contêiner ou em construções, têm que estar projetadas e operar para:”

- a) O SPL deve ser armazenado em condições secas.
- b) Deve-se evitar o acúmulo de gases nocivos como amônia e fosfina e gases explosivos, bem como: hidrogênio e metano, acima dos limites permitidos;
- c) Deve-se evitar a evasão de pó de SPL ao meio ambiente;
- d) Determinar que somente o pessoal autorizado e preparado poderá adentrar no local de armazenagem do SPL;
- e) Tomar as medidas cabíveis, para se evitar o contato do SPL com ácidos, por que pode gerar ácidos em concentrações letais;

De acordo com Prado (2006) o SPL também “[...]conhecido como “lama vermelha”, é depositado em bacias de decantação, devidamente isolado onde o sólido é decantado e o líquido alcalino é reaproveitado no processo industrial.”

2.4.2 Riscos do SPL ao Meio Ambiente

Conforme Prado (2008, p.15) existe um elevado consumo de energia para a produção de alumínio, o que já causa um grande impacto ambiental. Parte dessa energia utilizada é de combustíveis fósseis e no Brasil grande parte dessa energia provém de hidrelétricas, que apesar de ser uma fonte de energia natural também causa impacto ao meio ambiente. Em adjunto à essa geração de energia, tem-se ainda o processo industrial para o tratamento da bauxita e geração de alumina que também é responsável pela geração de gases nocivos na atmosfera. Na refinaria, a calcinação da alumina é responsável pela emissão de NO_x E SO_x e particulados que são minimizados pela captação em filtros e precipitadores eletrostáticos.

Segundo Prado (2008, p.14) em números aproximados pode-se dizer que são necessários 5 quilogramas de bauxita para produção de 1 quilograma de alumínio primário, o que mostra que grande parte da massa inicial será perdida no processo industrial na forma de resíduos sólidos ou líquidos ou emissões. Na etapa de refinaria, na qual a bauxita é purificada, há geração

de 1,5 a 3 toneladas de resíduo para cada tonelada de alumínio produzido. Esse resíduo que se apresenta como uma polpa alcalina de pH entre 12 e 13 contendo 10 a 30% de sólidos exige cuidado na sua disposição para evitar a contaminação de águas superficiais e subterrâneas e assegurar a proteção do solo e dos mananciais.

Segundo a ABNT (2004) NBR 10004/04 o resíduo gerado na produção primária de alumínio, o SPL, é classificado como um resíduo perigoso de classe I. O resíduo é considerado um grande risco ao meio ambiente e requer cuidados especiais para sua disposição e gerenciamento compatível com as normas ambientais existentes.

Os resíduos em estado sólido e semi-sólido, originados em atividades industriais, domésticas, hospitalar, comercial e agrícola. Devido a sua origem industrial o SPL é englobado nesta definição e necessita de uma maior atenção devido os problemas que o mesmo podem gera. (ABNT, 2004)

Segundo as especificações da ABNT (2004), estes resíduos podem gerar:

- a. Risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b. Riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada
- c. Devido ao alumínio ser tratado por autoflotação, e conseqüentemente o SPL ser gerado na autoflotação, o mesmo é classificado ainda como substância tóxica.

O Spent Pot Liner é composto principalmente por e fluoretos. De acordo com Weinstein e Davinson (2003), na indústria do alumínio e na metalurgia, existe uma grande emissão de fluoretos, o que é extremamente prejudicial ao meio ambiente. Na indústria do alumínio compostos com flúor são utilizados como fluxante de escórias.

2.4.3 Tratamento do SPL

Segundo Lazarinos (2007 *apud* PAWLED 1993; COURBARIAUX et al.2004) o custo médio para o tratamento do spent pot liner é cerca de U\$\$1000 por tonelada. Devido ao alto custo deste tratamento, várias companhias passaram a realizar e incentivar pesquisas para desenvolver processos ou soluções para o aproveitamento efetivo do SPL. Em resultado a estes incentivos existem vários tratamentos para tratar o SPL atualmente, porém atualmente não existe nenhum processo suficientemente eficiente para ser implantado. Grandes produtoras de alumínio, tem desenvolvidos seus próprios processos para tratar o resíduo, porém são soluções locais, nenhuma das mesmas são aplicadas globalmente de forma viável e eficiente.

Dentre as tecnologias desenvolvidas para tratamento do Spent Pot Liner, as principais incluem processos como: separação física, autoflotação e processos térmicos. (LAZARINOS, 2007, p.50)

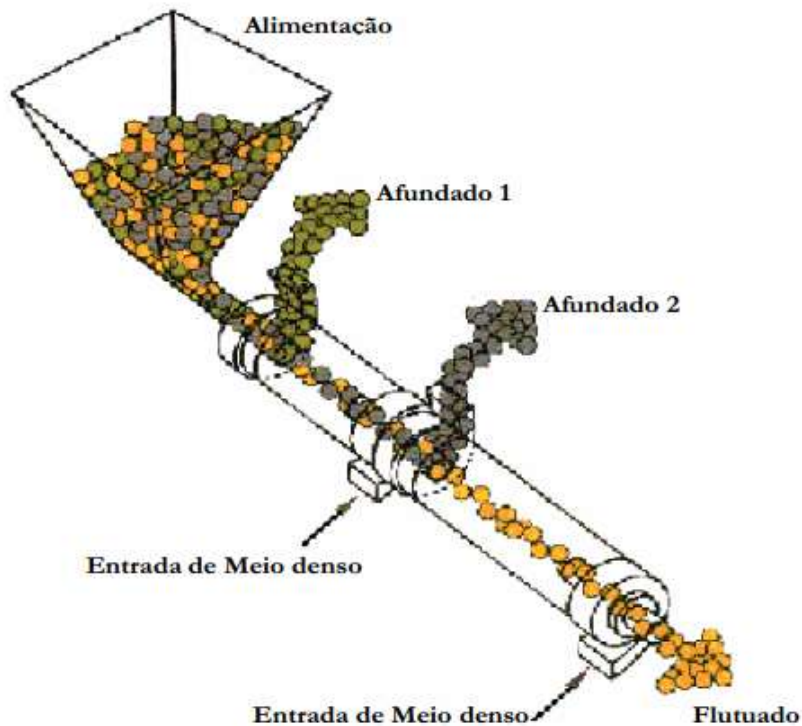
2.4.3.1 Separação física

Devido as diferentes densidades dos constituintes do SPL, o mesmo pode ser tratado por separação física. Alguns destes processos foram avaliados e submetidos a testes piloto e em escala, porém não se mostraram viáveis e não são utilizados atualmente. (LAZARINOS, 2007)

2.4.3.1.1 Separação em Meio denso

Segundo Lazarinos (2007 *apud* MASSACCI e NARDIS 1995), para este tratamento o Spent Pot Liner foi classificado em 5 e sua dureza e densidade aparente foram medidas. A avaliação do processo por separação do meio denso, permitiu obter resultados, com notáveis diferenças nas propriedades dos materiais avaliados e isso permitiu a possibilidade de realizar uma separação física empregando as diferenças de densidade. Os autores sugeriram a utilização de fluxograma com dois estágios, utilizando um separador em meio denso (Fig. 3), onde poderia ser realizado a separação dos cinco componentes do SPL com uma eficiência de 80 - 96%. As conclusões deste método foram baseadas em simulações dos próprios autores, pois o mesmo não foi testado experimentalmente.

Figura 3 - Separador em meio denso Tri-flo



Fonte: Lazarinos 2007

Conforme o autor Lazarinos (2007 *apud* MASSACCI e NARDIS 1995), neste separador o material é separado em três partes. A principal parte de interesse é a que sai pela segunda entrada de meio denso e que recebe o nome de “flutuado”. A segunda e terceira parte do material que são intituladas como “afundado 1” e “afundado 2” respectivamente, podem passar pelo processo novamente ou serem descartadas.

2.4.3.2 Separação Química

2.4.3.2.1 Processo de Flotação

Conforme Lazarinos (2007 *apud* PLUMPTON et. al. 1995 e 1996; YOUNG et a.2001) a flotação é a técnica mais eficiente para o tratamento do SPL, devido ao seu baixo custo. Neste processo as partículas precisam estar em faixas granulométricas entre 38 – 106 μ m e para o tratamento são utilizadas técnicas a seco e úmido. De acordo com os resultados já obtidos aplicando estas técnicas, o SPL apresenta uma boa liberação de seus constituintes para as faixas granulométricas necessárias para a flotação e as técnicas a seco e a úmido não representam grandes gastos.

