2004

prêmio MERCOSUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

premio MERCOSUR DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Fontes alternativas de energia - Processo Aperfeiçoado de Conversão Térmica

Gláucia Eliza Gama Vieira

Outubro de 2004

Sumário

Resumo do projeto ——— 3

Introdução ——— 4

Objetivos pontuais ——— 5

Metodologia, resultados, discussão e conclusão ——— 6

Referências Bibliográficas ——— 25

RESUMO

Um dos grandes desafios enfrentado pelos pesquisadores e pela nossa sociedade neste século é a questão da geração e uso eficiente de energia, através da obtenção de fontes alternativas renováveis que substituam ao longo do tempo os derivados de petróleo e que minimizem os impactos ambientais causados pelo uso dos mesmos.

Como opção de desenvolvimento de novas fontes de energia, às biomassas apresentam-se com um enorme potencial de aproveitamento para o setor energético considerando as condições climáticas e de demanda Brasileira, bem como os resíduos sólidos gerados nos processos produtivos, especialmente lodos residuais industriais e domésticos, que geralmente são dispostos em aterros industriais e sanitários sem nenhum tipo de aproveitamento energético.

Sendo assim, surge a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que tenham como principal objetivo obter biocombustíveis a partir de biomassas, resíduos sólidos e desenvolver processos aperfeiçoados de conversão térmica aplicados a estes materiais, para produção de fontes alternativas de energia, sucedâneos do petróleo.

Este projeto de pesquisa, teve como objetivos desenvolver um processo aperfeiçoado de conversão térmica em escala piloto, produzir biocombustível, desenvolver uma metodologia para classificá-lo em um tipo de óleo característico, para ser aplicado para geração de energia a partir da queima em fornos e caldeiras e/ou para ser usado diretamente em motores para geração de energia elétrica.

Os resultados obtidos são promissores, e podem favorecer, dependendo de investimento no setor, futuramente a aplicação desta tecnologia em escala industrial no Brasil e em outros países, a geração de empregos e a implementação de novos mercados.

1- A ESSÊNCIA E A NATUREZA DO PROBLEMA FOCALIZADO

A descoberta de fontes de energia e o desenvolvimento de processos e tecnologias para a sua utilização datam do século XVIII. Inicialmente com o uso da lenha e posteriormente, em função da escassez deste produto para a demanda populacional na época, para o carvão mineral, que resultou em desenvolvimento da indústria metalúrgica[1].

Com o advento do petróleo que aconteceu a cerca de 100 anos, uma nova revolução foi introduzida no mundo industrial e a matriz energética mundial vem sendo fundamentada nesta fonte não renovável de energia. Neste século XXI, as previsões técnicas para a taxa de consumo baseando-se nas tecnologias existentes de extração do petróleo, indicam que esta fonte de energia tende a se esgotar. Além deste fato, o uso de combustíveis fósseis tem contribuído para a intensificação do efeito estufa, para a formação da chuva ácida, de material particulado na atmosfera causando problemas à fauna, à flora e a saúde das pessoas[2].

Em conseqüência alguns processos mecânicos, de extração, químicos e termoquímicos de obtenção de biocombustíveis alternativos a partir de biomassas, resíduos sólidos industriais e domésticos como lodo residual, vem sendo estudados nos últimos anos, a fim de obter novas fontes de energia que possam substituir o petróleo e/ ou aumentar o tempo de utilização do mesmo a partir da promoção de misturas e para

utilização destes combustíveis em caldeiras e fornos para geração de energia elétrica; tendo como base o conceito de desenvolvimento sustentável, que preza pelo crescimento sócio - econômico das gerações presentes levando em consideração a preservação do meio ambiente para as gerações futuras. Esses processos são aplicados por que as biomassas não podem ser utilizadas diretamente em turbinas para geração de energia elétrica, tornando-se mais eficiente o uso do óleo ou o vapor gerado a partir da queima do mesmo para geração de energia elétrica[3,4,5].

Uma outra questão que deve ser considerada é a geração e a disposição de resíduos, que tem sido vivenciada pela sociedade desde o início do seu desenvolvimento, principalmente a partir do crescimento no setor industrial.

Recentemente as atenções em todo mundo voltam-se para a necessidade de mitigar, remediar, evitar e dispor os resíduos gerados nos processos industriais e domésticos de forma adequada sem causar danos ao meio ambiente, ou a fim de aproveitá-los, sendo a opção de aproveitá-los para geração de energia, uma alternativa que consegue resolver dois problemas simultaneamente, de ordem ambiental e energética, considerando um alto quantitativo de geração de resíduos sólidos no Brasil na ordem de 21.10^6 toneladas anuais apenas para resíduos classe 2 e em todo mundo.

2 – OBJETIVOS PONTUAIS

2.1- Desenvolver uma metodologia para classificar a fração líquida orgânica obtida a partir de processo de conversão térmica de biomassas e resíduos sólidos industriais.

2.2 – Obtenção e classificação da fração liquida orgânica obtida a partir de processo de conversão térmica de lodo residual petroquímico em escala laboratorial e piloto em um tipo de óleo combustível característico e sugerir a aplicação para geração de energia elétrica a partir da queima em fornos e caldeiras e/ou a partir da aplicação das frações dos derivados dos biocombustíveis para uso em motores ou em misturas com combustíveis tradicionais como diesel ou gasolina.

2.3– Desenvolver o processo aperfeiçoado de conversão térmica em escala piloto.

