

USINA DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS BASEADO NOS PRINCÍPIOS DE BIOREFINARIA INTEGRADA

Implementadores:

- Instituto Superior de Recursos minerais, Ambiente e Tecnologias (IRMAT) – Universidade Católica de Angola
- Agencia Nacional Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANPG)
- Instituto Superior Politécnico de Tecnologias e Ciências (ISPTEC)

1. Introdução

O acelerado processo de transformação de matérias-primas em produtos usados pela sociedade moderna, acarreta maior geração de resíduos sólidos e efluentes domésticos, que quando mal descartados e tratados geram consequências ambientais drásticas, como a poluição do ar, água e solo. Estes problemas só agora têm despertado preocupação e tem sido objecto de estudo e análise por parte dos governos e sociedades em geral atualmente (CALDERONI,2003).

A produção de resíduos sólidos faz parte da rotina e do quotidiano do ser humano, descartando-se a possibilidade de se ter uma rotina de vida que não gere resíduos sólidos. Entretanto, são visíveis os problemas causados pelos resíduos sólidos mal tratados. Reduzir milhões de toneladas de resíduos e os impactos ambientais intrínsecos da civilização e garantir o uso sustentável dos recursos naturais constitui metas das actuais políticas de gestão ambiental em diversos países (UIEDA, 2009).

O manuseio e o descarte inadequado desses resíduos contribui significativamente para a degradação da qualidade ambiental, com a poluição do

solo, da água, do ar, com riscos à saúde pública. Segundo Fernandez (2004) as alterações ambientais ocorrem por inúmeras causas, muitas delas denominadas naturais e outras oriundas de intervenções antropológicas, consideradas não naturais. É facto que o desenvolvimento tecnológico contemporâneo e as culturas das comunidades têm contribuído para que as alterações no ambiente se intensifiquem, especialmente no ambiente urbano.

A dificuldade de gestão de resíduos tem duas componentes: a) a quantidade de resíduos produzidos e; b) composição de resíduos. A última geração consumiu uma elevada quantidade de recursos do que o conjunto de todas as populações humana anteriormente existente desde a criação da terra.

Sendo assim, diversos estudos estão sendo realizados para melhorar e aperfeiçoar a gestão e tratamento dos resíduos urbanos descartados logo após a utilização. Novas políticas, novas formas de tratamento, destacam-se como exemplos dessa necessidade de desenvolvimento e reutilização.

A energia sempre foi reconhecida como a base do desenvolvimento das civilizações ao redor do mundo. No final do século XIX, o mundo passou por um processo de modernização após a Revolução Industrial, devido à necessidade de criação de novas fontes energéticas além da energia térmica, muito utilizada naquela época. Nas últimas décadas, devido ao esgotamento do petróleo em algumas reservas naturais, houve a necessidade de utilização de energias renováveis que ganhou representatividade no panorama energético, favorecendo assim seu desenvolvimento e aplicação pelo mundo, tornando-se uma alternativa viável para a actual situação vivida pela escassez de recursos não renováveis.

Neste contexto, foi analisada a alternativa da produção de energia eléctrica e biofertilizantes como combustível a partir do uso de biodigestores, considerando a fonte de matéria-prima (resíduos urbanos orgânicos) para o processo e a flexibilidade de operar, de forma complementar, no abastecimento de energia do país.

De forma geral, o petróleo no estado líquido é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e cor variando entre preto e castanho-claro. Ele é constituído, basicamente, por uma mistura de compostos químicos orgânicos, chamados hidrocarbonetos. O petróleo é actualmente a principal fonte de energia, servindo como base para a fabricação dos mais variados produtos (GAUTO e ROSA, 2011).

O petróleo é uma mistura complexa de compostos orgânicos e inorgânicos constituído maioritariamente por hidrocarbonetos. Quando devidamente separados dá lugar aos seus derivados, que são obtidos a partir do refino (GAUTO e ROSA, 2011).

A indústria petrolífera surgiu em meados do século XIX, quando foi desenvolvido o processo de refinação na Escócia. O Azerbaijão era, nesse período, o maior produtor de petróleo, sua produção correspondia a mais de 50% da produção mundial (ALMEIDA, 2008).

A refinaria é uma estrutura do tipo industrial que converte o petróleo em diferentes combustíveis como a gasolina, óleo diesel, butano, assim como em matéria-prima para elaborar diversos tipos de produtos, tais como plásticos, roupas, asfaltos, computadores, entre outros. As refinarias de petróleo são organizadas em etapas de processos industriais com o objectivo de separar os componentes que formam o petróleo (szklo, uller, & bonfá, 2012).

Ao passar do tempo, os combustíveis derivados do petróleo passaram a ser considerados um dos principais problemas de poluição devido a quantidade de impureza que lançavam para o ambiente. Logo, as indústrias petrolíferas desenvolveram processos como o hidrorrefino, dessulfurização e Fischer-Tropsch. Estes processos estão entre os de maior importância, pois conferem grande flexibilidade ao refino e viabiliza o atendimento às crescentes exigências ambientais e de saúde ocupacional (fahim, al-sahhaf, & elkilani, 2010).

