Viabilidade de Insumos com a Finalidade de Aperfeiçoar o Processo de Blendagem de Resíduos Pastosos para Coprocessamento.

REVISTA ELETRÔNICA MULTIDISCIPLINAR
UNIFACEAR

Clarice Ulrich Parron[1], Cynthia Regina de Carvalho[2], Fábio Amaury Toffoli[3]
Unifacear Centro Universitário

RESUMO

Tendo em vista que a blendagem de resíduos tem sido uma maneira sustentável, de modo a substituir combustível derivado do petróleo pesquisa-se sobre a viabilidade de insumos com finalidade de aperfeiçoar o processo de blendagem de resíduos pastosos para coprocessamento, a fim de buscar insumos com poder calorífico significativo para aumentar o valor energético do *blend*. Portanto foi necessário identificar os resíduos utilizados na blendagem e suas especificações, analisou-se dados energéticos da glicerina, isoparafina e vaselina, foi realizado análises de padrões para cimenteiras e adequar qual insumo se enquadra no processo. Realizou-se então uma pesquisa de natureza aplicada com abordagem quantitativa, objetivo exploratório e procedimento experimental. Diante disso, verificou-se que a glicerina apresentou menor rendimento sendo necessário usar uma quantidade maior em relação a vaselina e isoparafina. A que impõe constatação de que é possível inserir ao *blend* um insumo de potencial energético elevado para obter padrões exigidos por cimenteiras para substituição de combustível fóssil.

Palavras chave: Blendagem, coprocessamento, potencial energético, cimenteiras.

ASTRACT

Considering that blending of residues has been a sustainable way, in order to substitute fuel derived from petroleum, research is carried out on the freasibility of inputs in order to improve the blending processes of pasty residues for co-processing, in order to find inputs with significant calorific power to increase the energy value of the blend. Therefore, it was necessary to identify the residues used in the blending and its specifications, analyzed energy data from glycerin, isoparaffin and vaseline, carry out pattern analyzes for cement plants and adjusted which inputs fits into the process. Applied research with quantitative approach, exploratory objective and experimental procedure. Therefore, it was found that glycerin had a lower yield, being necessary to use a larger amount compared to vaseline and isoparaffin. The one that imposes the verification that it is possible to insert into the blend an input with high energetic potential to obtain the standards demanded by cement companies for fóssil fuel replacement.

Key words: Blending, co-processing, energetic potential, cement plant.

1 INTRODUÇÃO

Blendagem é processo de mistura homogeneizada de resíduos de diferentes geradores a fim de gerar um *blend* compatível com combustível para abastecimento em fornos de cimenteiras, reduzindo assim os custos e diminuindo o impacto ambiental.

A queima de resíduos em cimenteiras deve seguir duas regras simples: uma como reaproveitamento de energia, afim de substituir o combustível fóssil utilizado; e a outra é o reaproveitamento do resíduo como matéria-prima, mas seguido da condição de que o resíduo destruído tenha propriedades equivalentes dos elementos usados na produção do clínquer (MUNIZ, 2004).

O coprocessamento é a destinação final de resíduos gerados por muitas empresas e industrias, esses resíduos podem ser sólidos, líquidos ou pastosos, como substancias oleosas, resinas, colas, tintas, solventes, solo contaminado, papel e outros resíduos mais específicos. Esses são destinados para aterro sanitário industrial que possua a tecnologia adequada.

O resíduo é analisado individualmente para se obter seu potencial, e direcionado para a baia compatível com seus parâmetros. Com o resultado de cada resíduo pode se realizar as misturas afim de chegar nos resultados mínimos exigidos, onde o poder calorífico superior (PCS) deverá ser acima de 1500Kcal/Kg, o mesmo significa a energia liberada durante a combustão. Analisa-se o ponto de fulgor que nos proporciona saber o momento exato do início da queima, não sendo aceito menor a 30°C. Devido à alta concentração de cloro pode ocorrer danificações em tubulações e equipamentos nas cimenteiras, para isso analisa-se a concentração de cloretos de cada *blend*, sendo aceito com resultado inferior a 0,3% de concentração.

1.1 Objetivo Geral

Buscar insumos que agreguem poder calorífico ao *blend* dos resíduos pastosos, com o intuito de aperfeiçoar o processo de blendagem dos mesmos, desse modo alcançando o padrão exigido pelas cimenteiras, onde o resíduo

enviado para coprocessamento deve ter poder energético desejável, sendo acima ou igual a matéria-prima.

1.2 Objetivos Específicos

• Identificar, os resíduos utilizados na blendagem dos refugos pastosos, e suas problemáticas.

• Levantar os dados energéticos da Glicerina, Isoparafina e Vaselina.

• Utilizar a análise de PCS (Poder Calorifico Superior), ponto de fulgor e cloretos para alcançar o objetivo.

• Adequar qual insumo se enquadra no processo, através das análises laboratoriais e seguindo as normas ambientais.

1.3 Problema de Pesquisa

A blendagem de resíduos é utilizada como forma substituição de matéria-prima em cimenteiras, onde ao ser queimado gera energia suficiente para produzir o clínquer (pré-cimento). Neste processo é realizado a mistura de diversos resíduos específicos com alto poder calorífico, para então o *blend* ser enquadrado nos paramentos solicitados pela cimenteira. Porém, os resíduos recebidos nem sempre atendem o alto poder calorífico bem como o ponto de fulgor, sendo necessário diversas misturas de resíduos até que o *blend* final seja viabilizado para o envio às cimenteiras. O que leva a empresa ter atraso no envio do combustível como também a dificuldade de viabilizar grandes quantidades de *blend*. Tendo em vista esse problema, se faz necessário o estudo de insumos alternativos para que sejam inseridos no *blend* a fim de corrigir a baixa qualidade dos resíduos recebidos. Consideramos a utilização de insumos fixos para o aperfeiçoamento do processo de blendagem, como esses insumos podem atender os parâmetros exigidos?

1.4 Justificativa

O processo de blendagem de resíduos pastosos para coprocessamento, tem como propósito destinar os resíduos de maneira que seja sustentável, de modo a substituir o uso de combustíveis fósseis, sendo esse o carvão de coque.