Para a realização do processo de flotação é utilizado um circuito, utilizando células de flotação rougher scavenger. Com a utilização do querosene como coletor, obteve-se uma recuperação de 90%. Observou-se ainda que o processo foi afetado pela presença de lamas provindas da moagem. (LAZARINOS, 2007 *apud* PLUMPTON et. al. 1995 e 1996; YOUNG et a.2001)

2.4.3.2.2 Processo de Autoflotação

Conforme Lazarinos (2007 *apud* COURBARIAUX et al.2004; YOUNG et al. 2001), o processo de autoflotação não se mostrou muito eficiente pois requer alto investimento para reatores de grandes volumes e uma grande quantidade de água previamente aquecida, para que os cianetos possam oxidar. Para este processo é necessário um grande tempo de residência e condições químicas adequadas com a utilização de NaOH ou H₂SO₄. Outros fatores que contribuem ainda para ineficiencia deste processo são as altas temperaturas a que os cianetos precisam ser submetidos e a dissolução parcial de fluoretos.

De acordo com Prado (2008 *apud* SORLIE e OYE 1994; BLAYDEN et. al. 1987) nos tratamentos com autoflotação já desenvolvidos, a cada uma 1 tonelada tratada de SPL, 1,8 toneladas de outros resíduos são gerados e devem ser levados a aterros sanitários ou precisam retornar a fluorita para fabricação de criolita.

2.4.3.2.3 Processo de Autoflotação Alcalina – Alcan Primary Metal

Conforme Lazarinos (2007 *apud* GROLMAN et. al 1995; KASIREDDY et al 2000), para este processo o Spent Pot Liner passa por processos de cominuição, para que as partículas sejam reduzidas < 600 µm. Após o processo de redução de granulometria, o material passa por autoflotação acida (H₂O) em temperaturas de 20 - 70°C, por períodos de 10 a 20 minutos. Após se obter um resíduo solido, por filtração, este mesmo material passa por autoflotação alcalina com uma solução de hidróxido de sódio.

Na segunda etapa, é realizada a separação da solução da parte sólida, para que em seguida os cianetos da solução sejam destruídos. Em seguida, a solução é submetida a baixas temperaturas (160 - 220°) e a pressões que variam de 10 a 24 atm, por um período de 30 minutos a 3 horas, para que os compostos dos cianetos sejam eliminados e a água seja evaporada,

fazendo assim com que ocorra a cristalização dos compostos de flúor. (LAZARINOS, 2007 *apud* GROLMAN et. al 1995; KASIREDDY et al 2000).

2.4.3.2.4 Processo Cashman

Lazarinos (2007, p.53) cita um método desenvolvido por Cashman (2004), que trata compostos como cianetos complexos contidos no Spent Pot Liner. Para a realização deste método, é necessário que o SPL, seja reduzido a tamanhos menores que 3mm. Após o processo de cominuição, o material é submetido a uma mistura com carbonato de cálcio e posteriormente a solução de hipoclorito de sódio, em temperatura e pressão ambiente. O processo é iniciado com a incorporação da solução lixiviante ($\text{CaCO}_3/\text{Na}(\text{ClO})_2/\text{CaCl}_2$) e segue até que o cloreto e os cianetos sejam destruídos, para que isso ocorra é necessário 1 hora de operação. Este processo utiliza carbonato de cálcio como princípio de CO_2 , que é utilizado como mecanismo de aceleração para a reação de eliminação dos cianetos.

Segundo o autor do próprio método, o resíduo sólido final deste processo pode ser disposto em aterros sanitários, que atendam às exigências dos organismos de controle ambiental. (LAZARINOS, 2007)

2.4.3.2.5 Processo autoflotação ácida e precipitação

Conforme Lazarinos (2007 *apud* Besida et al. 1999), a primeira etapa deste processo é o tratamento magnético, onde são removidos o ferro e/ou óxidos de ferro. Posteriormente o Spent Pot Liner passa por processos de cominuição, para que suas partículas sejam reduzidas a tamanhos menores que 1mm. As principais fases deste processo são:

- a) Tratamento do SPL com água, por um intervalo de 3 horas e condições como: temperatura e pressão, ambiente, para que seja obtida a primeira solução. A solução obtida é constituída de inorgânicos solúveis em água.
- b) É realizada a filtração do resíduo obtido com a primeira solução.
- c) O resíduo primário é tratado com uma solução de HF, por um intervalo de 3 horas com agitação, até que se forme um segundo resíduo sólido e uma segunda solução que contenham matéria inorgânica.
- d) Novamente é realizada a filtração do resíduo, para separar o segundo resíduo obtido da solução.

- e) O segundo resíduo também recebe um tratamento, porém desta vez com H_2SO_4 ou H_2SiF_6 , para que seja formada uma terceira solução.
- f) Novamente a solução passa por filtração, para que seja separado o terceiro resíduo.
- g) O resíduo separado na etapa anterior, é lavado com água aquecida por um período de 90 minutos, para que sejam formados novos resíduos e soluções.
- h) Após todos estes processos, o quarto resíduo passa por filtração, para que seja separada a parte sólida. Os principais componentes da primeira solução são cianetos, NaF e Na_2CO_3 . Os cianetos livres são eliminados pelo H_2O_2 ou com hipoclorito de sódio. Os cianetos mais complexos que não são eliminados por soluções de oxidação, são precipitados para que seja gerado um precipitado de $\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ e posteriormente filtrados. A segunda e a terceira solução são constituídas de íons de alumínio. Os resíduos que são compostos de flúor podem ser restaurados e se tornarem CaF_2 . O alumínio obtido na segunda etapa é precipitado como fluoreto de alumínio hidratado. O resíduo obtido na terceira etapa é destruído e a solução obtida na quarta etapa é restaurada por cristalização.

2.4.3.3 Processo térmicos

Conforme Lazarinos (2007 apud COURBARIAUX et al. 2004) os processos térmicos são classificados em temperaturas altas e temperaturas médias. As temperaturas médias de 500°C a 850°C e as temperaturas altas variam de 1100°C a 1300°C .

2.4.3.3.1 Processo de temperaturas médias: $500 - 850^\circ\text{C}$

Conforme Lazarinos (2007 apud COURBARIAUX et al. 2004) nos processos com temperaturas medianas os cianetos são eliminados por oxidação. Não é necessário muito tempo de residência, porém é necessário realizar um controle rigoroso com relação a temperatura e é necessário também a adição de outros reagentes, pois isso evita o agrupamento de materiais. Durante o processo os fluoretos são retidos como CaF_2 devido a inclusão de calcário. Este processo requer menores investimentos quando comparado a outros processos, pois não se faz necessário muito tempo de residência, a concentração dos gases gerados é baixa e a energia necessária para o processo provem do carvão obtido a partir do SPL.

Alguns exemplos destes processos que utilizam temperaturas entre $500 - 850^\circ\text{C}$ são:

- Processo em forno rotativo - Reynolds Metals Company

O SPL é cominuído e agregado a materiais como: calcário e areia residual. Em seguida a mistura é queimada em forno rotativo, eliminando o cianeto e fixando os fluoretos. Desta forma o resíduo inerte gerado pode ser armazenado em aterros industriais (que atendam às exigências ambientais) ou utilizado como elemento na indústria de construção e pavimentação. (PRADO, 2008 apud SORLIE e OYE 1994; CHANAMIA e EBY 2000)

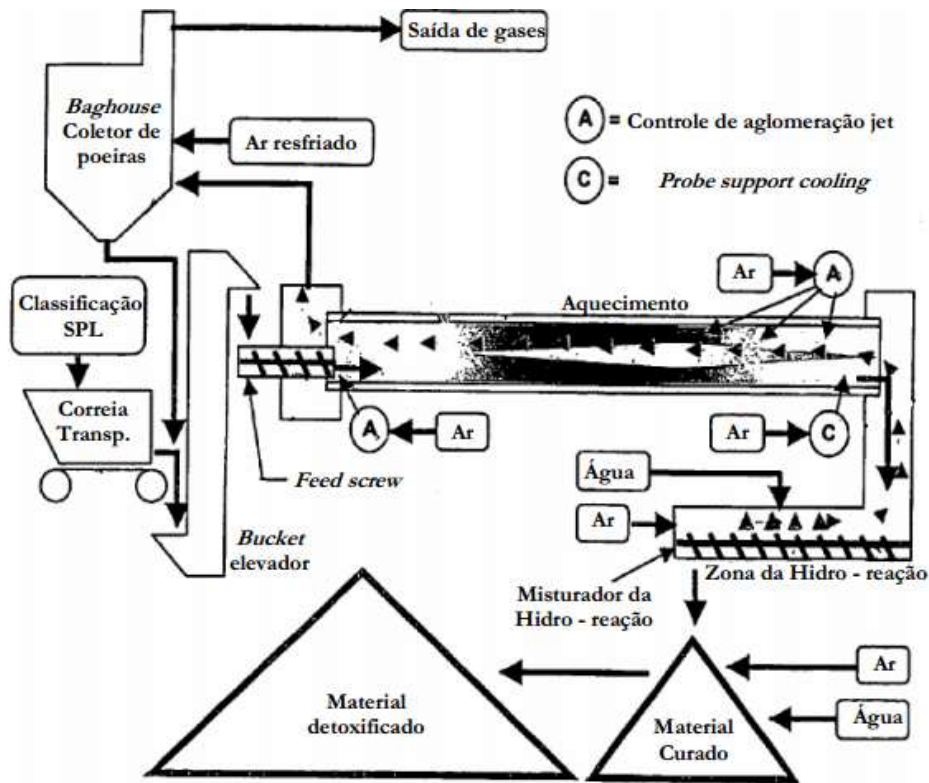
- Processo de incineração e autoflotação - Atlantic Richfield Company