Os processos desenvolvidos para a viabilização do petróleo não foram suficientes, com isso desenvolveu-se os aditivos, que na qual destaca-se os orgânicos que conferiram uma redução de emissão gasosa aos combustíveis e maior estabilidade (Guedes, et al., 2010). Dentre os aditivos orgânicos que mais têm sido utilizados destacam-se o etanol, biodiesel e o bio-óleo. Sendo que, países como Estados Unidos

da América, Alemanha, França e Brasil já adoptaram misturas obrigatória de biocombustível aos combustíveis (mattos, 2012).

Com isso, as biorrefinarias vêm crescendo no mundo, porém, a integração com a refinaria de petróleo e a distribuição de derivados é essencial para sua expansão e para a fase de transição entre os combustíveis fósseis e os renováveis. Muitas companhias de petróleo já contemplam o desenvolvimento de tecnologias e infra-estruturas para a produção e comercialização de biocombustíveis dentre elas a Shell, UOP, Chevron e Petrobras (Almeida, 2008).

A indústria petrolífera tem implementado diversos processos subsequentes no processamento do petróleo a fim de reduzir o impacto que ele tem causado no meio ambiente. Os processos têm sido cada vez mais sofisticados e custosos. Com tudo, poucas pesquisas têm sido feitas na injeção directa de biocombustível no petróleo bruto, como foi feito no óleo diesel e gasolina. Logo, surge a inquietação, da possibilidade de reduzir o impacto do petróleo no meio ambiente introduzindo directamente biocombustível, produzidos a partir do craqueamento térmico ao petróleo bruto.

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo Geral

Este projecto tem como objectivo geral, a realização de estudos para a proposição de uma usina de processamento de resíduos sólidos e líquidos urbanos para o aproveitamento do potencial energético, produção de combustíveis, produtos químicos diversos e produção de biofertilizantes, baseado nos princípios de biorefinaria integrada.

1.2.2. Objectivos Específicos

São objectivos específicos deste projecto de investigação científica:

- a) Estabelecer as estratégias e implementação da educação ambiental como princípios para a colheita seletiva dos resíduos domésticos, tendo como principal foco os sistemas de educação do país;

- b) Realizar a colheita dos resíduos sólidos e condicioná-los para o processamento proposto neste projecto;
- c) Elaborar o projecto conceitual e de engenharia da usina de processamento de resíduos, que envolve diversas operações que na sua combinação conformem os processos industriais a serem implementados;
- d) Fazer a aquisição das unidades de processamento, em escala de bancada, e estruturar a unidade proposta;
- e) Realizar os ensaios preliminares para a avaliação da consistência da unidade produtiva;
- f) Avaliar a qualidade dos diversos produtos advindos dos processos e comparar com a qualidade dos produtos comercializados em Angola.

1.3. Justificativa

O tipo e a quantidade de resíduos sólidos e líquidos produzidos depende das características de desenvolvimento de cada país, exigindo-se reflexão sobre os procedimentos mais adequados para a destinação e o tratamento destes.

Por isto, deve-se realizar investimentos que perspectivam a redução da taxa de produção de resíduos e propor procedimentos de reaproveitamento do potencial energético, social e económico destes, com o uso de tecnologias mais ajustadas.

Nos países mais industrializados, a massa de resíduos produzidos é acentuada, se comparada com a massa de resíduos de países menos desenvolvidos. Esta relação mostra que o poder de aquisição da população reflete na taxa de produção de resíduos e perspectiva incremento de estratégias, com capacidade para o processamento e aproveitamento do potencial dos resíduos referenciados. Por isto, os países desenvolvidos desenvolvem tecnologias capazes de valorizar e valorar os resíduos, incorporando-os como matéria-prima para os diversos processos industriais (ANDROELI et al).

Para a realidade angolana, não são desenvolvidos estudos profícuos que visem potencializar o uso de resíduos urbanos como matéria-prima para a produção de combustíveis, biogás, energia térmica e eléctrica, biofertilizantes e produtos químicos diversos.

Por outro lado, a ausência de estratégias de gestão de resíduos em Angola tem resultado na observação de acúmulos destes materiais nas principais artérias da cidade, que impactam sobre os cursos de água, entopem o sistema de esgoto, poluem as praias, desagradam o meio ambiente e tornam vulnerável a saúde humana. Estes factores podem ser correlacionados com a constância e permanente observância de doenças como cólera, malária, entre outras oriundas da elevada taxa de reprodução de insectos nos charcos presentes nos diversos pontos do meio urbano.

Por outro lado, os resíduos sólidos impactam negativamente sobre o meio ambiente, cujo acúmulo promove permanente desagrado a qualidade do meio ambiente e ao bem estar da população.