> A prática do coprocessamento de resíduos na indústria de cimento tem se expandido devido à necessidade crescente de uma destinação ambiental e socialmente mais adequada de resíduos provenientes de diversos processos industriais. (ROCHA, LINS, SANTO, 2011, p. 1)

Segundo o Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA), designa a condição e os parâmetros para requisição e emissão de autorizações ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com a finalidade de substituição de matéria-prima ou aproveitamento energético. Desse modo, os resíduos pastosos destinados para blendagem devem ter a autorização ambiental, para que possa ter o destino de coprocessamento. Tem se como caráter que cada resíduo possuí um poder energético distinto, no qual o *blend* dos resíduos pastoso deve estar com poder calorifico exigido pela CEMA (2009), onde resíduos energéticos ou mistura de resíduos, substitutos de combustível, com poder calorífico superior (PCS) acima de 1.500 kcal/kg. Desse modo o processo para se alcançar o parâmetro necessário demanda qualidade do resíduo utilizado para que se tenha o aproveitamento total do *blend* (CEMA, 2009).

Os resíduos recebidos com baixo poder calorifico ficam armazenados por muito tempo, ocupando espaço e dificultando todo o processo de blendagem. Isso acontece devido a precariedade de recebimento dos resíduos com poder calorífico além das expectativas para compensar a insuficiência calorífica dos resíduos anteriores. A junção de um insumo com altíssimo poder calorífico ajudaria a balancear o *blend*, conseguindo então, realizar mais lotes para a destinação deste combustível alternativo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste artigo foram denotados os tópicos essenciais que seriam tratados no decorrer da pesquisa para fundamentar o estudo. Com base no objetivo exploratório e considerando o problema de pesquisa, foram definidas as temáticas abordadas no presente trabalho.

2.1 Industria Cimenteira

A indústria de cimento busca constantemente reduzir custos através da qualidade de combustíveis empregues na fabricação do clínquer. Onde se averigua a melhoria do processo para redução do impacto ambiental sem que haja a perda da qualidade do produto final (CARPIO, 2005).

A fabricação de cimento é o processo de calcinação onde é realizado a fusão de um material que é formado com cerca de 94% de calcário, 4% de argilas e 2% de óxidos de ferro e alumínio em um forno rotatório, que é produzido o clínquer, onde é operado em temperaturas de 1.450°C, podendo oscilar a 2.000°C. Em virtude das altas temperaturas empregadas nos fornos rotativos de clínquer, é requerido a demanda de extensas quantidades de combustíveis. De maneira que as cimenteiras estão sendo confrontadas a respeito da sustentabilidade devido ao alto consumo de combustíveis (ROCHA, LINS, SANTO, 2011).

Por efeito do alto consumo de calor no processo de fabricação de clínquer na produção de cimento, é ideal a aplicação de combustíveis de baixo custo sem perder a qualidade do processo. O coprocessamento é uma alternativa de recursos energéticos onde os resíduos industriais são substituintes do combustível primário e contribuem com a matéria-prima para a produção do clínquer mediantes as suas cinzas. Este processo constitui-se principalmente na troca do combustível tradicional por um resíduo (CARPIO, 2005).

2.2 Coprocessamento

A *Global Cement and Concrete Association* (GCCA) traduzida para o nosso idioma como Associação Global de Cimento e Concreto, explica que o coprocessamento é empregado no processo de fabricação para fins de gerar energia na redução do consumo de combustíveis e matérias-primas. No qual os fornos de cimento proporcionam condições ideais para o coprocessamento sendo assim uma solução sustentável com a conversão de resíduos em energia (GCCA, 2018).

O coprocessamento em fornos de clínquer é definido como:

> Técnica de utilização de resíduos industriais a partir do seu processamento como substituto parcial de matéria-prima e/ou de

> combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento. (FERRARI, 2014, p.4)

Já para Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) o coprocessamento é definido como:

> Tecnologia de destinação sustentável e ambientalmente adequada para os resíduos gerados de diversas origens. Tem como principal objetivo eliminar os resíduos nos fornos de cimento sem gerar novos passivos ambientais, contribuindo para a preservação de recursos naturais, por substituir matérias-primas e combustíveis tradicionais no processo de fabricação do cimento. (ABCP, 2020, p.4)

Os substitutos da matéria-prima podem ser feitos através dos resíduos, para que isso aconteça, as características dos componentes devem ser similares com os empregados na produção do clínquer. Os resíduos que não substituem a matéria-prima podem ser coprocessadas, devendo ser comprovado os ganhos ambientais e sejam autorizados pelo órgão ambiental competente. Já os resíduos que podem ser utilizados na substituição do combustível para o coprocessamento, devem ter ganhos de energia comprovada (CONAMA, 2020).

É considerado ganhos ambientais como:

> I - A redução de emissão de substâncias poluentes, gases de efeito estufa, entre outros;
> II - A eliminação ou a redução da necessidade de disposição final de resíduos;
> III - A despoluição de áreas ou cursos hídricos;
> IV - Do coprocessamento se apresentar como uma tecnologia ambientalmente mais adequada e segura para a destinação final do resíduo; dentre outros. (CONAMA, 2020, p. 1)

O CEMA regula alguns paramentos para ser aceito o coprocessamento de resíduos. São eles:

> I - Resíduos energéticos ou mistura de resíduos, substitutos de combustível, com poder calorífico superior (PCS) acima de 1.500 kcal/kg;
> II - Resíduos com poder calorífico superior (PCS) acima de 1.000 kcal/kg, quando destinados à mistura, dentro ou fora do estado, com resíduos de maior poder calorífico ou para pontos de alimentação específicos que necessitem entradas com menor poder calorífico, desde que não ultrapassem as concentrações estabelecidas no inciso XI do art. 3º. (CEMA, 2009, p.1)

O controle e recebimento dos resíduos pela organização responsável, devem seguir alguns parâmetros, como realizar análises dos resíduos por meio de metodologia de amostragem, com o propósito de determinar as propriedades físico-químicas (CONAMA, 2020).