3- Metodologia, resultados, discussão e conclusão.

3.1 - Caminho de conversão térmica – CCT

Neste trabalho de pesquisa, foi proposto o desenvolvimento de uma metodologia denominada **Caminho de Conversão Térmica** (**CCT**), a fim de associar as características físico-químicas das biomassas e/ou dos resíduos empregados em processos de conversão térmica, com as variáveis envolvidas no processo de conversão térmica, e a composição química dos biocombustíveis obtidos. As etapas que envolvem a metodologia proposta objetivam caracterizar o resíduo ou a biomassa empregada, considerando amostragens periódicas, **as propriedades físico-químicas, e a composição química da fração líquida orgânica obtida, tendo como base** a metodologia proposta por Tissot e colaboradores pela ANP para classificação de óleos

brutos de petróleo e combustíveis respectivamente, como descrito no fluxograma abaixo, **Figura 1.** .

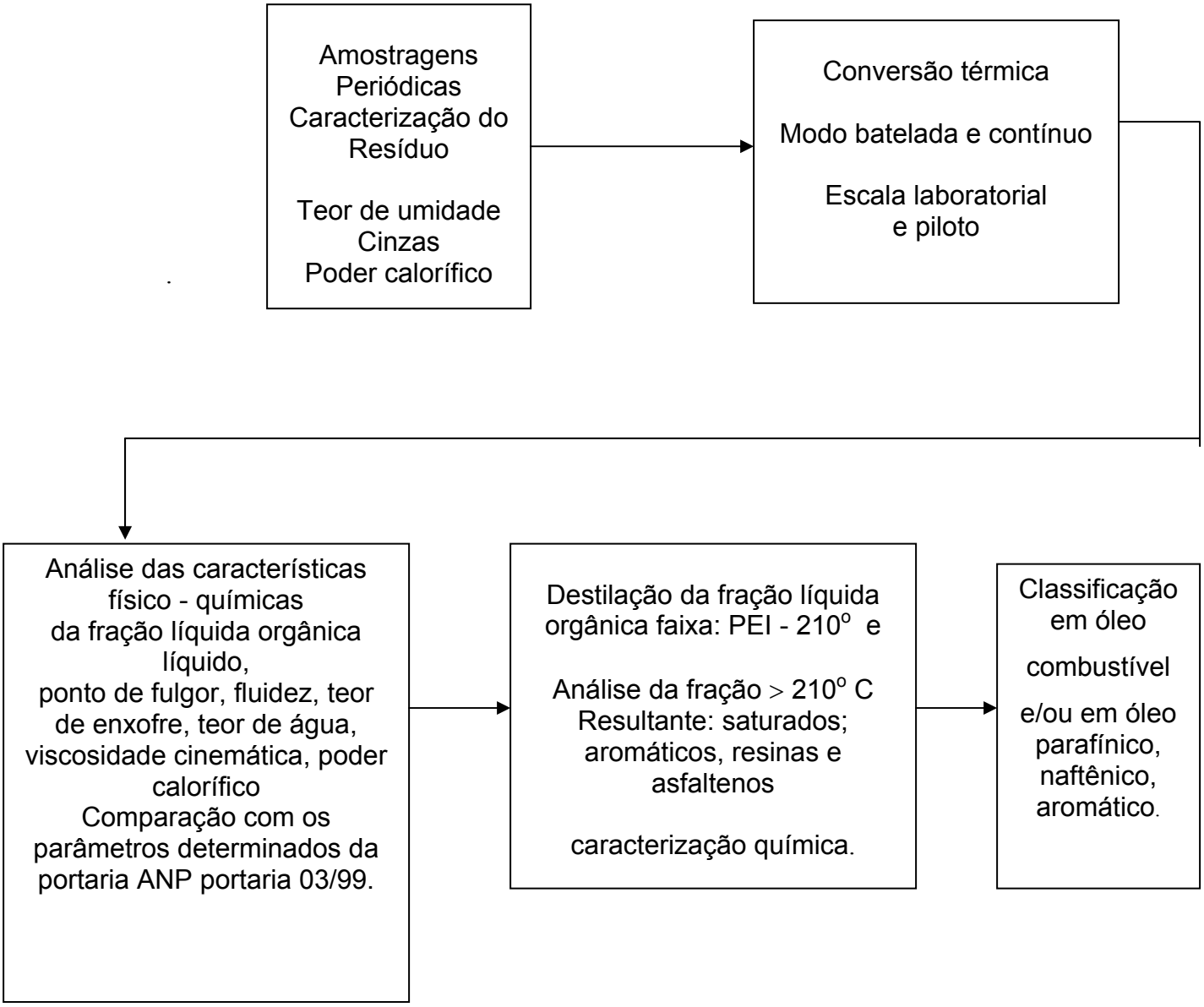

Figura 1- Metodologia denominada caminho de conversão térmica.

3.2 - Classificação da fração líquida orgânica obtida no processo de conversão térmica em óleo aromático.

Neste estudo, foi proposto classificar o biocombustível obtido no processo de conversão térmica, baseando-se na metodologia empregada na classificação dos óleos brutos de petróleo, desenvolvida por Tissot e colaboradores. Para tanto, determinou-se a curva de destilação simulada das frações líquidas orgânicas, a microdestilação, analisar a concentração percentual dos hidrocarbonetos saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos presentes na fração obtida na temperatura acima de 210 ^{o}C, a composição química das frações obtidas após a microdestilação por CG/EM e realizar a caracterização elementar (C,O,N). Em seguida, comparar os resultados obtidos com os parâmetros utilizados na indústria petroquímica para classificação dos óleos brutos de petróleo, segundo Tissot e colaboradores[6].

