

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR PELA MUDANÇA DA MATRIZ ENERGÉTICA EM USINA TERMOELÉTRICA: ÓLEO PARA MISTURA ÓLEO-GÁS NATURAL

EVALUATION OF AIR QUALITY BY THE CHANGE OF ENERGY MATRIX POWER IN THERMOELECTRIC PLANT: OIL FOR OIL-GAS MIXTURE

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR CAMBIO DE MATRIZ EN PLANTA DE ENERGÍA TÉRMICA: DIÉSEL PARA MESCLA DE DIÉSEL-GAS NATURAL

Fernando Pêgas da Silva
Companhia Energetica Manauara
fernandopegas@utemanauara.com.br

Aline Maria Meiguins de Lima
Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
alinemeiguins@gmail.com

Resumo

O petróleo ainda é a mais importante fonte de energia até o presente momento; porém, por razões ambientais as usinas térmicas a óleo diesel no Estado do Amazonas estão sendo convertidas ao gás natural, com o fortalecimento do processo marcado pela presença e intensificação das empresas na Zona Franca de Manaus e crescimento demográfico da Região Metropolitana de Manaus. A partir deste cenário que impacta diretamente a qualidade do ar, buscou-se caracterizar as mudanças dos índices dos efluentes gasosos quando da alteração da matriz energética de óleo combustível para gás natural na usina Companhia Energética Manauara (UTE Manauara – Manaus/AM). A metodologia utilizada empregou os dados (de 2007 a 2013) resultantes do monitoramento de emissões gasosas (NO₂, SO₂, material particulado) e qualidade do ar (partículas totais em suspensão, NO₂, SO₂, CO, O₃, fumaça). A partir destes observou-se que os parâmetros analisados apresentaram no geral um comportamento positivo à mudança de combustível, diferenciado apenas para o NO₂. Havendo necessidade de adequação da legislação ambiental para o estabelecimento de limites precisos para a mistura óleo-gás natural, segundo critérios de qualidade para a região Amazônica.

Palavras-chave: qualidade do ar, monitoramento, matriz energética.

Abstract

The oil still is the most important an important energy source until to present date; but for environmental reasons mainly the thermal diesel in the state of Amazonas, are being converted to natural gas; with the increase of this process by the presence of companies in the Free Zone of Manaus and demographic growth of the Metropolitan Region of Manaus. This scenario directly affects air quality, so the present study aims to characterize the changes of indices of flue gases when changing the energy matrix of fuel oil to natural gas in power plant Manauara Energy Company (UTE Manauara – Manaus/AM). The methodology employed the data base (2007-2013) resulting from the monitoring of gaseous emissions (NO₂, SO₂, particulate matter) and air quality (total suspended particulates, NO₂, SO₂, CO, O₃, smoke). It was observed that the parameters were in general positive to the change

pattern, differentiated only for NO₂. However, there is the need for an adequate environmental legislation to establish accurate for mixing natural oil-gas limits, with quality demands adapted to Amazon region.

Keywords: air quality, monitoring, energy matrix.

Resumen

El petróleo es todavía la fuente de energía más importante para el presente. Sin embargo, por razones ambientales las centrales térmicas a diésel en el estado de Amazonas están siendo convertidos a gas natural, con el fortalecimiento del proceso marcado por la presencia y el fortalecimiento de las empresas de la zona franca de Manaus y el crecimiento demográfico en la región metropolitana de Manaus. A partir de este escenario que afecta directamente la calidad del aire, hemos tratado de caracterizar los cambios en las tasas de los gases residuales cuando el cambio en la matriz energética de fuel oil a gas natural en la planta de la Compañía Energética Manauara (UTE Manauara - Manaus/AM). Los datos metodología empleada (2007 a 2013) como resultado de la vigilancia de las emisiones gaseosas (NO₂, SO₂, partículas) y la calidad del aire (partículas suspendidas totales, NO₂, SO₂, CO, O₃, humo). De éstos se observó que los parámetros analizados mostraron un comportamiento positivo en general para cambiar de combustible, diferenciados sólo por NO₂. Si existe la necesidad de adaptar la legislación ambiental para establecer límites precisos a la mezcla de diésel y de gas natural, de acuerdo con criterios de calidad para la región amazónica.