A amostragem do resíduo deve coletar as informações como: a incompatibilidade com outros resíduos, verificar os parâmetros analisados em cada resíduo, a realização de métodos de amostragem e análise com o objetivo de limites de quantificação e verificar a característica do produto garantindo a rastreabilidade dele (CONAMA, 2020).

"O transporte de resíduos ou de mistura de resíduos para as unidades de coprocessamento, deverá ser realizado de acordo com os dispositivos legais vigentes" (CONAMA, 2020 p. 1).

2.3 Poder Calorifico Superior

O Poder Calorifico Superior (PCS) é a liberação de energia durante a combustão completa de um combustível, isto representa uma medida termodinâmica. Em um sistema de geração de calor, pode ser avaliada a utilização de um ou outro combustível. A influência do PCS é realizada pelo conjunto de propriedades do combustível, como a composição química original (COSTA *et al.*, 2009).

> É a quantidade de calor produzida pela queima completa da unidade de massa de um combustível sólido ou líquido em volume constante, dentro de uma bomba calorimétrica contendo oxigênio nas seguintes condições: pressão inicial do oxigênio de 20 a 40 atm, temperatura final de 20 a 35º C, produtos na forma de cinzas, umidade presente no combustível e água resultante da combustão condensadas (água líquida), SO_2, CO_2 e N_2 gasosos. O valor do PC é dito superior porque se recupera o calor de condensação da água (ASTM, 2007, p.11).

A aceitabilidade da propriedade energética do *blend* de resíduos pastosos para coprocessamento, tem como parâmetro a ser utilizado o valor calorífico do combustível, sendo acima ou igual ao valor 1500kcal/kg (CEMA, 2009).

2.4 Ponto de Fulgor

Define como ponto de fulgor, um produto que em menor temperatura vaporiza-se em quantidade capaz de formar com o ar uma mistura autossuficiente para inflamar-se momentaneamente quando aplicado uma fagulha sobre a massa (FARAH, 2012).

Análise do ponto de fulgor é realizada em vaso fechado onde é colocada uma amostra que é disposta a chama e aquecimento de forma padrão, a inflamabilidade é gerada a partir dos vapores originados da amostra. Essa análise é realizada a fim de garantir a segurança no transporte e armazenamento dos resíduos (GUZATTO, 2010).

2.5 Determinação de Cloretos

É importante a determinação de cloretos, pois em altas concentrações de cloro resultam em danificações nos equipamentos, por este motivo é realizado análises com a finalidade de evitar incrustação, melhorando o coprocessamento de resíduos (CARVALHO, COSTA, PFEIFFER, 2018).

Por efeito das altas temperaturas no segmento final do forno está presente a matéria-prima, ou combustível, os cloretos são volatilizados e arrastados pelos gases para a entrada do forno, ao se depararem com temperaturas amenas, de aproximadamente 800 ºC, esta substância condensam, passando novamente no interior do forno. A condensação pode ocorrer no interior do forno rotativo ou já na torre de ciclones do pré-aquecedor, devido ao alinhamento térmico, ocasionando incrustações que obstruem os ciclones, necessitando de manutenção de retirada das impurezas, podendo ocasionar a parada da linha de produção. A utilização de matéria-prima e combustível que tenham níveis de cloretos baixos, são fundamentais para a vida útil do forno (PIO, et al., 2000).

Conforme o CONAMA (2020), a aceitabilidade do limite de teor de cloretos para coprocessamento é de 0,3%.

2.6 Glicerina

Na sua forma pura o glicerol tem aspecto líquido incolor, inodoro, viscoso e higroscópico, podendo ser solúvel em água e álcool, sendo insolúvel em éter e clorofórmio. O glicerol é a denominação do composto orgânico 1,2,3-propanotriol. É encontrado em vegetais e em alguns animais, em formas combinadas com ácidos graxos. O termo glicerina se aplica aos produtos comerciais purificados usualmente compondo-se mais de 95% de glicerol, diferem um pouco em sua natureza, outras características são a cor, odor e traço de impurezas (APPLEBY, 2004).

A Glicerina tem como característica o pH 7,4, seu ponto de fulgor é 199°C em vaso fechado, o ponto de fusão é 18ºC, ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição é 290°C a 760 mmHg (FISPQ, 2021a).

Sua temperatura de autoignição de 429°C, o forte aquecimento neste produto químico pode formar misturas explosivas com o ar, a combustão do produto ou de sua embalagem pode formar gases irritantes e tóxicos como monóxido e dióxido de carbono. Ocorre a possibilidade de reações perigosas e com explosão com os produtos químicos: halogênios, agentes oxidantes fortes, compostos peroxidados, ácido nítrico, ácido sulfúrico concentrado, peróxido de hidrogênio, percloratos e nitrilos. Também há risco de inflamação ou formação de gases ou vapores inflamáveis com: permanganato de potássio, óxidos de halogênios, hidretos, óxido de crómio-(VI) e a reação exotérmica com: Óxidos de fósforo (FISPQ, 2021a).

Já os materiais incompatíveis com a glicerina são: Ácido nítrico, Ácido sulfúrico, Agentes Oxidantes Fortes, Óxidos de fósforo e Peróxido de hidrogênio.

O armazenamento da glicerina deve ser em ambiente ventilado não excedendo 35ºC e longe da luz solar, mantendo o produto fechado. A adição de estabilizantes e antioxidantes não são necessários para garantir a durabilidade do produto (FISPQ, 2021a).

A glicerina apresenta baixo potencial bioacumulativo em organismos aquáticos, sendo considerado um produto rapidamente degradável. O descarte deste material deve cumprir as leis vigentes municipal, estadual e federal (FISPQ, 2021a).

2.7 Isoparafina

A Isoparafina é uma mistura de isômeros de hidrocarbonetos alifáticos ramificados saturados, com composição típica, conforme número de átomos de carbono na molécula. Alcanos C8 –10-iso e Alcanos C10-14-iso, onde possui um odor característico de solvente (FISPQ, 2021b).