3.2.1 - Etapas da classificação da fração líquida orgânica obtida por conversão térmica em um tipo de óleo aromático.

- Determinação curva de destilação simulada .
- Micro destilação – Corte a 215 ^{o}C.
- Determinação de hidrocarbonetos Saturados, Aromáticos, Resinas e Asfaltenos (SARA) na fração obtida na temperatura acima de 215 ^{o}C.
- Caracterização da composição química das frações obtidas na microdestilação.

- Determinação da composição elementar (C, O, N) da fração liquida orgânica.

- Classificação da composição líquida orgânica obtida no processo termoquímico em um tipo específico de óleo – Um novo produto renovável.

3.2.2 - Classificação da fração líquida orgânica em óleo combustível

Neste trabalho de pesquisa está sendo proposto também classificar a fração líquida orgânica obtida no processo de conversão térmica em óleo combustível, com base na portaria n° 80 de 30 de Abril de 1999 do regulamento técnico ANP n° 3/99 da ANP (agência Nacional do Petróleo). Propõe-se analisar as características físico-químicas da fração líquida orgânica incluindo os parâmetros utilizados na classificação de óleos combustíveis e comparar os resultados obtidos com os parâmetros estabelecidos para óleos combustíveis a serem comercializados no país[7].

3.2.3 - Etapas da classificação da fração líquida orgânica obtida por conversão térmica em óleo combustível.

1 -Determinação dos seguintes parâmetros físico-químicos:

- Viscosidade Cinemática
- Teor de Enxofre
- Teor de Água

- Ponto de Fulgor
- Densidade a 20/4° C
- Ponto de Fluidez
- Teor de Vanádio
- **2** - Determinação do poder calorífico superior da FLO em estudo.
- 3 - Comparação entre os resultados da caracterização físico-química da fração líquida orgânica, obtida a partir de processo de conversão lodo residual com as especificações determinadas pelo regulamento técnico da ANP n° 3/99[7].
- 4 - Classificação da composição do fração líquida orgânica, obtida no processo termoquímico em óleo combustível – Um novo produto biocombustível e renovável.

Estas classificações propostas, até então, não foram aplicadas como rotina em processos de conversão térmica. Podem ser aplicadas e testadas futuramente nas frações líquidas orgânicas obtidas a partir de biomassas diferenciadas em processos de conversão térmica em escala laboratorial e piloto no Brasil e em outros países, principalmente no Mercosul, a medida que este mercado for sendo implementado e ampliado.

Seguindo as etapas propostas para classificar as FLO em óleo aromático e/ ou combustível, inicialmente foi realizada a curva de destilação simulada, a fim de avaliar o percentual em massa das amostras em estudo em faixas de temperaturas específicas : Ponto de ebulição inicial (PEI) – 210 ^{o} C e 210 ^{o}C – 380 ^{o}C **.**

Todas as amostras analisadas apresentaram o mesmo perfil para a curva de destilação simulada. Observou-se que cerca de 25 % em massa das amostras em estudo destilam na faixa entre PEI e 210° C e que cerca de 75 % em massa destilam acima desta faixa. Tendo como base a classificação proposta por Tissot e colaboradores para classificação de óleos brutos de petróleo, na qual a fração leve do petróleo é separada a temperatura de 210 ^{o}C, determinou-se as faixas de temperaturas de separação das frações para a análise de micro destilação: PEI - 215ºC e entre 215 - 380°C respectivamente. Em seguida realizou-se a microdestilação das 8 amostras das FLO obtidas em modo batelada e contínuo, e determinou-se a média percentual das massas obtidas em cada fração destilada, **Tabela 1.**

Para a fração obtida na microdestilação em uma faixa de temperatura superior a 210 ^{o}C, para as amostras em estudo, a análise SARA foi realizada sequencialmente. Os resultados da determinação da concentração percentual dos hidrocarbonetos saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos % (m/m), da média aritmética, do desvio padrão, e da variância das frações destiladas estão descritos nas **Tabelas 2,3 e 4**.

Tabela 1– Micro destilação das amostras de FLO - conversão térmica – Percentual em massa médio, modo batelada e contínuo.

Carga	modo batelada % massa	modo continuo % massa
PIE -215 ^{o}C	21,9	21,8
215-380 ^{0}C	39,4	39,5
RES. 380 ^{o}C	38,1	38
PERDAS	0,6	0,7

Tabela 2 –Hidrocarbonetos saturados, aromáticos, resina e asfalteno % (m/m) – conversão térmica, modo batelada.

	PT51	PT61	PT71	PT81	PT 12	PT 32	PT52
Saturado % (m/m)	4,5	3,4	3,2	5,3	4,5	5,4	5,3
Aromático % (m/m)	49	38	38	43	48	43	43
Resina % (m/m)	43	49	54	49	44	49	49
Asfalteno % (m/m)	2,9	9,6	5	2,8	2,9	2,6	2,8

Tabela 3 - Hidrocarbonetos saturados, aromáticos, resina e asfalteno % (m/m) – conversão térmica modo contínuo.