Com base neste contexto, justifica-se o presente projecto pela proposição de estudos científicos e tecnológicos que visam propor uma unidade de processamento de resíduos, baseado nos princípios de intensificação de processos, que perspetiva o uso de resíduos sólidos urbanos como matéria prima para produzir energia térmica e elétrica, combustíveis líquidos e gasosos, biofertilizantes, além de produtos químicos diversos.

Portanto, a implementação deste projecto para a produção dos produtos referenciados no paragrafo anterior perspectiva incrementar o potencial económico do país, diminuir a importação de combustíveis, ampliar o parque industrial, promover trabalho e renda para a população carente e diminuir os impactos ambientais negativos, com forte reflexo sobre a saúde da população de Angola.

2. Referencial Teórico

Neste capítulo é feita a descrição teórica sobre o estado de arte dos processos que envolvem a gestão e o uso de resíduos como matéria prima para a produção de diversos produtos com elevado valor agregado.

2.1. Caracterização dos Resíduos Urbanos

Resíduos urbanos são presentes em estado sólido, líquido e mistura destas duas fases e resultam das atividades industrial, doméstica, hospitalar, comercial e agrícola. São incluídos nesta definição o lodo do sistema de tratamentos de água (ETA), os oriundos de equipamentos e instalações de controlo de poluição. Envolvem nesta definição substância líquidas cujas particularidades impactam negativamente nos sistemas de esgotos ou corpos de água (Associação Brasileira de Normas técnicas ABNT NBR 10004:2004---Classificação dos resíduos).

2.2. Composição e Classificação de Resíduos Urbanos

Os resíduos orgânicos são de origem biológica, com destaque para sementes, ossos e alimentos orgânicos remanescentes. Por outro lado, os resíduos inorgânicos não apresentam nenhuma ordem biológica e são produzidos por transformações químicas ou físicas implementadas pelo homem, tendo como destaque os plásticos e vidros. Os resíduos referenciados incorporam teores de água, na proporção entre 20% e 65%.

Os resíduos sólidos podem ser classificados com **de Classe I (Perigosos)** caracterizados pela inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade e apresentam riscos à saúde pública e que resulta no aumento da mortalidade ou da morbidade, e com efeitos adversos sobre o meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada. Por outro lado, os resíduos de **Classe II (Não---inertes)** são caracterizados pela combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com riscos à saúde e ao meio ambiente.

Por fim, os resíduos de **Classe III (Inertes)** são caracterizados pela ausência de riscos à saúde e ao meio ambiente e quando em contato com água destilada ou desionização, à temperatura ambiente, não altera as concentrações dos padrões de potabilidade da água, excetuando---se os aspeto associados a cor, turbidez e sabor.

2.3. Panorama Geral dos Resíduos Sólidos Urbanos em Angola

As estimativas mundiais mostram que é produzido no universo aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas de resíduos por ano, com perspectiva

de crescimento para 2,2 bilhões de toneladas em 2025, decorrente do desenvolvimento dos países, observado actualmente (WORLD BANK, 2012).

De acordo com dados, de 2014, do Ministério do Ambiente de Angola, em Luanda são produzidos aproximadamente quatro quilogramas de resíduo por pessoa, por dia. A análise deste dado, associada a distribuição populacional na cidade de Luanda, perspectiva---se uma taxa anual de produção de resíduos de 3,3 milhões de toneladas, 275 000 toneladas por mês e 6 800 toneladas por dia, com tendência de crescimento de 146% até 2025.

A distribuição das proporções de resíduos produzidos em Luanda abarca 25% de resíduos orgânicos, 16% de plásticos, 15% de vidro, 6% de ferro e 1% de alumínio, entre outros. Nesta senda, as zonas urbanas desta cidade apresentam maiores taxas de produção de resíduos se comparadas com as zonas suburbanas. Ainda na análise de dados do Ministério do Meio Ambiente, os Municípios de Luanda, Viana e Cazenga são as principais fontes de resíduos em Luanda. Os dados referenciados mostram que o Município de Luanda produz 62 000 toneladas, Viana 60 000 toneladas e Cazenga 42 000 toneladas de lixo.

De acordo com dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2014), baseados no censo populacional de 2014, a população Angolana é constituída, actualmente, por 25 milhões 789 mil e 24 habitantes, dos quais 6 milhões 945 mil e 386 vivem na capital Luanda.

A colheita de resíduos em Luanda não é feita diariamente, contribuindo para o acúmulo de resíduos dispersos ao redor de contentores, asfaltos e ruas. Luanda concentra ligiras diversas à céu aberto. De acordo com os dados referenciados, do censo geral populacional de 2014, o depósito de resíduos a céu aberto é ainda uma prática comum em todo território nacional. O resíduo é depositado ao ar livre por 59% dos agregados familiares das áreas urbanas e 87% dos agregados das zonas rurais (MUANZA et al,2020).

O único aterro sanitário construído no país é o “aterro dos mulenvos”, situado na região do sudoeste de Luanda, município de Viana e ocupa uma área com um perímetro de aproximadamente 270 hectares. Estudos mostram que 30 hectares

do Aterro estão completamente ocupados e 40 hectares encontram-se actualmente em uso, com previsão de cobertura total em aproximadamente 4 anos. Portanto, 200 hectares deverão ser utilizados para atender as necessidades de depósito de resíduos naquela localidade nos próximos dez anos (Angop, 2021).