Neste processo o SPL (primeiro e segundo corte) é cominuído para partículas menores que 1mm. Em seguida o resíduo é incinerado a temperaturas de 650°C a 850°C, para que os cianetos sejam destruídos e a volatilização dos fluoretos sejam limitadas. Grande parte do carvão é queimado, o que faz com que o consumo de energia seja reduzido. As cinzas são lixiviadas com água ou uma solução de soda caustica diluída, em seguida o resíduo é filtrado para que seja separado o sólido da polpa. O material sólido é misturado com ácido sulfúrico, diluído para que os fluoretos residuais sejam removidos e tratados com composto de cálcio, para que os fluoretos solúveis sejam convertidos a fluoreto de cálcio (insolúvel). Após estes processos, o fluoreto de cálcio é secado para que a umidade seja removida e em seguida o material seja tratado novamente com ácido sulfúrico com uma concentração de 93% a 99% para produzir ácido fluorídrico gasoso (HF) e um composto sulfatado. O HF é tratado em um reator com alumina, para que seja formado AlF_3 , desta forma o produto poderá ser disposto em aterros. (LAZARINOS, 2007 apud SONDRASS e CAMBRIDGE 1984)

- Processo em forno rotativo - Regain Technologies

De acordo com Lazarinos (2007, p.58) este processo foi desenvolvido pela empresa Regain Technologies Pty Ltda. Este processo trata o SPL em três estágios: adequação granulométrica do material; detoxificação do SPL, onde o SPL é aquecido a temperaturas médias (750 a 800°C) por aproximadamente 40 minutos, para que os cianetos sejam destruídos. No último estágio o SPL é adensado com outros materiais para gerar produtos como lã de vidro. Na figura 4 é possível observar as etapas básicas do processo realizado no forno Regain.

Figura 4 - Fluxograma do processo Regain Technologies



Fonte: Lazarinos 2007

A figura 4, descreve de forma prática o processo em forno rotativo. Na primeira etapa desde processo é realizada uma classificação do SPL, em seguida o mesmo segue por correias transportadoras até o coletor de poeiras, neste coletor o resíduo é submetido ar resfriado, para que sejam eliminadas as poeiras e os gases sejam retirados. O material recebe ar e água durante o processo, ao final do processo o material é separado em material detoxificado e material curado.

- Processo COMTOR - Comalco Aluminium Limited

“O processo COMTOR envolve a combustão da parte carbonosa do resíduo e decomposição dos cianetos contidos no SPL[.], [...]os fluoretos são recuperados através de um processo de sulfatação (em fase líquida) como fluoreto de alumínio e/ou criolita [...]” (LAZARINOS, 2007 apud GOODES et al.1990)

2.4.3.3.2 Processo térmicos a alta temperatura: 1100 – 1300°C

Segundo Lazarinos (2007, p.60), o objetivo destes processos é eliminar termicamente os cianetos e vitrificar os outros elementos que constituem o SPL. Para que ocorra a vitrificação é necessário um tratamento com elevadas temperaturas e que ocorra a vaporização dos fluoretos. Entretanto, este processo não é viável devido ao elevado custo, pois para submeter o resíduo a altas temperaturas e o alto desgaste provocado pelos gases requerem um alto grau de investimento. Em adição a isto, tem-se ainda a geração de outros resíduos perigosos durante o processo.

- Processo de vitrificação Vortec - Ormet Corporation

Conforme Lazarinos (2007, p.60), neste processo a primeira etapa é cominuição do SPL, para que o mesmo seja reduzido a tamanhos de 0,4 mm. Posteriormente o resíduo é agregado a matérias como: areia e calcário, que são elementos que melhoram a fusão e propriedades químicas e físicas de produtos vitrificados. Uma mescla constituída de aproximadamente 40% de spent pot liner é mantida continuamente no reator Counter Rotating Vortec, sendo submetida a altas temperaturas, para que as partículas sejam suspensas por gás natural ou ar pré-aquecido. Neste processo os cianetos e os compostos orgânicos são neutralizados termicamente, os materiais inorgânicos são aportados no reator e transcorrem por um segundo reator. Neste segundo reator o material fundido e os gases são desagregados. O material fundido recebe tratamento com água resfriada e produz material vítreo, como fibras ou lã de vidro. Os gases resfriados são filtrados para que o cloreto de sódio seja capturado e posteriormente são filtrados novamente. Durante a segunda filtragem os gases reagem com a alumina e produzem fluoreto de alumínio.

- Processo Ausmelt - Alcoa, Portland

De acordo com Lazarinos (2007, *apud* MANSFIELD 2002; FLOYD e JOHSON 1999) este método faz uso de um forno intitulado “forno Ausmelt”, onde o carvão do SPL é queimado e os componentes refratários são consubstanciados para produzir escoria inerte. A principal fonte de energia deste forno é a produzida pela própria queima do carvão. A alimentação é realizada de partículas menores que 50 mm e submetidas a altas temperaturas (1150 – 1250° C), para que os constituintes dos cianetos sejam destruídos. Para intensificar o processo de consubstanciamento e as características físico-químicas da escoria, são agregados: calcário, ferro e sílica. Os gases gerados durante o processo são resfriados e filtrados para reestabelecer

o NaF. Posteriormente os gases que foram retidos no filtro são reaquecidos são submetidos a um reator que contenha alumina para que seja formado o fluoreto de alumínio. O NaF que foi reestabelecido após o resfriamento e a filtragem dos gases, retorna ao forno age como fundente, e é sintetizado para formar HF.

- Processo em forno de plasma - Columbia Ventures Corporation

O SPL é tratado a altas temperaturas (1000 – 1600°C), para que ocorra a gaseificação do carvão, e o mesmo seja transformado em combustível. Neste processo é utilizada uma grande quantidade de energia, porém a energia que é gerada na combustão do carvão ultrapassa a energia a ser utilizada, neste processo ocorre a redução do SPL em 1/3 do volume inicial. É um processo interessante, porém não torna o SPL aplicável em outros produtos, apenas diminui seu volume. E neste processo assim como em outros, é gerado uma grande quantidade de escórias. (LAZARINOS, 2007 p. 62)

Ainda segundo Lazarinos (2007 *apud* MORGENTHALER *et al.* 1993) durante o processo em forno plasma ocorre a completa destruição térmica dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e dos cianetos. Ainda durante este processo os fluoretos podem sofrer volatilização, fundição em escorias e ou redução á ácido fluorídrico. Ocorrendo isto, o mesmo pode ser recuperado em forma de NaF e AlF₃ para em seguida ser reciclado no processo de redução da alumina. O material que se fundiu é removido do reator e em seguida resfriado, sendo transformado em escória sólida livre de cianetos e resistente a autoflotação.

- Processo de gaseificação - Global Environmental

Conforme Lazarinos (2007, p.64), esta técnica foi desenvolvida por Vick e Steiger (2000 e 2001), e utiliza um gaseificador de fluxo arraste. Esta tecnologia é utilizada quando os materiais na cinza a serem trabalhados estão entre 1 – 1,5%. Na primeira etapa o SPL tem suas partículas reduzidas a tamanhos que variam de 0,0036 a 0,09 mm. Para o processo de redução são utilizados britadores cônicos e/ou moinho de bolas. Nos testes realizados o SPL foi co-injetado com oxigênio, vapor de água e gás natural. Quando o SPL é submetido a altas temperaturas (1400 – 1600°), o mesmo reage gaseificando aproximadamente 54% do seu carbono e forma gás de síntese, constituído basicamente de: H₂, CO, CO₂ e N₂. Além destes, durante o processo é formado ainda, escória constituída de materiais inorgânicos SPL. Estas escorias formam lâ de vidro, após serem solidificadas. Na análise dos testes, não foi detectado compostos de flúor, compostos orgânicos e gás síntese. O material vitrificado apresentou baixa

lixiviabilidade para fluoretos e não apresentou compostos de cianeto e arsênico. Os fluoretos representaram 14% do total de material vítreo produzido.