Palabras clave: calidad del aire, monitoreo, matriz energética.

1. INTRODUÇÃO

O ar é um recurso ambiental passível de degradação, sendo que a poluição pode ser proveniente das mais diversas fontes e atividades poluidoras, sejam essas econômicas ou não, causando danos materiais, nos ecossistemas naturais e efeitos nocivos à saúde e ao bem estar dos seres humanos (CAMPOS *et al.*, 2006; HABERMANN *et al.*, 2014).

A energia, por sua vez, é um fator essencial ao desenvolvimento social e econômico de uma região ou país. A qualidade de vida dela resultante possibilita realizar as tarefas mais simples e essenciais ao cotidiano de qualquer pessoa (RODRIGUES e COSTA, 2012). Os avanços da capacidade de monitoramento e medição têm resultado em maior conscientização a respeito dos efeitos sobre o ambiente e a saúde humana, associados à produção, conversão e uso da energia (FERRAREZ *et al.*, 2010).

A queima de combustíveis fósseis é responsável por emissões substanciais de elementos poluidores do ar (enxofre, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e fuligem) que desempenham um papel fundamental na formação de material particulado fino, do ozônio e da chuva ácida (DIAS *et al.*, 2010); além de contribuir para a liberação de metais persistentes, tais como chumbo e mercúrio, e outros materiais perigosos no meio ambiente (DIVAN Jr. *et al.*, 2009; MAZZONI, 2012).

A influência dos contaminantes ou poluentes no grau de poluição depende da sua composição química, concentração na massa de ar, das condições climáticas que podem influenciar a sua dissipação e dos mecanismos reacionais que podem dar origem a novos poluentes (HABERMANN *et al.*, 2011; MAVROIDIS e ILIA, 2012; HABERMANN *et al.*, 2014).

Áreas de concentração de atividade industrial tendem a agravar tais consequências, como é o caso do Polo Industrial de Manaus (Zona Franca de Manaus - 1967 até a atualidade) que congrega cerca de 500 companhias, grande parcela delas filiais de multinacionais de alta tecnologia, que juntas, representam investimentos estrangeiros acumulados superiores a US\$ 6,7 bilhões (GAMA *et al.*,

2013).

O adensamento industrial e populacional gera a demanda por produção de energia, que passa a representar uma necessidade para a manutenção do setor produtivo. Portanto, indicadores tanto demográficos quanto econômicos são de fundamental importância nas projeções futuras de demanda por energia elétrica (TOLMASQUIM *et al.*, 2007). As usinas térmicas inserem-se neste ambiente para dar segurança ao sistema elétrico, que utiliza prioritariamente energia gerada por hidrelétricas (ROSA, 2007).

Neste cenário a Companhia Energética Manauara (UTE Manauara, Manaus/AM) iniciou suas atividades operacionais em 2006, consumindo óleo combustível e a partir de 2011, após a adaptação de seus grupos geradores, gás natural. O uso desse gás prevê uma menor poluição atmosférica que aquela proveniente de derivados de petróleo (SANTOS *et al.*, 2007; SUZUKI *et al.*, 2011), pois não precisa ser atomizado para queimar, o que lhe confere uma combustão limpa e mais eficiente, minimizando as emissões gasosas.

A Companhia Energética Manauara é composta por uma usina termelétrica, situada em Manaus, no estado do Amazonas, na Rodovia AM-010, KM-20. A energia elétrica produzida pela usina é em corrente alternada, na frequência de 60 Hz, tensão em 13,8 kV, elevada para 69 kV na Subestação Elevadora (SE), tendo os pontos de conexão e entrega de energia, situados na SE Santa Etelvina e Cidade Nova, da Amazonas Energia.

A Subestação Elevadora (SE) de 13,8 kV/69 kV é constituída de 02 transformadores de 85 MVA e demais equipamentos associados. A linha de transmissão que interliga a UTE Manauara a SE mais distante, Cidade Nova, tem uma extensão de 13,84 km. O projeto tem a finalidade de atender à Potência Garantida de 60 MW à concessionária de energia Amazonas Energia S/A, contrato com prazo de 20 anos.