O clima tropical húmido característico de Angola, envolve as estações quente e com intensa pluviosidade e fria e húmida. A temperatura anual média é de 27°C (PARENTE, 2021).

Dados de 2016 indicam que o aterro sanitário dos Mulenvos recebe, por dia, mais de 7 200 toneladas de resíduos sólidos contra as 2 500 anteriormente previstas na sua concepção em 14 de Dezembro de 2007. O Aterro de Mulenvos é considerado como o maior aterro de África, com uma área de 270 hectares e sete camadas com sete metros de altura (PARENTE,2021).

As condições técnicas do Aterro dos Mulenvos, mostram elevado risco à saúde pública com intensa potencialidade de proliferação de doenças, além de riscos ao meio ambiente. Apesar da existência de uma camada impermeabilizante, não existem drenagens e sistemas de cobertura do aterro. Por outro lado, os resíduos não são dispostos na forma de célula, para permitirem a cobertura e a drenagem, e com potencialidade de poluir o solo e o corpo hídrico da bacia dos Mulenvos (MUANZA et al, 2020).

2.3.1. Tratamentos de Resíduos em Angola

Os resíduos urbanos depositados em aterros e lixeiras à céu aberto em Angola, não são submetidos a nenhum tratamento pois o país não tem um plano de gestão, tratamento e reaproveitamento dos resíduos.

O aproveitamento de resíduos, dado o potencial característico, pode contribuir na diversificação da economia, pois deste podem advir diversos produtos e combustíveis e com capacidade para suprirem as necessidades do mercado interno.

Por outro lado, o uso de resíduos como matéria-prima pode potencializar produção de biofertilizantes, para atender as necessidades da agricultura, além

da produção de energia elétrica capaz de amenizar a construção de barragens hídricas, estas com impacto ambiental devastador.

Dados da Empresa Nacional de Distribuição de Eletricidade (ENDE) de Angola apontam que 1 (um) kWh de energia produzido tem custo de AOA 12,87, aproximadamente, USD 0,019. Por outro lado, uma botija de gás de cozinha é vendida em média entre AOA 1 500 e 2 500, um saco de 50 kg de fertilizantes convencionais tem sido vendido à AOA 27 000 kwanzas, equivalentes a AOA 41,25. Por outro lado, o uso de resíduos pode resultar na produção dos produtos referenciados com custos reduzidos e conseqüentemente reduzir os preços no mercado interno, garantindo acesso de tais produtos para a população menos favorecida.

2.4. Legislação Angolana sobre a gestão de Resíduos Urbanos

O Decreto Presidencial nº 190/12 de 24 de Agosto de Angola, artigo 3º, alínea c) define aterros sanitários como instalações de eliminação, utilizadas para a deposição controlada de resíduos, acima ou abaixo da superfície do solo.

Por outro lado, existe um projeto nacional para a implementação de aterros sanitários em todas as províncias do país, até 2025, que obedece o Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Urbanos (PRESGRU), aprovado por Decreto Presidencial n.º 196/12, de 30 de Agosto (DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2012).

Sob todas as formas, a perspectiva de implementar um sistema de gestão de resíduos, eficaz em tempo útil, envolve ações de sensibilização com foco na redução das taxas de resíduos produzidos, coleta selectiva, condicionamento adequado de resíduos, com depósito em contentores, construção de aterros sanitários com melhores estruturas tecnológicas em todo o país e implementação de infraestruturas para a triagem tratamento de resíduos.

2.5. Uso de Tecnológicas para Valorização de Resíduos

O processo de tratamento de resíduos sólidos, de acordo com MONTEIRO et al. (2001), consiste no uso de tecnologias ou procedimentos que objetivam reduzir a quantidade ou potencial poluidor dos resíduos quando descartados em

ambientes adequados ou da transformação destes em um material inerte ou biologicamente estável.

O principal objetivo das alternativas tecnológica disponíveis para o tratamento e a valorização dos resíduos e redução de impactos ambientais, é de reduzir as taxas de exploração de recursos naturais e a poluição, além de promover oportunidades de emprego, renda e aumento da qualidade de vida das populações.

A reciclagem é um processo que consiste na reutilização dos produtos de pós – consumo, para inseri-los novamente no ciclo produtivo, transformando-os em novos produtos com valor económico agregado. Porém, a reciclagem está associada às políticas dos 3 R’S que abarcam: Reciclar – para se obter novos produtos através de materiais usados; Reutilizar – reaproveitar os resíduos para novas funcionalidades; Reduzir – minimizar a exposição de resíduos poluentes, ou não, no meio ambiente (FONSECA, 2013).

Esse novo conceito estabelece, além do principio da prevenção da geração de resíduos, os princípios de recuperação de resíduos sólidos, definida como um processo de tratamento que produza energia, baseado na digestão anaeróbia, incineração para a recuperação energética, pirólise e gaseificação, dentre outros.