- Co - processamento em fornos de clínquer

Segundo Lazarinos (2007, p.64) a Alumax Inc. em 1984 comprovou que o SPL pode ser utilizado como combustível parcial para os fornos rotativos de produção de clínquer em escala industrial. Neste processo foi utilizado o SPL de primeiro corte e após os testes realizados foi comprovado que somente a parte carbonosa do SPL foi queimada nos fornos de clínquer desenvolvido pela Alumax Inc. Para que o SPL pudesse ser utilizado no forno, foi necessário que o mesmo fosse cominuído a faixas granulométricas entre 0,0736 – 0,1498mm. Esta substituição parcial do carvão pelo SPL, proporcionou uma economia de mais de US\$100.000 por ano em consumo de energia.

Devido ao alto poder calorífico do SPL, substituições maiores que as citadas anteriormente podem alterar a temperatura de combustão. O poder calorífico do SPL é de 20 MJ/kg e do carvão é de aproximadamente 32 MJ/kg, este fato se dá devido a presença de fluoretos contidos no SPL, o que faz com aumente a sua velocidade de formação do clínquer. (LAZARINOS 2007, p.65)

Conforme Lazarinos (2007 apud DICKIE 1984) neste processo os compostos de SPL são destruídos e as emissões de gasosas foram equivalentes a quando o SPL foi utilizado como combustível alternativo. Os fluoretos que foram alimentados no forno foram localizados no clínquer e nas poeiras recicladas, sendo que apresentaram uma concentração de (60 – 70%) no clínquer e (30 – 40%) nas poeiras.

Algumas companhias cimenteiras reportaram que a produção e a composição químicas dos cimentos não foram alteradas. Porém o co-processamento do SPL em fornos de clínquer tem algumas desvantagens, devido ao alto custo. (LAZARINOS, 2007 p.66)

2.4.4 Aplicação do SPL

Conforme dados da ABAL (2007) foram desenvolvidos algumas aplicações para o RGC mais conhecido como SPL, porém são soluções que requerem rigorosos tratamentos prévios. O resíduo é utilizado como matéria prima para indústria cerâmica e produto fundente na

fabricação de cimento. Os resíduos carbonosos são utilizados também para a geração de energia, devido ao seu alto poder calorífico.

2.5 Materiais Refratários

Os materiais refratários são provenientes de materiais cerâmicos com alta capacidade calorífica. Estes materiais são utilizados na produção de equipamentos bélicos (revestimento) e no revestimento de fornos de altas temperaturas. (SCHULLER; BIANCHI; AGUIAR, 2008).

Como apresentado por Schuller, Bianchi e Aguiar (2008), estes materiais são confeccionados em altas temperaturas, para que os mesmos se tornem resistentes a elas. Quando submetidos a temperaturas acima da resistência máxima eles tem sua porosidade elevada, isso faz com que ocorra uma expansão na estrutura física do material. O método de confecção dos materiais refratários podem alterar ainda nas suas propriedades físicas e químicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Cominuição

As amostras foram preparadas em laboratório, passando primeiramente por etapa de moagem para que sua granulometria atingisse o tamanho desejado. Foram pesadas 3 quilogramas de material e 2,5 quilogramas de esferas de tamanhos variando entre média e grande para em seguida ser colocado no moinho de bolas. O material ficou no moinho por aproximadamente 1 hora e 30 minutos. O moinho trabalhou com uma rotação de 380 rpm.

Após o processo de cominuição o material foi encaminhado para a classificação granulométrica, com o intuito de se obter o material na granulometria desejada.

3.2 Classificação Granulométrica

Após a etapa de cominuição o material passou pelo processo de classificação, no qual foram utilizadas as peneiras de 75# e 100#. O material passante na granulometria em 100 #, foi utilizado para o processo de autoflotação, os percentuais de sólido na polpa dos processos de autoflotação foram de 10%, 12% e 15%. Todos os procedimentos de autoflotação, foram preparados para 1 litro de polpa.

As massas para autoflotação foram preparadas conforme a tabela II.

Tabela II - Massa para os processos de Autoflotação Ácida, Autoflotação Básica.

<i>Porcentagem de sólido na polpa</i>	<i>Massa de sólido para 1 litro de polpa</i>
<i>10%</i>	100g
<i>12%</i>	120g
<i>15%</i>	150g

Como mostrado na tabela II, as porcentagens utilizadas foram de 10%, 12% e 15% para um litro de solução, ou seja, foram utilizadas 100g, 120g e 150g de material do resíduo de SPL com sua umidade natural.

3.3 Preparo das Soluções para Autoflotação

Para os processos de autoflotação as soluções foram preparadas de dois em dois litros, com o auxílio dos materiais mostrados na tabela III.

Tabela III - Equipamentos utilizados para preparo de soluções

<i>Equipamentos</i>	<i>Capacidade</i>
<i>Pipeta graduada</i>	2 mL
<i>Balão volumétrico</i>	2000 mL
<i>Funil de haste longa</i>	
<i>Becker graduado</i>	250 mL
<i>Erlenmeyer graduado</i>	250 mL
<i>Pera</i>	

As soluções ácidas foram de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) a uma concentração de 0,04 M o que resultou em 1ml de H_2SO_4 para cada 1L de solução. E as soluções básicas foram Hidróxido de Sódio de (NaOH) também na concentração de 0,04 M o que resulta em 0,8mL para cada 1L de solução.

Todas as soluções foram preparadas dentro da capela e com a utilização de todos os equipamentos de proteção (luvas, óculos de proteção, jaleco e calçado fechado). Primeiramente foram colocados 250 mL de água destilada dentro do balão volumétrico, posteriormente com o auxílio de uma pipeta foram retirados de dentro do Becker 2 mL de ácido sulfúrico (que foram previamente colocados no mesmo) e acrescentados no balão volumétrico. Para completar a solução, foram acrescentadas mais 1750 mL de água destilada.

Este mesmo procedimento foi realizado para o preparo de todas as soluções utilizadas nos procedimentos de autoflotação ácida e básica. Entretanto, para as soluções ácidas foi utilizado H_2SO_4 .

Foram realizadas 5 autoflotações ácidas e 5 básicas para cada porcentagem de polpa, como mostrado na tabela II.

3.4 Autoflotação Ácida

Todas as autoflotações ácidas foram realizadas em um Becker graduado de 1L sob uma chapa de aquecimento na temperatura de 180°C a uma agitação lenta. Após a solução ácida atingir a temperatura desejada adicionou-se o material ao Becker. A solução e o material ficaram submetidos a estas condições durante 20 minutos. Após cronometrado o tempo, o material autoflotado foi recolhido com o auxílio de uma espátula, alocado em uma capsula de porcelana e em seguida levado para a estufa para que fosse retirado o excesso de umidade.

O restante do material e solução que residiram no Becker foram filtrados com a utilização de um filtro a compressão e uma bomba a vácuo, para que a solução fosse separada da polpa. A polpa foi alocada em uma capsula de porcelana e levada para a estufa, onde a mesma residiu por 24 horas sob a temperatura de 90° para que fosse retirada a umidade. E a solução foi descartada conforme as orientações do técnico laboratorista.

Estes procedimentos foram realizadas para todas as 15 autoflotações ácidas. Sendo que para cada porcentagem de polpa (10%,12%,15%), foram realizadas 5 autoflotações.

3.5 Autoflotação Básica

Todas as autoflotações básicas foram realizadas em um Becker graduado de 1L sob uma chapa de aquecimento na temperatura de 180°C a uma agitação lenta. Após a solução básica atingir a temperatura desejada adicionou-se o material ao Becker. A solução e o material ficaram submetidos a estas condições durante 20 minutos. Após cronometrado o tempo, o material autoflotado foi recolhido com o auxílio de uma espátula, alocado em uma capsula de porcelana e em seguida levado para a estufa para que fosse retirado o excesso de umidade.

O restante do material e solução que residiram no Becker foram filtrados com a utilização de um filtro a compressão e uma bomba a vácuo, para que a solução fosse separada da polpa. A polpa foi alocada em uma capsula de porcelana e levada para a estufa, onde a mesma residiu por 24 horas sob a temperatura de 90° para que fosse retirada a umidade. E a solução foi descartada conforme as orientações do técnico laboratorista.

Estes procedimentos foram realizadas para todas as 15 autoflotações básicas. Sendo que para cada porcentagem de polpa (10%,12%,15%), foram realizadas 5 autoflotações.