	PT51	PT61	PT71	PT81	PT 91	PT111	PT121
Saturado % (m/m)	4,2	5,2	4,8	4,8	4,2	4,6	4,8
Aromático % (m/m)	26	25	25	25	26	27	25
Resina % (m/m)	56	54	56	55	54	53	55
Asfalteno % (m/m)	14	15	14,2	15,2	15,8	15,4	15,2

Tabela 4 – Média, desvio padrão e variância dos hidrocarbonetos saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos – modo batelada e contínuo.

Batelada	Média batelada	Média contínuo	Variância batelada	Variância contínuo	Desvio Padrão batelada	Desvio Padrão contínuo
Saturado % (m/m)	4,54	4,66	0,83	0,13	0,9	0,4
Aromático %(m/m)	43,14	25,57	29,43	0,62	5,4	0,8
Resina % (m/m)	47,43	54,73	7,33	1,24	2,7	1,1
Asfalteno %(m/m)	4,76	14,97	11,02	0,42	3,3	0,60

Os resultados estatísticos indicam um desvio mais acentuado do espalhamento das observações em torno da média para os hidrocarbonetos nas amostras de óleo obtidas a partir do processo em modo batelada do que no modo contínuo, indicando maior variabilidade entre a concentração percentual destes componentes neste modo.

Duas amostras compostas das frações obtidas a partir da destilação das FLO (modo batelada e contínuo) foram analisadas por CG/EM. com a programação: 40 ^{o}C (7`) 4 $^{o}$C/min. 90 $^{o}$C (5`) 20°C/min. 280 ^{o}C (10`). Os resultados referentes às substâncias orgânicas identificadas nos cromatogramas obtidos estão descritos na **Tabela 5.**

Tabela 5 – Substâncias orgânicas identificadas nas frações obtidas por micro-destilação da amostra composta de óleo obtida a partir de conversão térmica de lodo residual industrial.

Componentes	Amostra composta T.R.**min.**	Fração 1 215 ^{o}C T.R.min.	Fração 2 215-380 ^{o}C T.R. **min.**	Fração 3 380 ^{o}C
Tolueno	3.39	3.34	-	-
Etilbenzeno	4.9	5.04	-	-
Estireno	5.56	5.69	-	-
Isopropil benzeno	6.17	6.22	-	-
Propilbenzeno	6.7	6.73	-	-
Alpha-metil estireno	7.2	7.35	7.24	-
ButilBenzeno	8.57	8.60	-	-
Benzeno acetonitrila	-	10.10	-	-
4-Pentenilbenzeno	-	10.20	-	-
Pentilbenzeno	-	10.34	-	-
Benzeno	12.58	11.86	-	-
1-Hexinilbenzeno	-	12.96	-	-
Benzenobutanonitrila	-	13.23	13.22	-

1,3-bifenilbutano	-	-	17.78	-
tetradecanonotrila	20.02	-	20.073	
Hepatdecanonitrila	22.16		22.16	-
Aromática	-	-	-	23.81
Aromática	-	-	-	24.18
Aromática	-	-	-	24.33
Aromática	-	-	-	24.60
Aromática	-	-	-	24.71
Aromática	-	-	-	24.88
Aromática	-	-	-	25.00
Aromática	-	-	-	25.10
Aromática	-	-	-	25.20
Aromática	-	-	-	25.312
Aromática	-	-	-	24.408

Como continuidade das etapas propostas na classificação do óleo obtido por conversão térmica, análises de caracterização elementar foram realizadas nas amostras em estudo, observou-se uma similaridade nos resultados obtidos, **Tabela 6** .

Tabela 6 - Análise elementar das amostras obtidas por conversão térmica **–** modo batelada e continuo.

Média dos resultados - Processo conversão térmica – batelada e continuo								
batelada	***PT51***	***PT61***	***PT71***	***PT81***	***PT 91***	***PT111***	***PT121***	**média**
C	87,1	86,1	87,1	82,9	84,9	82,9	86,1	85,30
H	9,6	9	9,6	9,2	9,7	9,2	9	9,33
N	2,8	3,6	2,8	4,1	2,4	4,1	3,6	3,34
Contínuo	***PT51***	***PT61***	***PT71***	***PT81***	***PT 91***	***PT111***	***PT121***	**média**
C	82,9	87,1	86,1	85,3	86,1	85,3	87,1	85,70
H	9,2	9,6	9	9,3	9,2	9,3	9,6	9,31
N	4,1	2,8	3,6	4,3	4	4,3	2,8	3,70

As amostras compostas das frações obtidas na micro destilação apresentaram o mesmo perfil cromatográfico e as mesmas substâncias orgânicas foram identificadas. Na fração obtida na faixa de temperatura entre 77,5°C e 215° C compostos com número de carbono entre C_6-C_{12} foram identificados, devendo-se destacar que trata-se de uma faixa de temperatura característica da fração mais leve obtida na destilação do óleo bruto de petróleo; na fração obtida entre 215° – 380 °C foram identificados compostos com número de carbono entre C_{10}–C_{17}, e na fração obtida a 380 °C foram identificados compostos aromáticos com número carbono superior a C_{17} .

Tissot e colaboladores em seus estudos de óleos brutos de petróleo propuseram uma classificação considerando a quantificação da percentagem em massa de compostos saturados, parafinicos, aromáticos, naftênicos na fração do óleo obtida acima de 210° C, **Tabela[6] 7.**

Tabela 7 - Classificação óleo bruto de petróleo segundo Tissot e colaboradores.