Do ponto de vista dos residuais urbanos em Angola, pode-se perspectivar o uso do potencial energético de tais resíduos com o desenvolvimento de processos e tecnologias, baseados nos processos físicos, químicos e biológicos, envolvidos em fluxos de processos, realizados em uma unidade industrial que garantam a produção de diversos produtos, combustíveis e energia, capazes de suprirem as demandas do país.

2.5.1. Produção de Biogás por Digestão Anaeróbia

Os resíduos quando depositados em aterros sanitários, permanecem descobertos e em contacto com o ar atmosférico. Neste período são observados fenómenos associados com a emissão de compostos voláteis, que continuarão sendo emitidos depois da cobertura e o fechamento da célula do aterro (ENSINAS 2003).

Para Borba (2006) um aterro de resíduos sólidos pode ser caracterizado como um reactor biológico tendo como produtos a serem processados os resíduos e a água, e como principais produtos os gases orgânicos (biogás), essencialmente metano, e o chorume.

Por outro lado, para aumentar a efectividade do processo de produção de biogás, geralmente são utilizados biodigestores anaeróbicos, apropriados para a biodegradação da matéria orgânica e para produzir, essencialmente, metano, sob condições de operação controlada e na proporção adequada das massas de resíduo e de água.

O biodigestor é uma câmara fechada com condições adequadas para a biodegradação da matéria orgânica realizada por acção de bactérias metanogênicas. Essas bactérias, na ausência de oxigênio, realizam a fermentação alcalina da matéria orgânica putrescível, para a produção de gás metano (PNUD, 2010), agente colaborador do efeito estufa e principal constituinte do biogás.

2.5.1.1. Biogás

O Biogás é uma mistura de gases oriundos da decomposição de resíduos orgânicos por acção bacteriana ou microbiana.

O biogás produzido, neste contexto, contém 60% de metano (CH_4), 35% de dióxido de carbono (CO_2) e 5% de uma mistura composta por hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas e oxigênio. O percentual aqui referenciado varia entre 40% a 80% de metano e depende das condições da matéria orgânica e de operação utilizadas.

O biogás incorpora ainda frações reduzidas de ácido sulfídrico (H_2S), razão da acção corrosiva e da redução do rendimento e da vida útil do motor de combustão interna, exigindo---se, desta forma, cuidados como os equipamentos utilizado no processo de utilização do biogás (KARINA & LORA).

O ácido sulfúrico surge na fase final da decomposição do material orgânico, sulfetogeneses, e depende do teor de sulfato presente no meio. O dióxido de carbono (CO_2) não afeta a operação dos equipamentos, mas reduz potencial

calorífico devido a sua inércia na reação de combustão. Por isto, depois de produzido o biogás, este deve ser submetido aos processos de absorção para remover os gases nocivos e aqueles que impactam negativamente sobre os processos de combustão interna e com impacto negativo sobre os equipamentos e o meio ambiente.

Estudos realizados por Oliver et al., (2008) mostram que o poder calorífico do biogás varia entre 5000 a 7000 Kcal/m³ e 1 m³ de biogás representa quantitativamente:

- 0,61 Litros de gasolina;
- 0,58 Litros de querosene;
- 0,55 Litros de óleo diesel;
- 0,45 Litros de gás de cozinha;
- 1,50 Litros de lenha;
- 0,79 Litros de álcool hidratado.

O uso de biogás evidencia como principais vantagens a preservação do meio ambiente, economia da geração de energia por ser uma fonte de combustível com reduzido impacto sobre as emissões gasosas. É um produto que não exige alterações químicas e pode ser transportado usando dutos oriundos diretamente das fontes produtoras. É importante ressaltar que o biogás não é explosivo, porém inflamável devido a presença de metano (CH₄) inodoro, incolor e insípido com cheiro característico da presença do ácido sulfídrico.

2.5.1.2. Biofertilizantes

Depois da produção do biogás em biodigestores, o resíduo de biomassa utilizada transforma-se em biofertilizante. O biodigestor libera carbono na forma de CO₂ e CH₄, propiciando a produção de biofertilizantes ricos em nutrientes, com teores significativos de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (SILVA et al).

O biofertilizante é um adubo orgânico natural proveniente de resíduos urbanos orgânicos de diversas origens, líquido utilizado para complementar a adubação de fertilizantes sólidos e que pode ser produzido em escala industrial ou em

pequenas escalas, com projectos com reduzido complexo tecnológico e custos reduzidos.

O biofertilizante produzido nesta perspectiva garante nutrientes essenciais para as plantas e auxilia no controlo de doenças ou pragas, sem odores desagradáveis com potencial para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e garantir robustez capaz de amenizar a acção dos insetos nos processos agrícolas.

O aproveitamento de biofertilizante na nutrição das plantas facilita a absorção por osmose, aumenta a tolerância nos períodos secos, oferece alimentos mais saudáveis e com menor teor de aditivos químico e com reduzido impacto sobre o meio ambiente.