3.6 Flotação

Após a polpa ser retirada da estufa e resfriada a temperatura ambiente, a mesma passou pelo processo de desagregação no Almofariz com Pistilo. Com o auxílio do pistilo e a realização de movimentos circulares a polpa foi desagregada e posteriormente separada conforme suas porcentagens.

Para as flotações foram utilizados o diesel como coletor e o flotanol D25 como espumante. Na tabela IV, podem ser observadas as quantidades de coletor e espumante utilizados para cada uma das flotações.

Tabela IV - Flotação para a polpa de 15% com 50g de material seco.

<i>Experimento</i>	<i>Agentes Colectores (g/t)</i>		<i>Massa para 1 Litro de Polpa (g)</i>	<i>Volume (gotas)</i>
<i>1ª Flotação</i>	Coletor	100 Diesel	0,005	1,0
	Espumante	100 Flotanol D25	0,005	1,0
<i>2ª Flotação</i>	Coletor	200 Diesel	0,01	1,3
	Espumante	100 Flotanol D25	0,005	1,0

Ao todo foram realizadas duas flotações, como mostrado na tabela IV, com a polpa que apresentou maior recuperação na auto-flotação. As flotações foram realizadas em uma cuba de flotação com capacidade de um litro. A princípio foram pesadas 100 gramas do material não auto-flotado em uma balança de precisão e posteriormente o mesmo foi colocado na cuba de flotação. A cuba foi preenchida com água destilada até completar um litro. Em seguida, a cuba foi levada para a célula de flotação, onde foram adicionados o coletor e o espumante e a solução foi submetida a uma agitação de 380 rpm. Para a aeração da polpa, foi realizada pelo próprio rotor da célula mecânica e em seguida com o auxílio de uma espátula o material flotado foi recolhido. Ao término da flotação o material flotado foi armazenado em uma capsula de porcelana, previamente pesada, e levado para a estufa por um período de 24 horas a uma temperatura de 90°C, para que fosse retirado o excesso de água.

Devido à baixa recuperação de material, optou-se por não aplicar a flotação no restante do material e prosseguir para a etapa de confecção das pastilhas refratárias.

3.7 Confeção de Pastilhas Refratarias

Para o processo de confecção foram utilizados os seguintes itens: 1 vidro relógio de diâmetro 15 cm, 1 balança de precisão 0,01g, 1 espátula convencional de laboratório, 1 prensa hidráulica de até 15 toneladas, 1 embolo de moldagem com diâmetro interno de 1 polegada (25,4mm).

Primeiro, o vidro relógio foi colocado sobre a balança de precisão e com o auxílio da espátula o material foi transportado para a vidraria, determinando assim uma massa de aproximadamente 2,50g. Depois o material foi colocado no embolo, e o pistão foi colocado de modo que o material fosse distribuído uniformemente no embolo.

O material foi submetido a uma carga de 5 toneladas durante um tempo de dois minutos afim de que obtenhamos corpos de provas consistentes.

Posteriormente os corpos foram retirados do molde, pesados e medidos sua altura e diâmetro com o auxílio de um paquímetro.

Foram confeccionadas pastilhas com a utilização de SPL, Argila e SPL com Argila, conforme a tabela V.

Tabela V - Pastilhas Refratarias

<i>Materiais utilizados</i>	<i>Quantidade de Pastilhas</i>
<i>SPL</i>	12
<i>Argila</i>	12
<i>SPL + Argila</i>	12

As pastilhas foram confeccionadas com 3 variações, como mostrado na tabela V, sendo que para cada variação (SPL, Argila e SPL+Argila) foram confeccionadas 12 pastilhas. As Variação nos tipos de pastilhas foram realizadas, afim de que se observa-se o comportamento das mesmas, com as diferentes composições. Após a confecção das pastilhas as mesmas passaram pelo processo de sinterização.

Neste processo foram realizados tempo de subida da temperatura e tempo de resfriamento. A sinterização foi realizada com duas diferentes temperaturas. No primeiro dia a sinterização foi realizada para uma temperatura de 1000° C e no segundo dia a sinterização foi realizada para uma temperatura de 850° C.

3.7.1 Sinterização das Pastilhas

3.7.1.1 Rampa de Aquecimento

A rampa de aquecimento foi realizada com uma temperatura e velocidade de 5,0°C/min. Nesse procedimento, a cada 20 minutos foram aumentados 100°C na mufla. A mufla foi pré-aquecida com uma temperatura de 100°C para que os corpos de provas fossem colocados para tal procedimento. Após o tempo de pré-aquecimento as pastilhas foram colocadas na mufla, onde ficaram por 20 minutos na temperatura de 100°C, após atingir o tempo desejado, a temperatura foi elevada para 200°C onde as pastilhas ficaram por mais 20 minutos. Este procedimento foi realizado até que a mufla chegasse a 700°C, quando a mufla atingiu os 20 minutos na temperatura de 700°C, elevou-se a temperatura para 800°C e as pastilhas residiram nesta temperatura por 5 minutos. Após os 5 minutos, a temperatura foi resfriamento para 800°C, e nesta temperatura foi feita a estabilização e as pastilhas ficaram nessas condições por 2 horas. Após a estabilização da temperatura, foi iniciado o tempo de resfriamento.

Os procedimentos para tempo de subida para a sinterização a 1000°C também foram os mesmos. De 20 em 20 minutos a temperatura foi elevada 100°C, até que se atingisse a temperatura desejada. Após atingir os 1000°C o material foi conservado nesta temperatura por 5 minutos e então a temperatura foi rebaixada para 900°C. Nesta temperatura foi realizada a estabilização por 2 horas. Após a estabilização da temperatura, foi iniciado o tempo de rebaixamento da temperatura.

3.7.1.2 Tempo de resfriamento da temperatura:

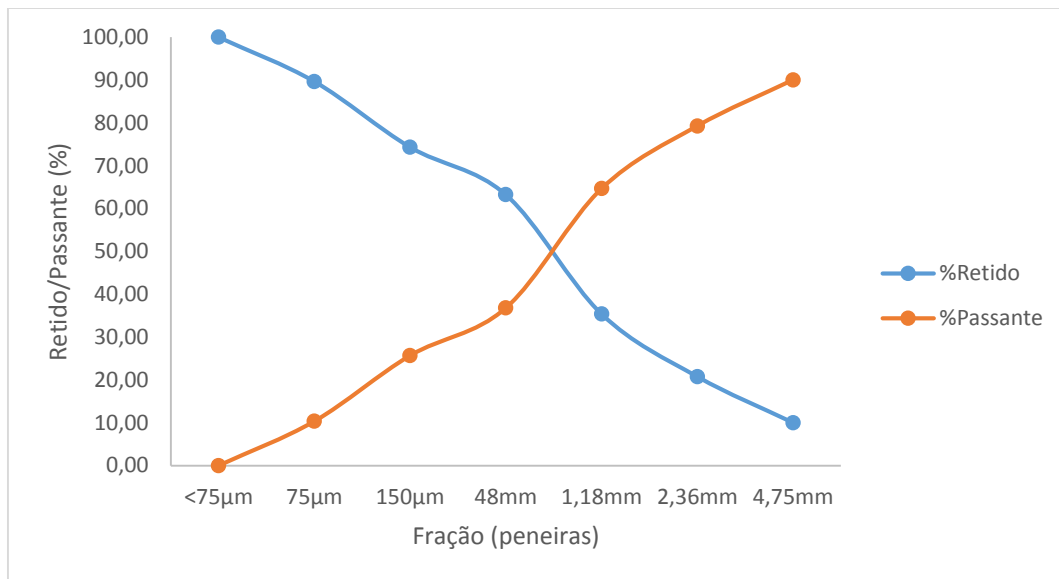
Ao completar as 2h, a velocidade de descida da temperatura foi reduzida 2°C/min. Neste procedimento a cada 50 minutos foram reduzidos 100°C na mufla, essa redução foi realizada até que a temperatura chegasse a 100°C, após residir por mais 50 minutos na temperatura de 100°C a mufla foi desligada. Após ser desligada, a mufla permaneceu fechada até a manhã do dia seguinte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cominuição

Após o material ser cominuído no moinho de bolas, gerou a seguinte curva granulométrica:

Gráfico 1 - Classificação Granulométrica



No gráfico 1 é possível observar as porcentagens de retido e passante em cada faixa granulométrica, após a cominuição do material. O material foi cominuído em um moinho de bolas com a utilização de esferas de aço. No gráfico as linhas em laranja representam a porcentagem de passante e a linha em azul a porcentagem de retido, durante o processo de classificação granulométrica. O material de interesse e que foi utilizado nos processos a seguir, foi o passante de 100. A escolha dessa faixa granulométrica é devido a maior afinidade dos finos para realizar procedimentos de flotação e autoflotação.