Os hidrocarbonetos são formados por hidrogênio e carbono, considerados como compostos orgânicos. Conforme a sua estrutura são classificados como saturados, insaturados e aromáticos. É denominado de alcanos ou parafinas. Os átomos de carbono são unidos somente por ligações simples e ao maior número de átomos de hidrogênios, organizam-se por cadeias ramificadas, lineares ou cíclicas, interligadas ou não. Os hidrocarbonetos insaturados, podem ser chamados de Olefinas, retratam no mínimo uma dupla ou tripla ligação carbono-carbono. Já os hidrocarbonetos aromáticos são denominados como Arenos, estes retratam no mínimo um anel de benzeno em sua estrutura (THOMAS, 2001).

As parafinas são substâncias inodoras, insípidas e atóxicas, comumente insumos estáveis e têm baixa condutividade térmica, acumulando energia, da mesma forma que a condução elétrica é baixa (HURTADO, 2016).

A isoparafina é considerado um artigo perigoso, produto classificado na classe 3, Líquidos Inflamáveis, conforme a resolução número 5232, 14 de dezembro de 2016 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), isto faz com que a manipulação deste produto químico seja de forma cautelosa e cuidadosa. A isoparafina tem ponto de fulgor em vaso fechado de 52,5ºC, tendo autoignição a temperatura superior a 336ºC (FISPQ, 2021b).

A incompatibilidade deste produto são: Agentes oxidantes fortes, cloro, flúor, perclorato de magnésio (FISPQ, 2021b).

Para o manuseio e manipulação, deve-se manter num local ventilado e fora da luz solar, manter os vapores inferior ao limite de tolerância e embalagem fechada. Manusear o produto longe de fontes de ignição, chamas abertas e fagulhas. O descarte deste material deve cumprir as leis vigentes municipal, estadual e federal (FISPQ, 2021b).

2.8 Vaselina

Os Hidrocarbonetos de petróleo também conhecido como vaselina, tem a composição química misturada de hidrocarbonetos parafínicos e aromáticos (FISPQ, 2021c).

A vaselina líquida tem como aspecto ser um líquido oleoso transparente, incolor, sem fluorescência, não exala odores, sem sabor, sendo um produto solúvel em solventes apolares (PANICK, JORGE, 1958).

Tem se como propriedade que o ponto de fulgor seja superior a 150°C, tendo autoignição a temperatura superior a 260ºC, a combustão normal produz dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água, óxidos de enxofre e nitrogênio. A combustão incompleta pode produzir monóxido de carbono (FISPQ, 2021c).

O armazenamento da vaselina liquida deve ser alojada em temperatura ambiente, em local fresco e arejado, a temperatura superior a 60ºC podem degradar o produto químico. Não pode ser armazenado com materiais combustíveis e produtos incompatíveis, como exemplo: Oxidantes fortes (peróxidos, cloratos, ácido crômico. Este produto não se enquadra no transporte de produtos perigosos, conforme a resolução número 5232, 14 de dezembro de 2016 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) (FISPQ, 2021c).

É um produto químico nocivo para o meio ambiente, principalmente para organismos aquáticos, o descarte deste material deve cumprir as leis vigentes municipal, estadual e federal (FISPQ, 2021c).

3. METODOLOGIA

No contexto de desenvolvimento metodológico foram tratados os parâmetros de pesquisas para o alcance dos procedimentos e resultados para a execução do presente trabalho de conclusão de curso.

3.1 Tipo de Pesquisa

O objetivo desta pesquisa tem como importância alcançar os critérios de aceitação da viabilidade de insumos com a finalidade de aperfeiçoar o processo de

blendagem de resíduos pastosos para coprocessamento, através de análises e resultados obtidos na pesquisa de campo.

Este artigo pode ser classificado de natureza aplicada com abordagem quantitativa, objetivo exploratório e procedimento experimental.

A compreensão cientifica é concebida através dos procedimentos metodológicos, que atuam de modo a indagar o real modelo de organizar e ordenar seguindo normas técnicas, com a finalidade de retrucar os acontecimentos de casos e causas (ZANELLA, 2009).

Para Zanella (2009), a pesquisa quantitativa “preocupa-se com representatividade numérica, isto é, com a medição objetiva e a quantificação dos resultados”.

O traçado experimental de pesquisa, proporciona alto grau de compreensão, acerto e objetividade aos resultados (GIL,1991).

3.2 Definição do Ambiente

As análises foram realizadas no laboratório da empresa Solvi Essencis Ambiental na cidade de Curitiba/PR; o *blend* utilizado foi misturado em bancada com amostras correspondentes aos resíduos estocados no galpão da empresa. Para os testes laboratoriais foram estabelecidas proporções *blend*/insumo de 90/10, 80/20 e 70/30, desta forma podendo averiguar o comportamento dos insumos.

Os equipamentos utilizados para realizar as análises para a pesquisa, foram, balança analítica, calorímetro isoperibólico da marca Parr Instrument modelo 6400 e ponto de fulgor vaso fechado Quimis.

3.3 Procedimento para Coleta de Dados

Foi utilizado o método de processo quantitativo para a abordagem de dados que foram coletados através das análises de poder calorífico superior, ponto de fulgor e cloretos.

3.3.1 Preparo das Amostras Para Análise

Utilizou-se do *blend* que foi realizado em bancada com resíduos que estão estocados no galpão da unidade de Curitiba. Para os testes laboratoriais foram estabelecidas proporções entre o *blend* e o insumo de 90/10, 80/20 e 70/30, com isso podendo verificar o comportamento do *blend* e do insumo utilizado.

FIGURA 1 - GLICERINA E AMOSTRA DO *BLEND*



Fonte: Os Autores (2021)

FIGURA 2 - VASELINA E AMOSTRA DO *BLEND*



Fonte: Os Autores (2021)

FIGURA 3 - ISOPARAFINA E AMOSTRA DO *BLEND*



Fonte: Os Autores (2021)

3.3.2 Análise Poder Calorífico Superior

Análise de poder calorífico superior, inicialmente pesa-se 0,5g de amostra e 0,5g de ácido benzoico, de acordo com o manual do equipamento Automatic Isoperibol Calorimeter 6400 o peso total entre a amostra e o ácido benzoico não deve ultrapassar 1g, por questão de segurança operacional do equipamento. Após a pesagem, a amostra é colocada no calorímetro isoperibólico automático. O PCS foi atingido através do calorímetro com bomba de oxigênio marca Parr modelo 6400 (PARR INSTRUMENT COMPANY, 2010).

