

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Conceitos gerais

A atmosfera da Terra é fruto de processos físico-químicos e biológicos iniciados há milhões de anos. Evoluiu, a partir do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), até o que existe nos dias atuais, tendo como gases principais o nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), o oxigênio ( $\text{O}_2$ ), o argônio (Ar) e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ).

Sabe-se que poluição atmosférica é a alteração indesejável das características físicas, químicas ou biológicas da atmosfera que possa causar danos aos seres humanos, vegetais, animais e materiais.

Hoje, podemos citar como exemplos de problemas de poluição existentes no mundo: a destruição da camada de ozônio, a chuva ácida e o aquecimento global. Os efeitos causados por fontes de poluição presentes em todos os países podem ser locais, regionais ou globais.

Discute-se também, há alguns anos, sobre a redução dos níveis de poluição por ozônio nas áreas urbanas, para isto é preciso reduzir a quantidade de hidrocarbonetos reativos e das emissões de óxidos de enxofre. O monóxido de carbono é um gás nocivo à saúde, e, além disso, a sua presença no ar contribui para a formação do ozônio em áreas urbanas. A poluição por ozônio em áreas urbanas é um exemplo de efeito local.

Como um exemplo de efeito regional, a chuva ácida é decorrente das emissões de óxidos de nitrogênio e de dióxido de enxofre que são transformados na atmosfera terrestre retornando para a superfície como depósitos secos ou como chuva, neve ou "fog". Estes depósitos ácidos localizam-se normalmente distantes das suas fontes, devido ao tempo de residência destes compostos na atmosfera. Nos EUA as plantas de geração de energia elétrica são responsáveis por 70% de um total de 23 milhões de toneladas de  $\text{SO}_2$  emitidos anualmente.

Todos estes poluentes são liberados para a atmosfera devido à combustão de alguns combustíveis fósseis em fontes estacionárias como caldeiras industriais e plantas de geração de energia, automóveis e outros veículos. Plantas de queima de carvão, elétricas ou industriais, contribuem em mais de 90% das emissões de  $\text{SO}_2$  em fontes estacionárias de combustão.

O efeito estufa é um fenômeno atmosférico que acompanha a vida do planeta desde seus primeiros tempos de existência e decorre da ação bloqueadora dos gases da atmosfera sobre o calor refletido na superfície

terrestre. Este efeito possibilita a manutenção da temperatura da terra nos níveis que permitem a existência de vida. O aquecimento global pode ser considerado um efeito de dimensões globais.

O problema do efeito estufa é causado pela emissão excessiva de gases, decorrente de atividades humanas, que desequilibra os níveis de temperatura na superfície da terra. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), organismo criado pelas Nações Unidas, que reúne 2500 especialistas em clima, concluiu que a temperatura média global subiu aproximadamente 0,03 a 0,06 graus Celsius nos últimos 100 anos. Gases como metano ( $\text{CH}_4$ ) e o  $\text{CO}_2$  juntamente com os cloro flúor carbonos (CFC's) e os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) têm estas propriedades e não permitem que a radiação solar, depois de refletida na terra, volte para o espaço, bloqueando o calor.

Um inventário de gases de efeito estufa feito na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, mostra que 36% do metano e 0,2% de gás carbônico gerado em atividades urbanas provêm dos aterros sanitários. Vale ressaltar que o metano, quando comparado ao gás carbônico, para uma mesma quantidade de gás, tem uma influência, segundo o IPCC (1996), vinte e uma vezes maior no fenômeno do aquecimento global da terra (GWP – Global Warming Potential).

Este fato implica na necessidade de ações que possam reduzir ou anular as emissões de  $\text{CH}_4$  em aterros sanitários.

Aterros Sanitários são instalações de eliminação utilizadas para deposição controlada de resíduos sólidos. Os resíduos são lançados ordenadamente e cobertos com terra ou material similar. Nos aterros deve existir um controle sistemático das águas lixiviantes e dos gases produzidos, bem como um monitoramento do impacto ambiental durante o seu tempo de operação e após o seu encerramento.

Para possibilitar um monitoramento efetivo nos aterros, é necessária a implantação de redes de drenagem para águas pluviais e lixiviantes, como também uma rede de drenagem de biogás. A coleta de biogás se faz necessária para a diminuição dos riscos de explosão, caso esteja estocado em bolsões no interior do aterro, além de evitar emissões dos poluentes.