4.2 Autoflotação Ácida

Nos procedimentos de autoflotação ácida foram variadas as porcentagens de polpa para estudar a porcentagem ideal para recuperar o carvão do SPL. Como pode ser observado na tabela a seguir, é possível perceber que as polpas de 10% e 12% não apresentaram grandes variações. Já a polpa de 15% (150g de SPL) apresentou uma grande variação, quando comparada a as outras duas polpas. Este foi o melhor resultado obtido, pois foram aplicadas as mesmas condições variando apenas a porcentagem de polpa e foi possível obter uma recuperação maior.

Tabela VI - Dados Autoflotação Ácida

Tratamentos (%)	Repetições (g)					Média (g)	Mediana	Desvio Padrão (g)	Coeficiente Assimetria	Coeficiente Variância (%)	Erro (g)	Limite Inferior (g)	Limite Superior (g)	
10	6,43	10,71	5,41	12,52	2,8	7,57	6,43	3,97	0,86	52,43	4,93	2,64	12,50	A
12	11,83	5,15	9,1	6,33	7,2	7,92	7,20	2,62	0,83	33,04	3,25	4,67	11,17	A
15	18,53	9,01	14,47	9,25	29,15	16,08	14,47	8,31	0,58	51,66	10,31	5,77	26,40	B

As letras (A) e (B) serve para identificar onde correu uma proximidade nas recuperações e variações. Os tratamentos que tiverem seu limite inferior e superior dentro de um mesmo intervalo recebem a letra (A), já os tratamentos que tiverem seus limites inferiores e superiores dentro de um limite distinto recebem a letra (B). Com isto é possível perceber que as recuperações nas polpas de 10% e 12% obtiveram recuperações e variações dentro de um mesmo limite (2,64 – 12,50) e por isso receberam a letra (A), já a polpa de 15% obteve uma recuperação e variação dentro de um limite diferente (5,77 – 26,40) e por isso recebeu a letra (B).

4.3 Autoflotação Básica

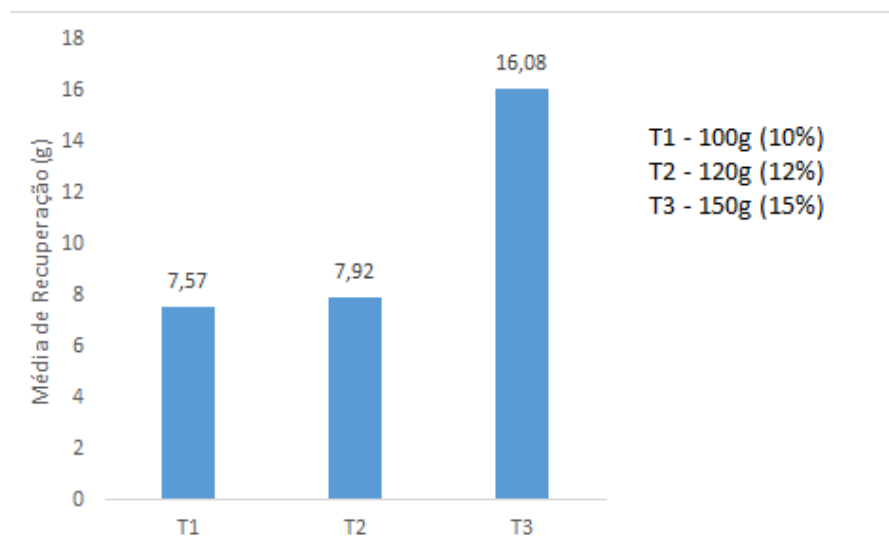
Nas autoflotações básicas foram utilizadas as mesmas variações de polpa (10%,12%,15%) com o intuito de se observar com qual porcentagem de polpa ocorreria uma maior recuperação de material. Diferentemente da autoflotação ácida a porcentagem de polpa que apresentou maior média de material autoflotado, foi a polpa de 12% do SPL. Já as polpas de 10% (100g de SPL) e 15% (150g de SPL) apresentaram médias de recuperação próximas. Como pode ser observado na tabela VII, as recuperações não obtiveram grandes variações.

Tabela VII - Dados Autoflotação Básica

Tratamentos %	Repetições (g)					Média (g)	Mediana (g)	Desvio Padrão (g)	Coeficiente Assimetria (g)	Coeficiente Variância (%)	Erro (g)	Limite Inferior (g)	Limite Superior (g)	
10	5,18	8,07	8,87	8,47	10,02	8,12	8,47	1,80	-0,58	22,15	2,23	5,89	10,36	A
12	13,76	8,43	6,02	15,25	12,83	11,26	12,83	3,88	-1,22	34,43	4,81	6,45	16,07	A
15	7,94	8,64	7,59	3,75	17,87	9,16	7,94	5,23	0,70	57,09	6,49	2,67	15,65	A

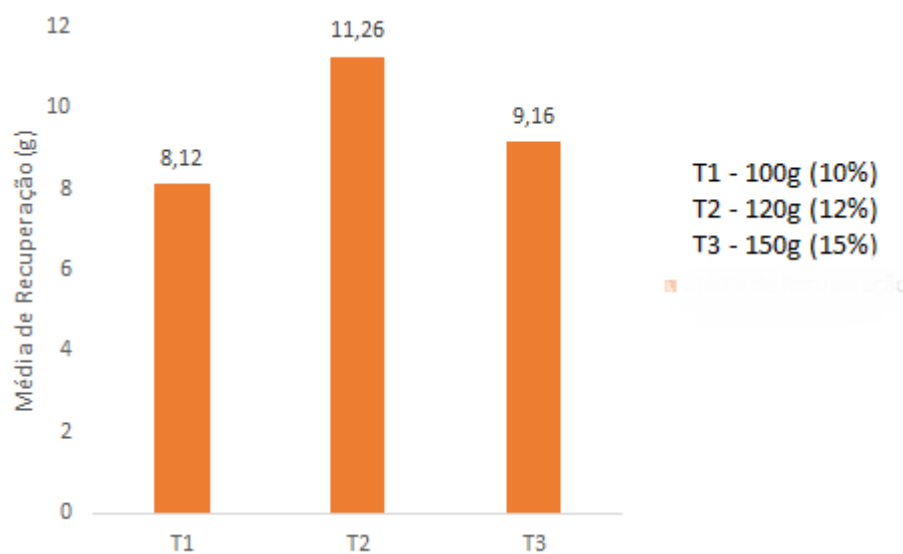
Todos os tratamentos na autoflotação básica tiveram suas variações dentro de um mesmo limite (2,67 – 15,65), por isso receberam a letra (A). Porém no procedimento com a utilização de 120g de SPL, ocorreu uma maior recuperação de carvão possível de se recuperar e demonstrou-se ser a porcentagem de polpa mais eficiente na recuperação de carvão.

No gráfico 2 é possível observar uma comparação gráfica entre as médias de recuperação dos 3 tratamentos ácidos.

Gráfico 2 - Média de recuperação no tratamento ácido

Como apresentado no gráfico 2 no tratamento com a utilização de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) com uma concentração de 0,04M ou 1,0 ml, a média de recuperação com maior eficiência foi no tratamento de 15% (150g) de material seco para 1L de solução. Nas polpas de 10% e 12% a média de recuperação ficou bem próxima, com uma diferença de apenas 0,35g.

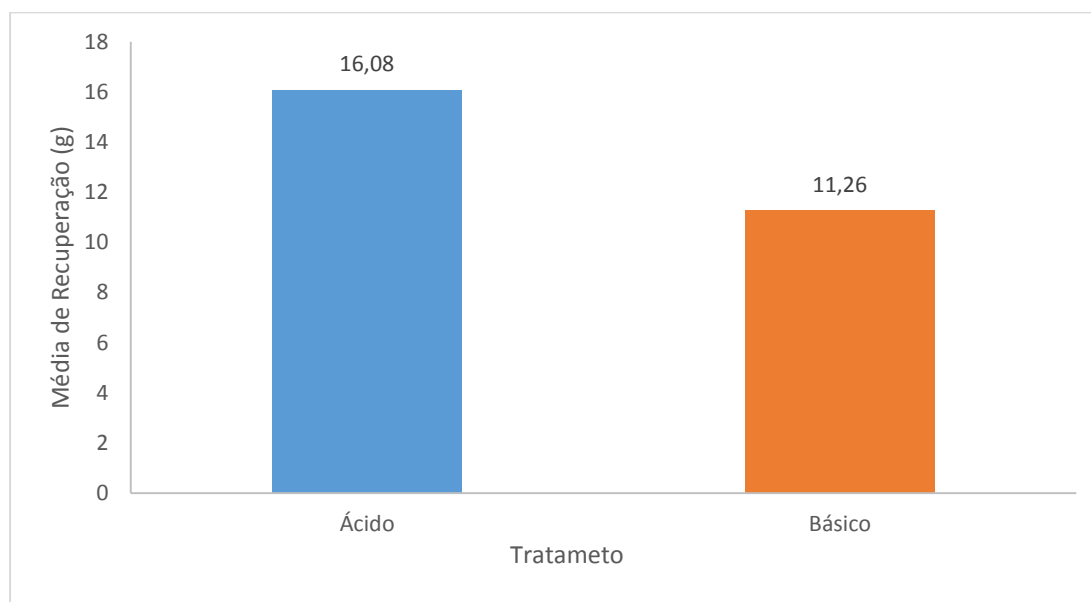
No gráfico 3, é possível observar uma comparação gráfica entre os 3 tratamentos básicos, com relação as suas recuperações médias.