Tipo de petróleo	Fração obtida a temperatura > 210 °C	Fração obtida a temperatura > 210 °C	Teor de enxofre %
parafinico	S > 50 % AA < 50 %	P > N P > 40 %	< 1 %
Parafinico-naftenico	S > 50 % AA < 50 %	P < 40 % N < e ou = 40 %	< 1 %
Naftenicos	S > 50 % AA < 50 %	N > P e N > 40 %	< 1 %
Aromáticos Intermediários	S < ou = 50 % AA > ou = 50 %	P > 10 %	> 1 %
Aromáticos naftenicos	S < ou = 50 % AA > ou = 50 %	P < ou = 10 % N > ou = 25 %	< 1 %

Aromáticos asfaltico	S < ou = 50 % AA > ou = 50 %	P < ou = 10 % N < ou = 25 %	< 1 %

AA- Aromático + Resinas + asfaltenos / S – Saturado / P – parafinico / N - naftenico

Neste trabalho de pesquisa, pode-se observar a partir do estudo da determinação da curva de destilação simulada, da micro destilação e da análise SARA de hidrocarbonetos saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos, que a fração líquida orgânica obtida no processo de conversão térmica em modo batelada e contínuo destila uma faixa de 22 % da sua massa entre 77,5 ^{o}C e 215 ºC e que 78 % em massa destila acima de 215º C. Além disso, observar-se que mais de 50 % em massa do óleo em estudo correspondem a compostos aromáticos, asfaltênicos e resinas. Comparando-se os resultados obtidos com os dados relatados na literatura para classificação de óleos brutos de petróleo pode-se classificar o óleo em estudo como óleo aromático .

As frações obtidas a partir da microdestilação na faixa entre 77,5 ^{o}C e 215 ºC apresentaram uma coloração levemente marrom clara, as frações obtidas entre 215 ºC e 380 º C apresentaram uma coloração amarelada e as frações obtidas a partir de 380 º C uma coloração a marrom escura. Todas as frações diferenciam-se pela composição química que apresentam e visualmente pela coloração.

A fração obtida entre 77,5 ^{o}C e 215 ^{o}C é composta por hidrocarbonetos aromáticos com número de carbono oscilando entre C_6-$C_{15.}$ A faixa de temperatura de destilação como a composição química desta fração, é similar a fração de gasolina resultante do processo de refino de petróleo no Brasil; que é obtida entre 35 ^{o}C e 220 ^{o}C, podendo ser composta por hidrocarbonetoss parafínicos, olefínicos,e aromáticos dependendo da origem do petróleo, com número de carbonos oscilando entre C_6-C_{12}.

A segunda fração obtida entre 215° C – 380 ^{o}C, destila em uma temperatura relativamente próxima da faixa de diesel (150 ^{o}C – 370 ^{o}C), obtido a partir do refino do petróleo. Estes resultados indicam que as frações em estudo apresentam uma faixa de destilação próxima da gasolina e do diesel.

As características físico-químicas especificadas para óleos combustíveis na portaria n° 80, de 30 de Abril de 1999 do regulamento técnico ANP no 3/99 aplicado a todo território nacional foram analisadas no óleo aromático obtido por conversão térmica de lodo residual, a fim de avaliar a possibilidade de classificá-lo também como óleo combustível.

Os óleos combustíveis especificados no referido regulamento são os óleos residuais obtidos do refino do petróleo ou através da mistura de destilados pesados como óleos residuais de refinaria.

Estes óleos são utilizados como combustível pela indústria, de modo geral em equipamentos destinados à geração de calor: fornos, caldeiras e secadores, ou indiretamente em equipamentos destinados a produzir trabalho a partir de uma fonte térmica. São manuseados geralmente aquecidos, devem ser homogêneos, livres de ácidos inorgânicos e isentos, tanto quanto possível de partículas sólidas ou fibrosas, partículas estas que determinam a frequência necessária da limpeza ou troca de filtros combustíveis.

As características contempladas por esta especificação são aquelas de maior importância para a determinação do desempenho do produto e do impacto ambiental.

As classificações propostas aumentam o leque de utilização do óleo gerado a partir do lodo residual em estudo, que poderá ser usado na fabricação de borrachas sintéticas, diretamente como combustível, na obtenção de derivados combustíveis, em misturas com

óleos combustíveis, bem como favorecer uma relativa autonomia para produção de combustível similar aos derivados de petróleo.

Estes resultados indicam novas fontes alternativas de energia, considerando que em todo mundo existem centenas de indústrias petroquímicas e refinarias de petróleo, principalmente no Brasil, que poderiam em um futuro próximo, produzir, óleo combustível e provavelmente sucedâneos como a gasolina, a partir do lodo residual industrial gerado no tratamento do efluente líquido, transformando o lodo residual, em fonte alternativa para obtenção de combustíveis.

A metodologia denominada caminho de conversão térmica poderá ser aplicada em processos de conversão térmica e em frações liquidas orgânicas obtidas a partir de biomassas e resíduos sólidos variados, auxiliando no estudo de caracterização, classificação e no direcionamento de aplicação destas frações como fontes alternativas de energia.

3.3- DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO APREFEIÇOADO DE CONVERSÃO TÉRMICA

Inicialmente foram realizados estudos no processo de conversão térmica em modo contínuo em escala laboratorial, com o objetivo otimizar o rendimento em óleo, utilizando como matéria prima lodo residual petroquímico.