2.5.2. Incineração

Incineração é o processo de combustão controlada, que tem por princípio a reação do oxigênio com combustíveis (resíduos), em temperaturas superiores a 800°C, para converter a energia química das moléculas em energia térmica (NETO, 2020).

O processo de incineração para a recuperação energética, não ocorre, segundo Santos (2011), em um forno isolado, mas sim, através de uma instalação industrial que contenha local de alimentação e armazenamento de resíduos, combustão no forno, recuperação do calor com a produção de vapor e eletricidade, dispositivos de controlo de poluição (tratamento dos gases da combustão) e dispositivos de manipulação dos resíduos do processo (cinzas e águas residuais).

Plantas de incineração, em geral, possuem elevados custos iniciais de operação e manutenção, principalmente em decorrência dos investimentos em equipamentos de tratamentos de efluentes. Por essa razão, as plantas vendem a energia produzida, para garantir a sustentabilidade económica (HENRIQUES, 2004; MENEZES; GERLACH, 2000). Para os autores referenciados, a produção de

energia eléctrica é rentável em plantas com capacidade de processamento acima de 250 toneladas por dia.

A incineração de resíduos envolve elevadas temperaturas de fornos que garantem a queima de correntes de resíduos urbanos que entram em combustão completa. Este procedimento garante o saneamento básico e a destruição de componentes orgânicos e inorgânicos, e conseqüente minimização de resíduos combustíveis nas cinzas.

Este processo permite a utilização de resíduos brutos provenientes de aterros sanitários diretamente para as estações de processamento sem necessidade acentuada do pré-tratamento.

2.5.3. Craqueamento Térmico ou Pirólise

A Pirólise, quando comparada com outros processos termoquímicos, destaca-se como o processo mais promissor de conversão económica da biomassa em combustíveis e mais sustentáveis, devido à sua simplicidade e maior capacidade de conversão em produtos líquidos de elevado valor comercial (Jesus, 2017; Goyal, 2008).

Esse processo é diferenciado dos demais, pelo facto de ser realizado na ausência de oxigénio ou quando está presente, significativamente, menores frações de oxigénio do que o exigido para a combustão completa, em atmosfera inerte. O processo de pirólise consiste na degradação térmica da biomassa, exigindo um aumento de temperatura para decompor a matéria-prima em produtos de menor peso molecular e de maior valor comercial (Jesus, 2017).

Nesse processo são obtidos produtos no estado sólido, líquido e gasoso. O produto gasoso corresponde aos gases não condensáveis, como CO, CO₂, H₂, CH₄, e outros hidrocarbonetos leves. O calor dos componentes de baixo poder calorífico típico dos gases pirolíticos varia entre 10 e 20 MJ/Nm³, dependendo da sua composição (Carvalho; Hernández, 2009). Os gases obtidos da pirólise possuem múltiplas aplicações potenciais, tais como o uso directo na produção de calor ou electricidade, produção de componentes individuais do gás, ou na produção de biocombustíveis líquidos através de sínteses reaccionais posteriores (Wiggers et al, 2008; Hernández, 2009).

O produto sólido obtido da pirólise, designado por carvão ou Bio-char, é formado maioritariamente por carbono (85% m/m), mas também por oxigénio, hidrogénio e inorgânicos. Esse carvão reduzido poder calorífico, de aproximadamente 30 MJ/kg (Jesus, 2017).

O Carvão obtido depende da composição e das propriedades físicas e, pode ser utilizado em vários processos industriais, tais como: combustível sólido em caldeiras, nano tubos de carbono ou, na produção de gás rico em hidrogénio e aplicado para remediação de solos e para a produção de carvão activado (Wiggers et al, 2008).

No processo de pirólise, são também obtidos produtos líquidos de coloração castanho-escuro denominado de bio-óleo, que é constituído por água, compostos leves (ácido acético, metanol, aldeídos e outros), mono-fenóis e outros derivados da lenhina, furanos, açúcares e outros compostos mais pesados (Goyal, 2008).

O bio-óleo produzido a partir da biomassa é considerado como uma fonte de energia alternativa promissora para o petróleo bruto, tendo potencial para ser usado como combustível para a produção de calor e de energia. O bio-óleo também pode ser gaseificado para a produção de gás de síntese e para a obtenção de produtos químicos para diversas finalidades (Figura 2.10) (Parente, 2012).

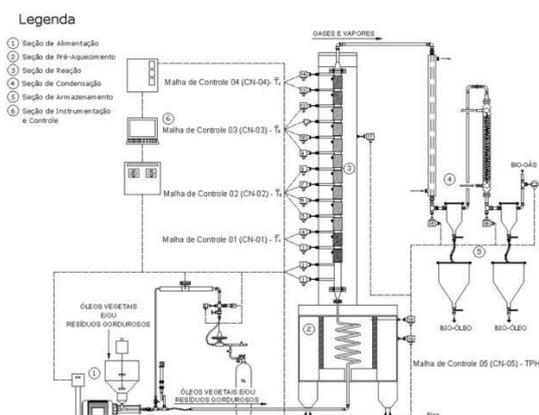


Figura 2.10: Produção de bio-óleo por craqueamento térmico, (Wisniewski, 2009)

2.5.4. Produção do Biodiesel

Biodiesel é um combustível diesel alternativo, produzido a partir de fontes biológicas renováveis, tais como óleos vegetais e gorduras de origem animal ou resíduos da biomassa referenciada. É biodegradável e não tóxico (KRAWCZYK, T., 1996).