FIGURA 4 - CALORÍMETRO ISOPERIBÓLICO AUTOMÁTICO PARR MODELO 6400



Fonte: Os Autores (2021)

3.3.3 Análise de Ponto de Fulgor

Conforme a NBR a determinação de ponto de fulgor:

> Amostra é aquecida lenta e constantemente sob agitação contínua, na cuba de ensaio de bronze com tampa, ambas de dimensões especificadas. Uma fonte de ignição é direcionada ao interior da cuba, a intervalos regulares com a interrupção simultânea da agitação (NBR 14598,2000).

A amostra é adicionada na cuba de bronze, deve-se posicionar a tampa sobre a cuba e colocar o conjunto no aparelho, o posicionamento do dispositivo deve estar travado, inserindo o termômetro no suporte. Em seguida acender a chama, e regular para 3,2mm a 4,8 mm. Na sequência ligar o equipamento para ir aquecendo e acionar a ventoinha que faz girar em sentido descendente, de 1°C/min a 1,5°C/min pausando o processo de homogeneização da amostra para a verificação da chama (NBR 14598, 2000).

FIGURA 5 - PONTO DE FULGOR VASO FECHADO QUIMIS



Fonte: Os Autores (2021)

3.3.4 Análise de Cloretos

O procedimento utilizado para quantificar os íons cloreto será o método de Mohr, para determinação de cloretos, a titulação deve estar neutra ou moderadamente alcalina de íons cloreto com solução padrão de nitrato de prata, acrescido uma baixa dose de solução de cromato de potássio que atua como indicador, ponto final o primeiro excesso do íon prata reagirá com o indicador ocasionando a precipitação do cromato de prata vermelho (VOGEL,1992).

FIGURA 6 - ANÁLISE DE CLORETOS



Fonte: Os Autores (2021)

3.3.5 Parâmetros de Aceitabilidade das Cimenteiras

As cimenteiras seguem as normas ambientais que determinam alguns parâmetros, tais como o PCS (Poder Calorifico Superior) que deve ser de 1500Kcal/Kg e o limite de cloretos deve apresentar no máximo 0,3%, conforme descrito pelo CONAMA, já o ponto de fulgor é um parâmetro interno das cimenteiras onde solicitam o mínimo de 30°C.

3.4 Análise de Dados

As análises realizadas irão ajudar a contrastar nos dados recebidos a partir dos resultados expostos em tabela, tendo em vista o comparativo das análises presentes para a melhoria do processo de blendagem de resíduos pastosos para o coprocessamento. O objetivo propõe averiguar qual insumo se adequa melhor ao processo de blendagem, podendo ser confrontado qual o insumo é preferível a ser utilizado posteriormente através dos dados levantados nas tabelas utilizadas para demonstrar a performance dos insumos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foi verificado as amostras presente em laboratório e seus respectivos dados para a escolha dos resíduos que formariam o *blend*.

TABELA 1 – AMOSTRAS DE RESÍDUOS

RESÍDUO	PCS (Kcal/g)	PONTO DE FULGOR	CLORETOS
Lodo da ETE	170,33	>70ºC	0,16%
Caixa de gordura	644,80	51ºC	0,01%
Borra de tinta	1174,30	30ºC	0,08%
Mix oleoso	750,10	60ºC	0,42%
Lodo da ETE[2]	215,20	40ºC	0,05%
Mix oleoso[2]	150,15	30ºC	0,15%
Caixa de gordura[2]	290,30	25ºC	0,10%

Fonte: Os Autores (2021)

Como o foco de todo o coprocessamento é o *blend*, foi escolhido dentre todos os resíduos recebidos, amostras que continham menor poder calorífico (PCS), tais como: lodo da ETE, lodo da ETE², Mix oleoso², Caixa de gordura². Devido ao propósito do estudo a melhoria desse *blend* através dos insumos previamente selecionados.

O *blend* dessas amostras foi preparado em laboratório, misturando os resíduos selecionados acima em constante agitação até que se formasse uma mistura homogênea, em seguida realizando as análises de PCS, ponto de fulgor e cloretos do *blend* sem a adição dos insumos. Após isso, também foi realizado as mesmas análises com os insumos: glicerina, isoparafina e a vaselina. Essas análises permitiram identificar individualmente o alto poder calorífico de cada insumo bem como a insuficiência energética do *blend* preparado. Além de analisar o aumento do poder calorífico, não podemos deixar de lado os resultados de ponto de fulgor devido as questões de segurança, onde os insumos não podem reduzir a temperatura mínima estabelecida; e em relação aos cloretos, os insumos não podem aumentar a concentração no *blend*.

Como primeiro passo descobriu-se os valores individuais de cada insumo e do *blend*:

TABELA 2 – ANÁLISES INDIVIDUAIS

	PCS (Kcal/g)	PONTO DE FULGOR	CLORETOS
BLEND	284,40	55ºC	0,10%
GLICERINA	4.097,40	>80ºC	0,001%
ISOPARAFINA	11.094,40	>55ºC	0
VASELINA	11.121,20	>80ºC	0