A partir desta análise foram observados os pontos do processo suscetíveis de aperfeiçoamento e abordados na concepção do processo aperfeiçoado de conversão térmica em escala piloto. Como exemplo de pontos críticos que demandaram de aperfeiçoamento, pode-se citar o modelo de adição da amostra, de transporte do lodo no interior do reator, bem como observações relativas aos pontos mais críticos de

vazamentos durante o processo, como na etapa compreendida entre a adição da amostra e o forno, no sistema de saída da fase gasosa e da fase sólida.

O processo aperfeiçoado desenvolvido neste trabalho de pesquisa tem como principal vantagem à faixa de temperatura de operação na etapa de conversão térmica dentro do reator, que fica entre 350 ^{o}C e 400 ^{o}C, o que pode favorecer um consumo de energia menor quando comparado com processos pirolíticos que operam em uma faixa de temperatura maior, o que pode ocorrer em um balanço energético que tenda a zero ou positivo para o processo.

No processo aperfeiçoado são propostas modificações que favoreçam uma melhor adição da amostra no reator, redução da condensação da amostra na etapa da adição, diminuição de vazamentos de óleo durante o processo, um transporte mais eficiente do lodo residual dentro do reator e da fase vapor para etapa de condensação e uma refrigeração mais eficiente na etapa de condensação, objetivando um aumento em rendimento do óleo obtido no processo a partir de lodo residual industrial em estudo.

O processo de conversão térmica aperfeiçoado é adicionalmente explicado por meio de um fluxograma, onde se tem demonstrado o sistema de adição, o reator, o sistema de saída da fase vapor e da FLO e o tubo de transporte da fase vapor para a etapa de condensação, **Figura 2.**

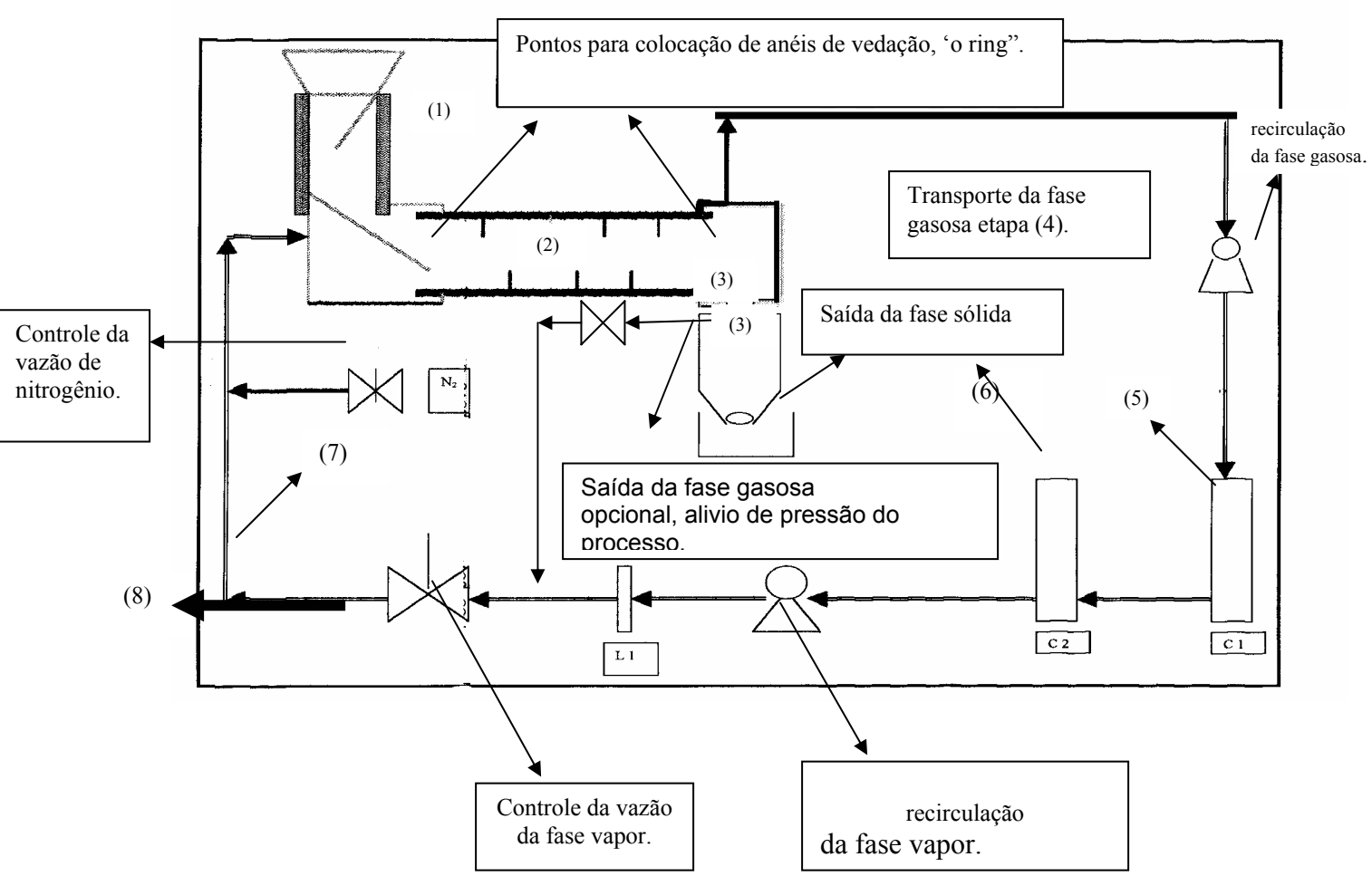

Figura 2- Fluxograma do processo de conversão térmica em modo contínuo**.**

Onde:

C1 – Condensador 1.