O termo biodiesel refere-se a esteres de ácidos gordos, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, que pode substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil (QUINTELLA et al., 2009).

Com o aumento dos preços do petróleo, aos recursos limitados de petróleo fóssil e as preocupações ambientais, tem sido foco de investigação na perspectiva da utilização de matérias-primas renováveis para a produção de combustíveis. Em termos ambientais, a utilização de biodiesel permite reduzir as emissões de CO₂ fóssil e de diversos poluentes atmosféricos policíclicos (Balat et al., 2009).

As indústrias de biodiesel na Europa e na América do Norte têm registado forte crescimento, ao passo que o desenvolvimento destas indústrias em África é incipiente. Observa-se, desta forma o desenvolvimento de infraestruturas fragmentadas e instabilidade política de muitas nações Africanas como factores limitantes do crescimento, a curto prazo, da indústria de produção de biodiesel. Contudo, perspectiva-se um potencial crescimento, a longo prazo, quando as condições referenciadas forem minimizadas

Não existem registos quanto a capacidade de produção de biodiesel em África. A Revista Biodiesel não garantiu quaisquer estatísticas sobre a região. No entanto, em discurso na Cúpula de Combustíveis Renováveis do Canadá, em Dezembro 2009, Tammy Klein, Diretor Executivo de biocombustíveis da Global Biofuels Services for Hart Energy Consulting, observou que a África é actualmente composta por uma parcela extremamente pequena da indústria global de biodiesel.

Gerrit Smith Diretor Bioneer Pty. Ltd (Ano) sediada na África do Sul "A África está muito atrás do resto do mundo quando se trata de biocombustíveis". As perspectivas de curto prazo não são boas, afirma o investigador, observando que o debate Alimento-versus-combustível tem dificultado a produção de biodiesel em África. "Até o etanol celulósico e o óleo de algas para biodiesel se tornar viável, não veremos nenhum grande empreendimento de biocombustíveis", afirma o autor.

2.5.4.1. Reações de Transesterificação

A transesterificação é um processo que descreve uma classe de reacções orgânicas quando um éster é transformado em outro, através da troca dos grupos alcóxidos.

A reacção envolve um mol de triacilglicerídeo e três mols de um álcool de cadeia curta, sendo o metanol e etanol os mais usados. A reacção ocorre na presença de catalisador inorgânico e produz uma mistura de ésteres monoalquílicos de ácidos gordos (biodiesel) e glicerol (Marciniuk, 2007). Por ser uma reacção reversível com tendência de deslocar o equilíbrio no sentido da formação dos reagentes, utiliza-se o excesso de álcool na reacção.

2.5.4.1.1. Transesterificação via Catálise Homogénea Básica

A reacção de transesterificação via catálise homogénea é a mais utilizada industrialmente para a produção de biodiesel e consiste no uso de um catalisador para otimizar o processo e diminuir o tempo de reacção.

Os catalisadores básicos são mais facilmente manipuláveis e menos corrosivos às instalações industriais se comparados com os catalisadores ácidos, além de proporcionarem elevado grau de conversão em ésteres metílicos ou etílicos (Marciniuk, 2007).

De acordo com Garcia (2006), quando a reacção é realizada à temperatura ambiente, a catálise básica é mais rápida em comparação com a catálise ácida. Dentre os catalisadores básicos mais utilizados pode-se citar os hidróxidos e alcóxidos de sódio ou de potássio.

2.5.4.1.1. Transesterificação via Catálise Homogénea Ácida

A transesterificação via catálise homogénea ácida é utilizada como alternativa para evitar a formação de sabão ao longo do processo de conversão da matéria-prima em biodiesel, via catálise homogénea. Para tal, os ácidos mais usados são ácidos de Bronsted, como o ácido clorídrico, ácido sulfúrico e ácido sulfónico (Marciniuk, 2007).

Quando o teor de FFA presente no óleo for elevado (superior a 2 mgKOH/g) a produção de biodiesel por catálise básica é comprometida. Assim, vários autores afirmam quanto a necessidade de realizar a reacção de esterificação prévia à reacção

de transesterificação básica [Oliveira et al., 2009; Berchmans et al., 2008; Lu et al., 2009].

Além da transesterificação, os ácidos catalisam, ainda, a esterificação dos ácidos gordos livres presentes nos óleos vegetais e gorduras animais que aumentam a conversão em biodiesel e produz ésteres alquílicos.