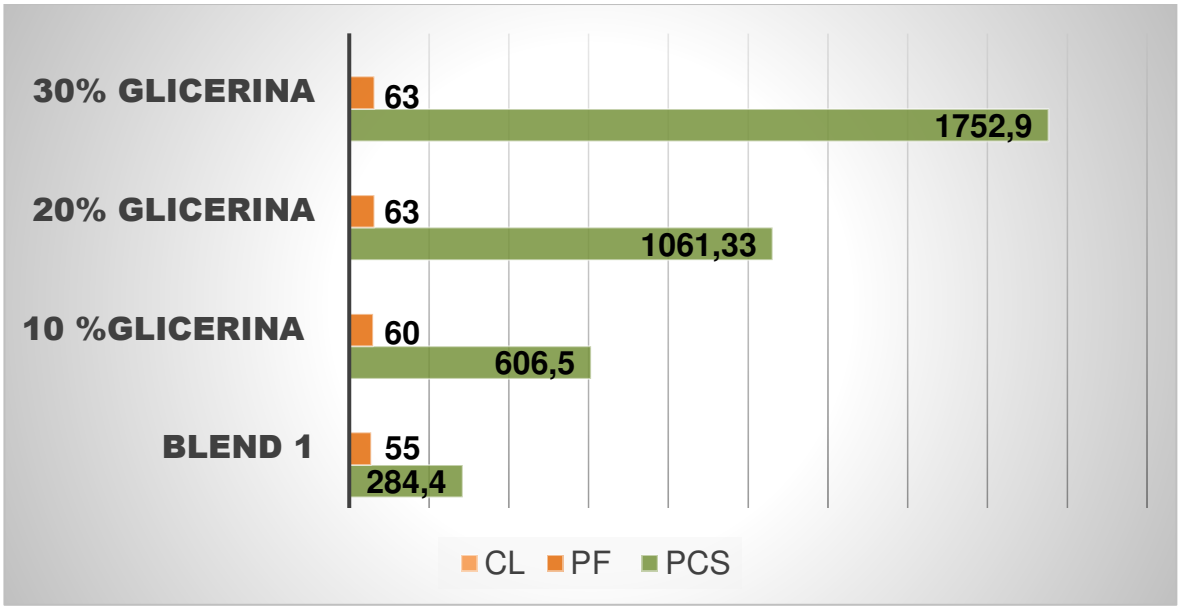
Fonte: Os Autores (2021)

A partir dessa análise inicial, foi possível identificar a baixa qualidade do *blend* realizado em laboratório, devido ao baixo valor de PCS, mostrando que o *blend* não teria poder energético suficiente para ser enviado à cimenteira. Verificando os valores de ponto de fulgor e cloretos, os mesmos se enquadram nos padrões pré-estabelecidos pela cimenteira. Ao comparar os valores apresentados

pelos insumos com os valores mínimos exigidos pela cimenteira, no caso 1.500 Kcal/g de PCS, ponto de fulgor acima de 30ºC e 0,30% de cloretos, os mesmos apresentaram alto poder calorífico, alto ponto de fulgor e concentrações de cloretos baixo/nulo.

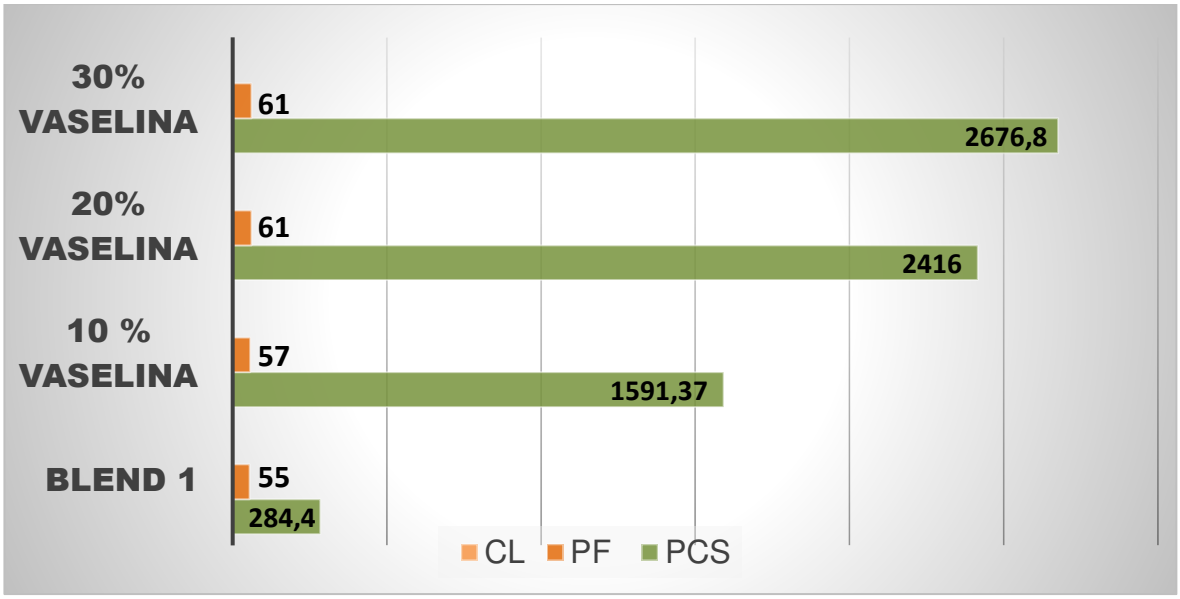
As proporções de *blend*/insumo escolhidas para às análises foram de 90/10, 80/20 e 70/30; pelo fato de no laboratório trabalharmos com pequenas quantidades, essas proporções escolhidas ajudariam na visualização de que o insumo incorporaria no *blend*, para também posterior cálculos de correção em outros *blends* com PCS diferente do estudado e como a intenção é a queima do resíduo recebido, ultrapassando a proporção de 30% de insumo, isso fugiria tanto do propósito da empresa quanto do estudo realizado, acabando por fim dando foco maior no insumo do que no resíduo recebido. Após a definição das proporções que seriam utilizadas, partimos para a mistura do *blend* com os insumos escolhidos, seguindo da mesma forma inicial do preparo do mesmo, sob agitação constante até o insumo incorporar no *blend* formando uma mistura homogênea. Feito misturas foi prosseguido com as análises de PCS, ponto de fulgor e cloretos, obtendo-se os seguintes resultados:

GRÁFICO 1 – RESULTADOS COM A GLICERINA



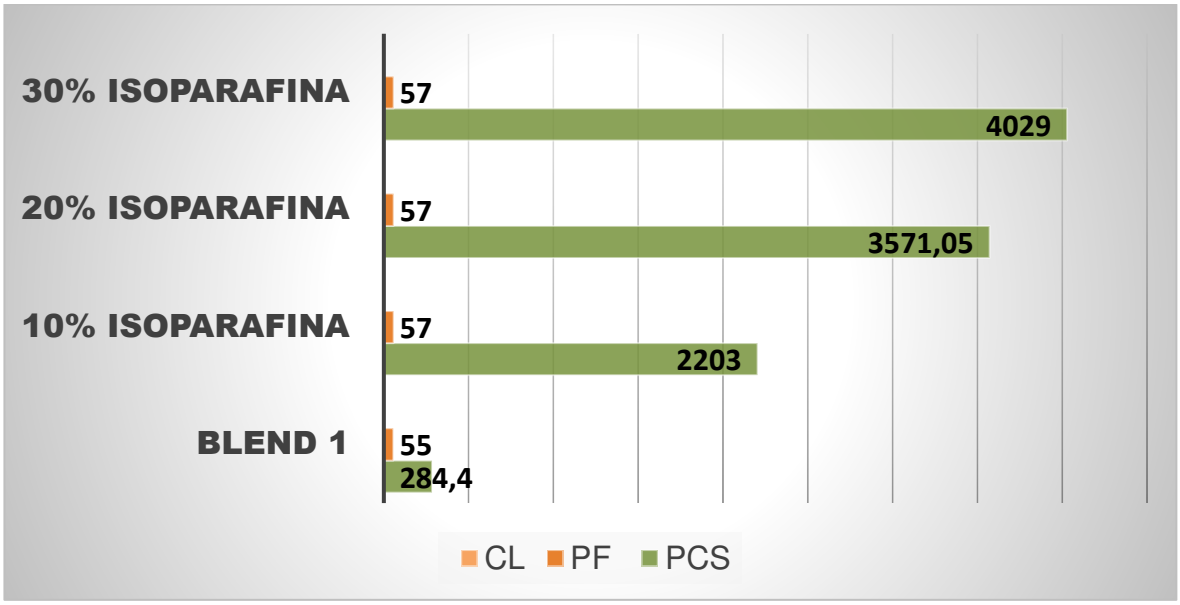
Fonte: Os Autores (2021)

GRÁFICO 2 – RESULTADOS COM A VASELINA



Fonte: Os Autores (2021)

GRÁFICO 3 – RESULTADOS COM A ISOPARAFINA



Fonte: Os Autores (2021)

Partindo inicialmente do valor de 284,40 Kcal/g do *blend* isolado, todas as proporções de mistura dos insumos apresentaram positivamente um aumento energético. Analisando individualmente cada insumo, a glicerina apresentou menor rendimento em comparação a vaselina e a isoparafina, sendo necessário mais de

30% do insumo para que haja a correção do *blend* dentro dos parâmetros de no mínimo 1500 Kcal/g exigidos pelas empresas cimenteiras. Já a vaselina e a isoparafina apresentaram maior rendimento com pouca proporção do insumo, sendo necessário somente 10% dos mesmos. Ao tratarmos do ponto de fulgor todas as amostras analisadas tiveram pouco aumento na temperatura o qual não impacta no resultado final, uma vez que a temperatura do *blend* isolado era de 55°C; valor dentro do padrão esperado de >30°C. Situação semelhante aos cloretos, onde nenhum dos insumos aumentaram a concentração na mistura, permanecendo em 0,10% de cloretos iniciais, onde o máximo permitido é de 0,30% de concentração. Se tratando da ação de misturar os insumos, mesmo a glicerina apresentando menor rendimento comparado aos outros dois outros, foi a que incorporou no *blend* com maior facilidade e a vaselina com uma maior dificuldade devido a sua viscosidade. Ao comparar o processo da mistura realizada no laboratório com a realidade feita nas baias de recebimento, essa dificuldade será minimizada devido as misturas serem feitas com uma escavadeira, proporcionando maior homogeneização nos resíduos depositados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral desse estudo foi encontrar insumos que possam agregar valor energético ao *blend* trazendo aumento do poder calorífico superior (PCS). Comprovamos através das análises individuais dos insumos, que a vaselina, glicerina e a isoparafina possuem um alto valor energético.

Sabendo que maioria dos resíduos destinados para coprocessamento, não alcançam os valores exigidos para a queima, ocorrendo a necessidade de ser estocado por grande tempo, ocupando espaço e dificultando a logística da blendeira, agregamos esses insumos nas proporções 10, 20 e 30% em relação ao *blend*, o qual possui baixo valor energético, para que então pudéssemos analisar o comportamento da mistura.

Utilizou-se do método de processo quantitativo para abordagem dos dados coletados através das análises laboratoriais, estes realizados na empresa Solvi Essencis Soluções Ambientais unidade Curitiba, onde disponibiliza-se os equipamentos adequados para as análises.

Partimos de um *blend* onde o poder calorífico superior (PCS) era de 284,40 Kcal/g, e com apenas 10% de glicerina obteve-se um aumento para 606,50 Kcal/g, esse sendo o insumo que menos apresentou aumento, já a isoparafina com apenas 10% adicionada ao *blend* indicou-se um aumento de seis vezes o valor inicial, para 2.203 Kcal/g. Confirmamos que com os insumos analisados e agregados ao *blend*, aumentou consideravelmente o seu potencial de queima, viabilizando a estratégia de acelerar o processo de envio para cimenteiras e alívio nas baias de recebimento, melhorando o fluxo de entrada e saída de resíduos na blendeira. O preço de compra dos 3 insumos é aproximado, no entanto, a glicerina é a que seria mais próxima de adquirir pelo fato de algumas empresas tê-la como refugo, mas fica como sugestão para estudos futuros a viabilidade financeira do projeto, devido ao fato de ser necessário envolver o setor financeiro, comercial e diretoria da empresa.

REFERÊNCIAS

APPLEBY, Donald. B. **The Biodiesel Handbook**, Cap. 11, p. 255-267, 2004. Disponível em: The Biodiesel Handbook (chemie.ir). Acesso em 23 de junho de 2021 às 21:26.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. **Panorama do Coprocessamento 2020. Uma tecnologia sustentável.** Disponível em: https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2020/10/Panoramaco_processamento_2020_bx.pdf. Acesso em 07 de junho de 2021 às 21:36.