C2 – Condensador 2.

L1 – Lavador de gases .

N2 – adição de nitrogênio.

O processo aperfeiçoado de conversão térmica do lodo residual é em modo contínuo, com fluxo direto do gás de arraste e da fase volátil, aquecimento elétrico, processado a pressão atmosférica em atmosfera inerte, com a passagem inicial de gás nitrogênio e em seguida com a passagem contínua e/ou simultânea de uma fração dos gases gerados no processo. Apresenta as seguintes etapas: secagem do lodo residual entre 70 ^{o}C e 400 ^{o}C, moagem do lodo residual seco, classificação do lodo residual seco moído em uma peneira classificadora, adição da amostra e conversão térmica.

O sistema de adição da amostra é composto por uma peneira classificadora que facilita a separação da amostra adicionada na granulação adequada, por uma porta guilhotina e por duas placas defletoras facilitando a adição e o escoamento da amostra para dentro do reator. É isolado e controlado termicamente a fim de evitar condensação indesejável de óleo neste ponto (1). O lodo residual depois de adicionado é levado para dentro do reator de conversão térmica, esta etapa é caracterizada pelo controle da faixa de temperatura que fica em torno de 400 ^{o}C em toda extensão do reator, nela as substâncias orgânicas agregadas no resíduo sólido industrial sofrem inicialmente desorção e são carreadas pela fase gasosa que é continuamente adicionada ao sistema (nitrogênio seco e/ou a fração de gases gerados no processo recirculados), esta etapa é caracterizada pela ocorrência de reações termoquímicas na fase volátil (2), o reator possuí aletas no seu interior que objetivam otimizar o transporte do lodo residual e o tempo de retenção do lodo dentro do reator. A próxima etapa do processo é caracterizada pela saída da fase volátil e da fase sólida e pelo controle de temperatura neste ponto na faixa de 250-380 ^{o}C (3). A fase sólida é recolhida em um recipiente coletor caracterizado por possuir uma válvula de controle e alívio de pressão do processo (3). A fase volatilizada é então transportada para a etapa de condensação,

esta etapa de transporte (4) é caracterizada por apresentar um tubo isolado e controlado termicamente de forma que a temperatura no seu interior seja igual à temperatura de saída da fase volatilizada na etapa (3) acima mencionada. A próxima etapa do processo (5) é caracterizada pela condensação da fase volatilizada resultante da etapa (4) acima citada, que ocorre em um sistema de condensação refrigerado, com a temperatura e refrigeração controlada e fixada entre 10 e 25 ^{o}C. Na próxima etapa a fase não condensada resultante da etapa anterior passa por um segundo condensador (6). A fase não condensada resultante da segunda condensação após ser previamente tratada em lavadores de gases é parcialmente ou totalmente retornada ao início do processo, etapa (7). A fase volatilizada resultante da etapa (7) que não é retornada ao processo pode ser usada em um sistema de co-geração de energia e/ou liberada para atmosfera, etapa (8). O processo é vedado por meio de anéis de vedação, em pontos estratégicos: entre o sistema de adição da amostra e o reator; entre o reator e o sistema de saída da amostra; e entre o sistema de saída da amostra e o tubo de transporte da fase volatilizada, **Figura 3.**

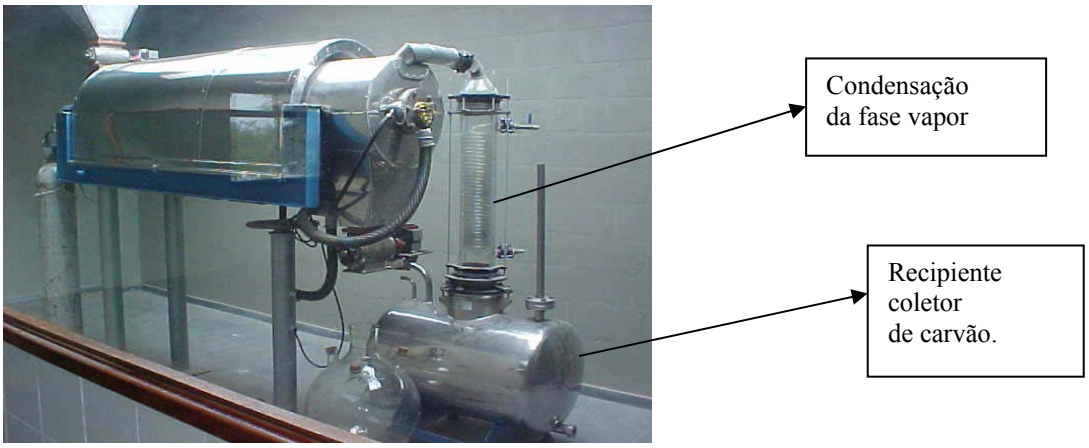

Figura 3 – Planta piloto - Processo aperfeiçoado de conversão térmica – Tese de doutorado – UFF.

Após o término do desenvolvimento da concepção do processo aperfeiçoado de conversão térmica, passou-se para a etapa de construção e em seguida iniciaram-se os testes para obtenção e caracterização das frações liquidas orgânicas. Neste trabalho de pesquisa utilizou-se como matéria prima no processo, lodo residual petroquímico, como citado anteriormente.