2.6. Biorefinaria Integrada

A utilização de biomassa para geração de energia tem vantagens como a diversificação da matriz energética do país, reutilização de rejeitos e maior segurança energética devido a redução da dependência energética e econômica de combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral, o que é primordial para o crescimento econômico (OLIVEIRA, 2015). No entanto, o aproveitamento dessa matéria-prima exige a implantação das biorrefinarias.

As biorrefinarias são instalações onde ocorre a conversão de biomassa em combustíveis, energia e produtos químicos de valor agregado. O conceito de biorrefinaria é baseado no conceito de refinaria de petróleo, que produz vários combustíveis e produtos derivados do petróleo. A biorrefinaria, por sua vez, utiliza recursos renováveis para a produção de biocombustíveis, bioaditivos e produtos de química fina, reduzindo impactos ambientais. Indústrias processadoras de milho e fábricas de celulose e papel podem ser consideradas exemplos de biorrefinarias (DEMIRBAS, 2010). Os processos envolvidos e os produtos obtidos dependem da matéria-prima na qual a biorrefinaria se baseia, como se pode observar na Figura 4.

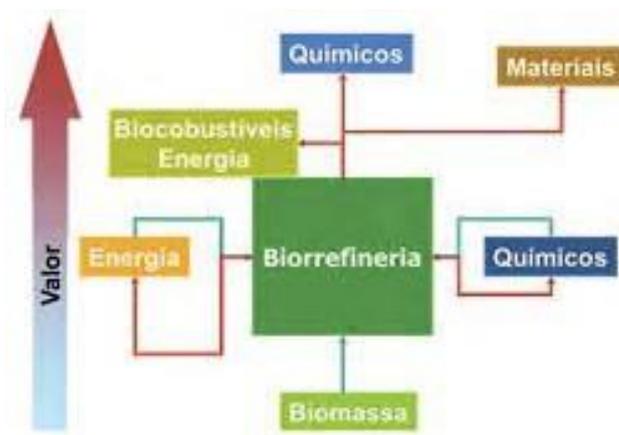


Figura 4: Princípios norteadores de uma biorefinaria integrada

Para garantir um aproveitamento mais efectivo da biomassa, de subprodutos e de resíduos gerados ao longo da cadeia produtiva é necessário um maior número de processos, o que por sua vez torna sua estruturação mais complexa e pode incrementar os custos da produção. As biorrefinarias integradas buscam combinação de processos sejam entre si. O sinergismo entre as plataformas termoquímica e bioquímica possibilita a redução do custo de produção e maior variedade de produtos.

Além disso, a biorrefinaria integrada é capaz de fazer uso de um maior número de componentes da biomassa, reduzindo assim a geração de resíduos e as emissões de dióxido de carbono (PECK et al., 2009). Assim como as refinarias de petróleo não conseguem realizar a conversão total da matéria-prima disponível, as biorrefinarias selecionam as plataformas de tecnologia que são mais econômicas para a conversão e manter o tipo de biomassa em uma certa coleção de produtos finais desejados. Uma ideia interessante que reduz os custos de transporte de resíduos agrícolas é a conversão da biomassa em bio óleo perto do cultivar. Assim o bio óleo, que possui alta densidade é levado para o processamento em uma instalação central, em vez de transportar a biomassa de baixa densidade que ocuparia um volume muito superior (DEMIRBAS, 2010). Dessa maneira, num país com dimensões continentais, como o Brasil, é possível reduzir os custos com o transporte de matéria-prima. O ideal é que as biorrefinarias sejam capazes de realizar integração térmica e desenvolvimento de coprodutos, como ocorre em refinarias de petróleo. O calor que é liberado de alguns processos pode ser usado para atender as necessidades de outros processos que ocorrem dentro da própria biorrefinaria (DEMIRBAS, 2010).

O Brasil já possui experiência com produção de biocombustíveis, como o bioetanol gerado a partir da cana-de-açúcar e o biodiesel produzido a partir de oleaginosas como a soja (NOGUEIRA et al., 2013). Além disso, o país possui sua economia fortemente fundamentada na agricultura. O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, a terceira estimativa da safra 2020/2021 indica que devem ser colhidas 665,1 milhões de toneladas dessa gramínea. Nas últimas cinco safras, O Brasil exportou, em média, cerca de 70,4% da sua produção de açúcar, o que lhe conferiu o posto de maior produtor e exportador mundial dessa commodity (CONAB, 2021). Esses dados sugerem a possibilidade do uso do bagaço da cana-de-açúcar, por exemplo, para produção energética no país.

O princípio da biorefinaria integrada apresentada neste projecto é proposto para ser utilizado na perspectiva do uso de resíduo para a produção de energia, combustíveis líquidos e gasosos, produtos químicos, usando processos como o craqueamento térmico, transesterificação, gaseificação, biodigestão anaeróbica, entre outros. A implementação deste projecto deve ser baseada numa forte integração entre as diversas unidades industriais presentes na usina de processamento de resíduos, para garantir optimização dos processos e incrementar a eficiência energética da unidade produtiva.