O biogás gerado em aterros sanitários é composto basicamente de Metano ( $\text{CH}_4$ ) e Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ). Na faixa de 35 a 60% para o  $\text{CH}_4$  e na faixa de 25 a 40% para o  $\text{CO}_2$ .

Com objetivos ambientais e econômicos agregados, o biogás pode ser aproveitado para a produção de energia através de processos de combustão.

Isto acarretaria um abatimento na emissão de gases de efeito estufa, considerando-se que o metano é o composto emitido em maior quantidade.

Como a formação do biogás é decorrente da decomposição dos resíduos lançados nos aterros por meio da digestão anaeróbia, conseqüentemente, a sua composição depende, diretamente, dos materiais que compõem os resíduos existentes nesses locais, e a sua produção da quantidade de resíduos depositados nos mesmos.

O biogás é um gás de baixa densidade, mais leve que o ar, e isto faz com que, em um pequeno intervalo de tempo, o mesmo ocupe um volume significativo. Este fato torna menores os riscos de explosão em relação a outros gases como Propano e Butano.

O biogás não é tóxico, pois, de uma maneira geral, tem um baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0,1%). Mas em virtude da presença de sulfureto de hidrogênio ( $H_2S$ ), também chamado de gás sulfídrico, é um gás corrosivo que ataca, por exemplo, o cobre, o latão e o aço a depender da sua concentração.

Para teores em torno de 1% o gás sulfídrico é tóxico e mortal, mas para os teores normalmente encontrados no biogás, a grande preocupação é a formação e liberação do dióxido de enxofre após a sua combustão, pois além da possibilidade de ocorrência da chuva ácida, também poderá implicar em perturbações pulmonares aos seres humanos. O amoníaco é outro composto que exige atenção, pois, a exemplo do  $H_2S$ , em sua combustão forma óxidos de azoto que são igualmente tóxicos.

Como foi possível observar, a combustão do biogás não produz somente  $CO_2$  e água. Mas, a partir de sua composição outros compostos, poluentes, podem ser formados, e é preciso também um monitoramento, análise e controle de suas emissões ( $NO_x$ ,  $SO_2$ ) para que seja possível haver segurança frente aos riscos ambientais que estes gases representam.

Em aterros sanitários, a produção do biogás depende das bactérias anaeróbias. É um processo natural de degradação: as bactérias que se alimentam de matéria orgânica transformam-na em compostos mais elementares. É por meio do metabolismo dessas bactérias que se obtém, como produto, o gás metano que é altamente combustível e pode ser utilizado para geração de energia. É possível, ainda, forçar o aparecimento dessas bactérias num ambiente controlado.

O biogás pode ser utilizado na geração de energia elétrica, tanto em motores de combustão interna, como em turbinas, com os equipamentos conhecidos e que são normalmente utilizados para esta finalidade.

Aspecto que merece atenção é o processo de captação, ou coleta do biogás. Esta coleta é feita por meio de uma rede de dutos simetricamente perfurados, instalada dentro do aterro sanitário, pela qual o gás, devido a diferença de pressão, tende a buscar como caminho para chegar à atmosfera. Para auxiliar na captação, é possível a utilização de um sistema de sucção forçada.

Após a captação, o biogás é encaminhado a um tratamento para tirar o excesso de umidade. E depois é levado para a planta de utilização. Numa termoelétrica comum, é possível utilizar um motor otto, um modificado (diesel + gás) ou uma turbina. O biogás pode ser engarrafado e tem sua utilização semelhante à do gás natural, com um pouco menos em teor de metano (GN 90% e o BG 60%), mas proveniente de uma fonte renovável, não sendo um combustível fóssil como o gás natural. O biogás ainda pode ser beneficiado e superar os 86% de teor de metano para atender o que requer a ANP para a utilização como combustível homologado (passível de comercialização).

Os aterros sanitários, de acordo com Muylaert et al, 2000, em todo o mundo, produzem cerca de vinte a sessenta milhões de toneladas de metano por ano. Os Estados Unidos são o maior emissor, seguido pela China, Canadá, Alemanha e Reino Unido (Rosa et al., 2003). Os países em desenvolvimento, devido ao crescimento populacional, são responsáveis por uma parcela cada vez maior das emissões de metano.