ASTM D 1238 - 94 a, **"Standard test method for flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer"**, Annual Book of ASTM Standards, 1994. apud DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA – USP. Apostila de aulas práticas, 2007. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pqi2110/arquivos/apost-lab-qtg-2014.pdf>. Acesso em: 08 novembro. 2021.

CARPIO, Ricardo Carrasco. **Otimização no Co-processamento de Resíduos na Indústria do Cimento Envolvendo Custos, Qualidade e Impacto Ambiental, 2005.** Disponível em: http://livros01.livrosgratis.com.br/cp049804.pdf. Acesso em 06 de junho de 2021 às 20:33.

CARVALHO, Eraldo Henriques de; COSTA, Claudiene Divina dos Santos da; PFEIFFER, Simone Costa. **Determinação do Teor de Cloro em Resíduos de Embalagens de Plástico**, 2018. Disponível em: https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2019/08/determina%C3%A7%C3%A3o-do-teor-de-cloro-em-res%C3%ADduos-de-embalagens-de-pl%C3%A1stico.pdf. Acesso em 22 de junho de 2021 às 21:04.

Cia. Multiquímica Produtos Químicos. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico**- **FISPQ GLICERINA.** 2021a.

Cia. Nitro Fort Comercial Química Eireli. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico**- **FISPQ ISOPARAFINA.** 2021b.

Cia. Nitro Fort Comercial Química Eireli. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico**- **FISPQ VASELINA LÍQUIDA.** 2021c.

Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA. **Resolução CEMA nº 76 de 30/11/2009.** Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=144181. Acesso em 28 de maio de 2021 às 20:57.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA/MMA nº 499, de 6 de outubro de 2020.** Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-conama/mma-n-499-de-6-de-outubro-de-2020-281790575 Acesso em 28 de maio de 2021 às 19:15.

COSTA, Adilson Ben da; KIPPER, Liane Mählmann; GERBASE, Annelise Engel; DOPKE, Henrique Becker; DAEHN, Cheryl Maureen. **Determinação do Poder Calorífico no Controle de Qualidade de Combustíveis para Sistemas de Geração de Energia e Aquecimento Industrial,** 2009**.** Disponível em: enegep2009_TN_STP_091_615_14073.pdf (abepro.org.br). Acesso em 21 de junho de 2021 às 21:34.

FERRARI, Ronaldo. **Coprocessamento de Resíduos Industriais em Fornos de Clínquer, CIA de Cimento ITAMBÉ, 2014.** Disponível em: https://coprocessamento.org.br/cms/wp-content/uploads/2018/11/Coprocessamento-apostila-Itambe2014.pdf. Acesso em 08 de junho de 2021 às 20:29.

Global Cement and Concrete Association - GCCA. **GCCA Sustainability Guidelines for co-processing fuels and raw materials in cement manufacturing November 2018.** Disponível em: https://gccassociation.org/wp-

content/uploads/2019/03/GCCA_Guidelines_FuelsRawMaterials-v0.pdf. Acesso em 07 de junho de 2021 às 20:12.

GIL, Antônio Carlos, 1946- **Como elaborar projetos de pesquisa** / Antônio Carlos Gil. — 3. ed. — São Paulo: Atlas, 1991.

GUZATTO, Rafael. **Otimização da Metodologia TDSP para Produção de Biodiesel e Projeto de Planta Piloto**, 2010. Disponível em: file:///C:/Users/parro/Downloads/Otimizacao_da_metodologia_TDSP_para_prod.pdf. Acesso em 22 de junho de 2021 às 20:17.

HURTADO, Alonso Ochoa. **Evaluación de Parafina Comercial como Material de Cambio de Fase Para Almacenamiento de Energía,** 2016. Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/198447145.pdf. Acesso em 23 de junho de 2021 às 19:58.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**, Rio de Janeiro: Editora Inter ciência, Rio de Janeiro – RJ, 2001.

FARAH, Marco Antônio. **Petróleo e seus derivados: definição, constituição, aplicação, especificações, características de qualidade.** Rio de Janeiro: LTC, 2012, 226p.

MUNIZ, Ana Rosa Costa. **Otimização da Operação de um Reator de Pirólise de Resíduos Sólidos Industriais, 2004.** Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/30368284.pdf. Acesso em 11 novembro 2021 às 16:30.

NBR 14598, **Produtos de petróleo – Determinação do ponto de fulgor pelo aparelho de vaso fechado Pensky-Marten, 2000,** Disponível em: https://idoc.pub/documents/nbr-14598-produtos-de-petroleo-determinacao-do-ponto-de-fulgor-pelo-aparelho-de-vaso-fechado-qn85qywdekn1. Acesso em 31 de agosto de 2021 às 20:30.

PANICK, JORGE. **Contribución al estudio para la obtención de las vaselinas líquidas a partir de destilados de petróleo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires**,**1958**. Dísponível em: http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0962_Panick.pdf. Acesso em 10 de setembro de 2021 às 21:00.

PARR INSTRUMENT COMPANY. **Automatic Isoperibol Calorimeter 6400.** Operating Instruction Manual For Models Produced after, October 2010.

PIO, Casimiro A. BARROS, José Henrique. CAVALEIRO, José R. FORMOSINHO, Sebastião J. **Parecer Relativo ao Tratamento de Resíduos Industriais Perigosos, 2000.** Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~jotace/cci/Relatorio/Rcom.pdf. Acesso em 05 de novembro de 2021 às 18:23.

ROCHA, Sônia Denise Ferreira; LINS, Vanessa de Freitas Cunha; SANTO, Belinazir Costa do Espírito. **Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer, 2011.** Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/3FybtBWKMpCPqCKSXhVnQvp/?lang=pt&format=pdf. Acesso em 07 de junho de 2021 às 22:07.

VOGEL, A.Mendham, J.; Denney, R.C.; Barnes,J.D.; Thomas,M; **Análise Química Quantitativa**, 5ªEdição. Editora Guanabara,1992.

ZANELLA, Liane Carly Hermes. **Metodologia de estudo e de pesquisa em administração** / Liane Carly Hermes Zanella. – Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2009. 164p.: il.