Gráfico 3 - Média de recuperação no tratamento básico

O gráfico acima (3) demonstra as médias de recuperação no tratamento com a utilização de 0,04M ou 0,8 m/l de Hidróxido de Sódio (NaOH). Neste tipo de tratamento a maior média de recuperação apresentada foi com a utilização de 120g (12%) de material seco para 1L de solução.

No gráfico 4 é feita uma comparação gráfica entre os dois tratamentos que apresentaram maiores médias em suas recuperações. No tratamento ácido a maior eficiência foi com a utilização de 15% de SPL e no tratamento básico a maior eficiência foi com a utilização de 12% de SPL.

Gráfico 4 - Recuperação Média dos Tratamentos



Como mostrado no gráfico 4 o tratamento ácido (realizado com a utilização de H_2SO_4) foi o que obteve uma maior média de recuperação com 16,08g. A partir deste resultado, é possível concluir que o tratamento com a utilização de H_2SO_4 , possibilita uma maior recuperação de carvão.

4.4 Flotação

Devido à baixa recuperação de material na flotação, como pode ser observado na tabela VIII, optou-se por realizar apenas duas flotações, pois o material apresentou uma baixa

recuperação. Logo em seguida deu-se início a segunda etapa dos procedimentos, aplicando nas pastilhas refratárias o material provindo das autoflotações.

Tabela VIII - Recuperação na Flotação

<i>Flotação</i>	<i>Recuperação (g)</i>
1 ^a	0,90
2 ^a	0,98

A tabela VIII apresenta os resultados obtidos na flotação. A maior recuperação obtida na flotação com a utilização de 50g de material não-autoflotado foi a 2^a, com apenas 0,98g de material flotado. Na 1^a flotação o resultado também não foi muito diferente, o material possível de se recuperar foi 0,90g.

4.5 Pastilhas Refratárias

As pastilhas de SPL sofreram uma média de retração linear de 3,88% quando foram submetidas a uma temperatura de 850°C, como pode ser visto na tabela a seguir. Durante o processo de sinterização as mesmas sofreram uma perda média de massa de 24,08%.

As pastilhas de argila apresentaram uma retração linear pequena quando comparadas as pastilhas de SPL, a média de retração foi de 0,23%. Na perda ao fogo as pastilhas de argila também apresentaram uma perda menor, tendo uma perda média de 6,94%.

As pastilhas de Argila/SPL também apresentaram uma baixa retração linear quando comparadas as pastilhas de SPL e uma retração quase equivalente as de Argila. A média de retração foi 0,34% e a perda ao fogo apresentou uma média de 11,50%, como pode ser visto na tabela IX.

Tabela IX - Dados Pastilhas Refratárias 850°C

<i>Temperatura de 850°C</i>									
	Pastilha	Diâmetro	Altura	Massa	Diâmetro	Altura	Massa	Retração Linear	Perda ao Fogo
<i>SPL</i>	1	25,53	2,59	2,44	24,89	3,62	1,75	2,51	28,28
	2	25,48	2,54	2,45	24,37	4,06	1,83	4,36	25,31
	3	25,50	2,57	2,46	24,27	4,11	1,72	4,82	30,08
	4	25,50	2,56	2,45	24,52	4,34	1,86	3,84	24,08
							Média	3,88	24,08
<i>Argila</i>	5	25,59	2,54	2,49	25,53	2,57	2,26	0,23	9,24
	6	25,66	2,58	2,46	25,58	2,49	2,24	0,31	8,94
	7	25,59	2,55	2,49	25,55	2,53	2,24	0,16	10,04
	8	25,59	2,53	2,45	25,53	2,57	2,28	0,23	6,94
							Média	0,23	8,79
<i>Argila/SPL</i>	9	25,54	2,54	2,46	25,42		2,21	0,47	10,16
	10	25,54	2,52	2,49	25,42		2,16	0,47	13,25
	11	25,57	2,48	2,48	25,5		2,21	0,27	10,89
	12	25,55	2,53	2,48	25,51	2,19	2,19	0,16	11,69
							Média	0,34	11,50

Na figura 5 é possível observar como as pastilhas ficaram após a sinterização á 850°C.

Figura 5 - Pastilhas após a queima de 850°C

Na figura a cima pode ser visto a mudança no formato das pastilhas de Argila/SPL quando foram submetidas a temperatura de 850°C. Ocorreu uma separação entre o resíduo de SPL e a argila. Este fato impossibilitou calcular a nova altura destas pastilhas.

Na tabela X podem ser observados os dados obtidos a partir da queima das pastilhas a 1000°C. As pastilhas de SPL não suportaram a alta temperatura e ocorreu uma mudança de estado físico das mesmas, impossibilitando assim calcular o novo diâmetro, altura e massa.

As outras pastilhas de SPL e Argila/SPL apresentaram médias de retração linear bem distintas. As pastilhas somente de argila apresentaram uma retração linear média de 0,98%, já as pastilhas de Argila/SPL apresentaram uma expansão de 0,33%.

Na perda ao fogo as pastilhas de Argila apresentaram uma perda menor quando comparada as pastilhas de Argila/SPL. As médias de perda ao fogo foram de 8,69% para as pastilhas de Argila e 13,39% para as pastilhas de Argila/SPL.

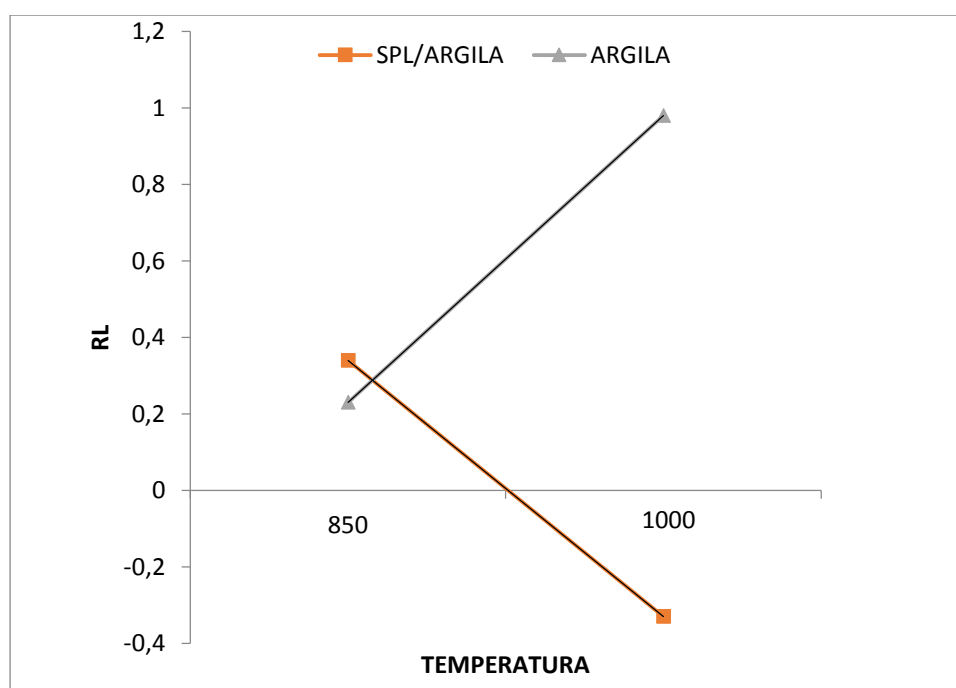
Tabela X - Dados Pastilhas Refratárias 1000°C

		<i>Temperatura de 1000 °C</i>							
	Pastilha	Diâmetro	Altura	Massa	Diâmetro	Altura	Massa	Retração Linear	Perda ao Fogo
<i>SPL</i>	1	25,47	2,56	2,47					
	2	25,49	2,56	2,47					
	3	25,46	2,58	2,47					
	4	25,48	2,70	2,24					
<i>Argila</i>	5	25,47	2,57	2,43	25,25	2,70	2,24	0,86	7,82
	6	25,59	2,57	2,49	25,26	2,65	2,27	1,29	8,84
	7	25,47	2,57	2,49	25,28	2,59	2,26	0,75	9,24
	8	25,55	2,55	2,48	25,29	2,59	2,26	1,02	8,87
							Média	0,98	8,69
<i>Argila/SPL</i>	9	25,50	2,50	2,48	25,58		2,15	-0,31	13,31
	10	25,50	2,50	2,48	25,58		2,15	-0,31	13,31
	11	25,49	2,49	2,49	25,59		2,15	-0,39	13,65
	12	25,51	2,38	2,41	25,59		2,09	-0,31	13,28
							Média	-0,33	13,39

A figura 6 mostra a mudança de estado físico das pastilhas de SPL quando foram submetidas a temperatura de 1000°C. Essa mudança de estado físico durante o processo de sinterização impossibilitou calcular o novo diâmetro, a nova altura e a nova massa.