A planta piloto construída tem capacidade para processar uma massa de lodo residual máxima de 100 Kg a cada 20 minutos de operação, e de produzir uma faixa de rendimento em óleo entre 20L e 40 L a cada 20 minutos.

A fração oleosa obtida no primeiro teste foi caracterizada quimicamente, as seguintes análises foram realizadas: densidade relativa 20/4° C, teor de enxofre, Sara (determinação de compostos saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos). Os resultados comparativos entre a amostra de óleo obtida em escala laboratorial em modo batelada e contínuo e escala piloto modo contínuo estão descritos na **Tabela 8 .**

Tabela 8 – Determinação do teor de enxofre, poder calorífico, densidade 20/4 ^{o}C e SARA da amostra de óleo obtida no processo em modo contínuo e batelada – escala laboratorial e piloto.

	Óleo Escala piloto Modo contínuo	Óleo Escala laboratorial Modo batelada	Óleo Escala Laboratorial Modo contínuo
Teor de enxofre (% m/m)	0,68	0,36	0,82
Densidade 20/4 (^{o}C)	0,99	0,96	0,96
Poder calorífico (kcal/kg)	9,34	9,77	9,58
% saturado	5,21	4,54	4,66
% aromático	25,20	43,14	25,57
% resina	54,30	47,43	54,71
%asfalteno	15,25	4,74	14,97

As frações obtidas no processo em modo batelada e contínuo em escala laboratorial apresentaram os seguintes rendimentos médios respectivamente: sólida (46%; 53 %), líquida (35%; 18 %), aquosa (8 %; 7 %), e gasosa (12 % e 25 %).

O resultado de caracterização química da amostra de óleo obtida no processo de conversão térmica em modo contínuo em escala piloto, que envolvem a determinação da concentração de compostos saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos e físico-químicos, determinação do teor de enxofre, densidade e poder calorífico, apresentam–se com alta proximidade em relação aos resultados das amostras de óleo obtida no processo em modo batelada e contínuo em escala laboratorial. Indicando alta eficiência do processo aperfeiçoado desenvolvido, no que se refere à obtenção de produtos com as características químicas conservadas, quando analisado de forma comparativa, com o processo em escala laboratorial.

Os resultados de caracterização físico-química das amostras em estudo indicam que a amostra de óleo apresenta um poder calorífico na faixa de 9000 Kcal/Kg, na faixa dos combustíveis derivados do petróleo, como gasolina e diesel por exemplo, e um baixo teor de enxofre. Estudos de classificação desta fração foram realizados, e o óleo obtido pode ser classificado como combustível e aplicado em caldeiras e reatores para geração de energia elétrica [8,9,10].

O processo aperfeiçoado desenvolvido é uma alternativa inovadora no Brasil para a disposição dos resíduos sólidos petroquímicos e de outros tipos de biomassas, para geração de combustíveis alternativos e para geração de energia a partir destes, principalmente em comunidades isoladas ou em pequenos municípios do Brasil e do Mercosul, podendo abrir um novo mercado na área industrial e de pesquisa avançada no Brasil.

4- Referências bibliográficas

1 - Carioca J. O. B.; Arora H. L; Biomassa Fundamentos e Aplicações Tecnológicas; Ed. UFC; 1985; págs.: 7- 63.

2 - B.P. Tissot; D. H. Welte**;** Petroleum Formation and Occurrence; New Approach to Oil and Gas Exploration; Springer – Verlag; Berlin Heildelberg; New York; 1978; págs.: 4- 41.

3 **-** **http://www.repp.org/discussion/bioenergiaespanol/200009/msg00017.html**

4– G. E. G. Vieira, G. A . Romeiro, R. N. Damasceno, C. N. Kunigami, M. S. Sanctos, E. Bayer and M. Kutubuddin; Low Temperature Conversion of Beverage Industry Residue – GC/MS Evaluation -. *Adv. Food Sci. Vol. 22 5/6*, 2000´**;** págs.: 170-177.

5– G. E. G. Vieira**,** Resíduos da Produção Industrial de Borracha (ETRI) e Bebida (ETE) – Uma Avaliação Pela Tecnologia de LTC; Tese de Mestrado; Biblioteca Central do Morro do Valonguinho; UFF; 2000;200pp.

6**-** Tissot, B. P; Welte D. H.; *Petroleum Formation and Occurrence: A New Approach to Oil and Gas Exploration*; Editora Springer – Verlag 1ª Edição; 1978; pág.:333-376.

7 - Portaria nº 80 de 30 de Abril de 1999 do regulamento técnico ANP nº 3/99 da ANP (agência Nacional do Petróleo), 1999.

8- Vieira G. E. G; Romeiro G. A.; Pickler A. Pinheiro R.; Gomes R. V. S.; Conversão à Baixa Temperatura de Lodo Residual: Estudo de Classificação do Óleo Obtido no Processo; *XLII Congresso Brasileiro de Química* ABQ, Setembro, Rio de Janeiro-RJ, 2002.

9- Vieira G. E. G; Romeiro G. A; Damasceno R. N.; Conversão à Baixa Temperatura de Lodo Residual - Estudo de Classificação do Óleo Aromático; *II*

Congresso Brasileiro de Química Ambienta; SBQ; Março, Brasília – DF, Brasil, 2003.

10 - Vieira G. E.G.; Romeiro G. A. ; Produtos Combustíveis Óleo e Carvão, Obtidos a Partir de Processo de Conversão Térmica de Lodo Residual – *PI0201502-1; pág.: 1- 17,* 2002.

.