Nos Estados Unidos e no Reino Unido foram criados programas de recuperação de metano que reduzirão suas emissões em cinquenta por cento ou mais nas próximas décadas, que têm um ganho econômico pelas emissões evitadas e, principalmente, pela recuperação ou geração de energia (Rosa et al., 2003).

No panorama energético nacional tem-se discutido algumas questões: I. A demanda de energia; II. Reservas de energias disponíveis; III. A eficiência na produção, distribuição e utilização da energia disponibilizada.

Na busca de atender às necessidades energéticas existentes, o biogás, proveniente de aterros sanitários, surge como uma alternativa interessante, podendo ser utilizado como combustível veicular, na geração de energia elétrica por meio de processos de combustão ou através da tecnologia de células combustível.

Na presente dissertação aborda-se a possibilidade de geração de energia (elétrica e térmica) obtida através de processos de combustão de biogás captado em aterros sanitários. O biogás queimado possibilita o aquecimento de vapor e a

geração de energia elétrica ou térmica para a secagem, por exemplo, de materiais cerâmicos (tijolos, telhas, etc).

Apesar das motivações relacionadas à utilização do biogás como combustível, são necessários estudos para obter-se uma combustão mais limpa e eficiente, destinada à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento industrial do país.

Nessa direção o uso de ferramentas matemáticas, como modelagens através da “dinâmica dos fluidos computacional” (CFD), no estudo de novos projetos e idéias alternativas, para a obtenção de melhores performances, tem se mostrado crescente.

Na simulação de sistemas como fornalhas industriais, são necessários modelos o mais simples possível para possibilitar a obtenção de resultados confiáveis em um relativamente curto espaço de tempo. Os resultados encontrados nas simulações precisam ser atestados através da comparação com medidas experimentais.

## **1.2 Objetivo**

Neste estudo, buscou-se investigar a aplicação de um modelo baseado na simulação de volumes finitos, incluindo o modelo  $k-\epsilon$  de turbulência, modelo generalizado de Arrhenius e Magnussen para o cálculo das reações químicas, e o modelo de radiação por transferência discreta, na simulação do processo de combustão de gases provenientes de aterros sanitários em fornalhas industriais, utilizando-se o pacote comercial Fluent 6.1. Buscou-se ainda avaliar a possibilidade de uso do biogás como fonte de energia e investigar a formação de NO, CO e SO<sub>2</sub> decorrentes do processo de combustão.

## **1.3 Organização do Trabalho**

A dissertação está dividida em seis capítulos e dois apêndices.

No segundo capítulo, que segue a este introdutório, são discutidos aspectos ligados ao manejo dos resíduos sólidos, sua composição, coleta, e destinação final, acrescentando-se, neste mesmo capítulo, a discussão sobre o processo de geração do GDL (gás do lixo) e seu possível aproveitamento como fonte alternativa de energia.

No terceiro capítulo, é descrita a modelagem numérica para o campo de temperaturas, os modelos para as reações químicas, para a radiação e para a determinação do campo de velocidade, incluindo-se o modelo k- $\epsilon$  de turbulência. Apresenta-se, ainda, o modelo utilizado para o cálculo das grandezas nas regiões próximas à parede, além de serem discutidos os mecanismos de formação de poluentes, e descritas as formulações utilizadas para a obtenção dos resultados no cálculo da formação e concentração dos poluentes estudados.

O quarto capítulo apresenta a geometria, a malha e os parâmetros utilizados nas simulações, que procuraram reproduzir computacionalmente as condições do experimento de Garreton (1994), e que já foram anteriormente utilizadas por Isnard (2000) em simulações para gás natural.

No capítulo cinco comenta-se os resultados encontrados, a partir do estudo dos casos simulados, nesta dissertação. Estes resultados são avaliados de forma qualitativa e quantitativa comparando-se o modelo escolhido com diferentes formulações.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões deste estudo.

Descreve-se, no primeiro apêndice, o teste de malha, realizado na escolha da malha utilizada. No segundo são descritos os procedimentos de solução das equações.