Figura 6 - Pastilhas após a queima de 1000°C

Na figura a cima (6) também pode ser observado a mudança no formato da pastilha que ocorreu com as pastilhas de Argila/SPL. O resíduo de SPL se expandiu, ocorrendo uma separação entre o mesmo e a Argila. Essa mudança impossibilitou calcular a nova altura deste tipo de pastilha.

Gráfico 5 - Retração Linear entre as temperaturas

A partir do gráfico 5 é possível concluir que as pastilhas de SPL/Argila tiveram um comportamento distinto quando submetidas a diferentes temperaturas. Já as pastilhas de argila tiveram retração linear em ambas as temperaturas. As temperaturas trabalhadas foram de 850°C e 1000°C.

Em 850°C as pastilhas de SPL tiveram uma retração linear, já quando submetida a sinterização na temperatura de 1000°C as pastilhas mudaram de estado físico e impossibilitou a comparação gráfica.

As pastilhas de SPL/Argila tiveram uma retração linear quando sinterizadas a 850°C, já quando submetidas a temperatura 1000°C as pastilhas sofreram uma expansão.

As pastilhas de Argila foram as que obtiveram maior regularidade quando submetidas a diferentes temperaturas, quando sinterizadas elas tiveram apenas retração linear em ambas as temperaturas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Na autoflotação com a utilização de H_2SO_4 a maior eficiência para recuperação do carvão, foi com a utilização de 150g (15%) de SPL para 1L de solução. Como visto anteriormente com a utilização dessa quantidade de material foi possível recuperar uma média de 10,72% de material.

Na autoflotação com a utilização de NaOH a maior eficiência para recuperação do carvão, foi com utilização de 120g (12%) de SPL para 1L de solução. Com a utilização dessa porcentagem de material seco foi possível recuperar em média 9,38% de material.

Entre as autoflotações ácidas e básicas, a autoflotação ácida (H_2SO_4) foi a que possibilitou uma maior recuperação de carvão. Na Autoflotação ácida foi utilizado 1ml de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) para cada 1L de solução.

A flotação com o material provindo da autoflotação, não possibilitou uma recuperação de material satisfatória. Este fato possivelmente ocorreu devido a recuperação considerável durante o tratamento do material via Autoflotação ácida.

Em altas temperaturas o resíduo de SPL teve seu estado físico alterado. Quando o resíduo foi submetido a temperatura de $1000^{\circ}C$ o mesmo passou de sólido para líquido e posteriormente se fixou na cama de pastilhas.

A sinterização das pastilhas de Argila/SPL, provoca a separação dos compostos. Quando tratado em $850^{\circ}C$ e $1000^{\circ}C$ ocorreu a separação entre a Argila e o SPL.

5.2 Sugestões

Utilização de aditivos para melhor estabilizar as pastilhas. As pastilhas de Argila/SPL tiveram seus compostos separados, é suposto que com a adição de aditivos, os mesmos se fixem e a pastilha permaneça com seu formato inicial.

Trabalhar com cargas diferentes na confecção das pastilhas. Aplicar diferentes cargas nas pastilhas no processo de confecção pode ocasionar uma maior fixação, impossibilitando assim que as mesmas mudem seu formato durante o processo de sinterização.

Realizar ensaios de flexão com as pastilhas. Este irá determinar o módulo de elasticidade, ruptura na flexão, tenacidade e resiliência.

Realização de reprocessamento do material não autoflotado. Após a Autoflotação realizar a secagem do material, fazer a desagregação do mesmo e aplica-lo novamente na Autoflotação. Este reprocessamento poderá proporcionar uma maior recuperação do carvão.

Após o reprocessamento do material não autoflotado, realizar flotação com o mesmo. É possível que realizando flotação com o material reprocessado possa ser recuperado mais carvão.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____. NBR 13817- 1997: Placas cerâmicas para revestimento - Classificação.
- _____.
- _____. NBR 6459-1984: Solo- Determinação do limite de liquidez
- _____.
- _____. NBR 7182- 1986: Solo- Ensaio de compactação
- _____.
- _____. NBR 8382- 1986: Refratários - Materiais refratários não conformados - Preparação de corpos-de-prova de concretos para projeção, concretos isolantes, concretos densos e concretos de fluência livre.

ACERO, L, Mining and Environment: Chapter 7. **Environmental Management in the Bauxite, Alumina, and Aluminium Industry in Brazil**, International Development and Research Centre, 1999. Acesso em 21/05/2015) <http://idl-bnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/25453/1/112075_p223-266.pdf >.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio De Janeiro: ABNT, 2004. (NBR 10004).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL. **Alumínio para as futuras gerações**. São Paulo: 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL. **Fundamentos do alumínio e suas aplicações**. São Paulo: Maio/2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL. **Relatório de Sustentabilidade da Indústria do Alumínio**. 2006/2007.

CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antonio Eduardo Clark. Britagem. In: CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antonio Eduardo Clark. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Cap. 1

SCHULLER, D.; BIANCHI, E.c.; AGUIAR, P.r. **Influência de defeitos e diferentes processos de fabricação nas propriedades mecânicas finais de cerâmicas**. Cerâmica, Bauru, v. 54, p.435-442, 2008.

LAZARINOS, Jose Giovanni Concha. **Tratamento de Revestimentos Gastos de Cuba Eletrolítica da Indústria do Alumínio**. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MOURA, Alan Rabelo de Souza; FERREIRA, Emílio Henrique Ferreira e; FUKUSHIMA, Felipe Kiyoshi. **Processos de Obtenção do Alumínio**. 2008. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Para, Belem, 2008. Disponível em:
<http://www.ufpa.br/getsolda/docs_graduacao/Trab_obt_aluminio.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2015.

PRADO, U.S., MARTINELLI, J.R., SENE, F.F., BRESSIANI, J.C. **Obtenção de vidros e vitro-cerâmicos utilizando lama vermelha gerada na produção de alumínio**. 50° Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2006, Blumenau. In: Anais do 50° Congresso Brasileiro de Cerâmica.

PRADO, Ulisses Soares do. **Nova Alternativa Para Reaproveitamento do Resíduo Perigoso Gerado na Produção de Alumínio Primário (SPL): Obtenção de Vidros Opacos e Fritas**. 2008. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências na área de Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008

Restrictions-Background Document to Establish the Effective Date for Amended Treatment Standards for Spent Aluminum Potliners (Proposed Rule). Office of Solid Waste, 2000.

REVISTA ALUMÍNIO, Inovação e sustentabilidade. **Perspectivas do Mercado de Alumínio**. São Paulo. Disponível em: <http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/11/artigo210562-1.asp> Acesso em: 29 maio 2015.

SANTANA, André Luiz. Sumário Mineral 2013. DNPM/PA. Disponível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8964 – acessado em 21/05/2015

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), Land Disposal
WEINSTEIN, L.h; DAVINSON, A.w. **Fluorides in the Environment**. London: Cbi Publishing, 2003. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=hll2t6FVmgkC&oi=fnd&pg=PR6&dq=fluorides+in+the+environment+effects+on+plants+and+animals&ots=sy6uVzqOUp&sig=DS3TalJwPScFqLLr0FVjAti0wks#v=onepage&q=fluorides in the environment effects on plants and animals&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=hll2t6FVmgkC&oi=fnd&pg=PR6&dq=fluorides+in+the+environment+effects+on+plants+and+animals&ots=sy6uVzqOUp&sig=DS3TalJwPScFqLLr0FVjAti0wks#v=onepage&q=fluorides+in+the+environment+effects+on+plants+and+animals&f=false)>. Acesso em: 28 maio 2015.