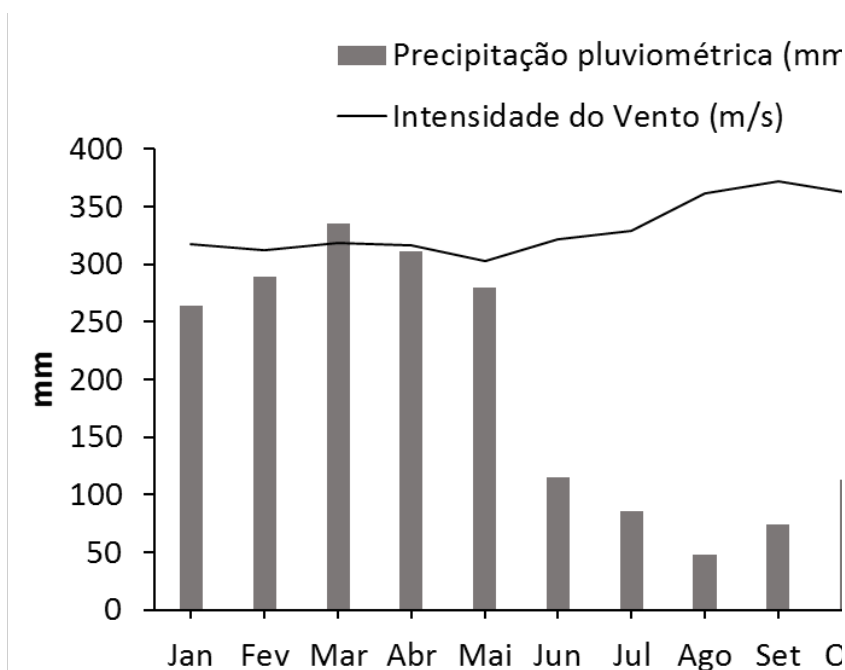
Considerando a demanda de produção de energia existente e a necessidade de redução dos impactos ambientais decorrentes, buscou-se caracterizar as mudanças dos índices dos efluentes gasosos quando da alteração da matriz energética (óleo combustível para mistura óleo-gás natural) na usina Companhia Energética Manauara (UTE Manauara). Para tanto, foi desenvolvida uma proposta na modalidade pesquisa-ação, abrangendo desde o período de implantação da usina, a conversão dos seus motores, de óleo combustível para gás natural, até a fase final dos testes nas máquinas.

2. MATERIAIS E MÉTODO

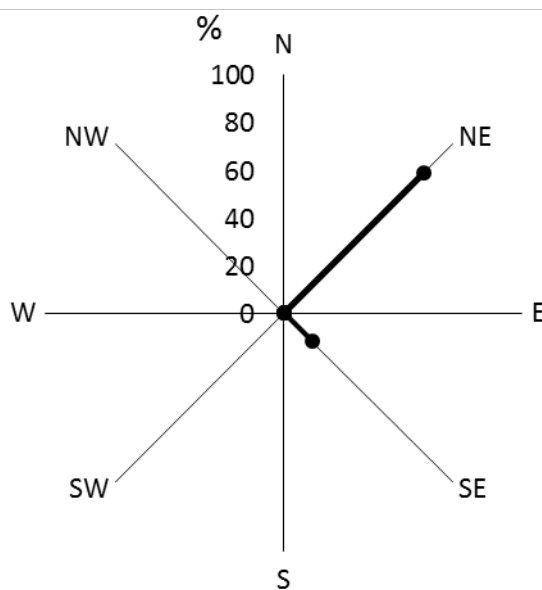
2.1. Quadro geral da amostragem

Os meses amostrados procuraram ser representativos do ciclo hidrológico caracterizando o período mais chuvoso (fevereiro, abril) e o menos chuvoso (julho-agosto), além de pontos intermediários entre o ciclo. A figura 1 ilustra o comportamento da precipitação pluviométrica, intensidade do vento e da direção preferencial dos ventos, a partir dos dados obtidos pela Normal Climatológica (1961-1990) para a estação de Manaus/AM (código 82331), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Em Manaus o período mais chuvoso é característico de janeiro a maio, com trimestre mais chuvoso (Figura 1a): fevereiro (289,5 mm), março (335,4 mm) e abril (311,2 mm). E o menos chuvoso de junho a dezembro, com trimestre de menor intensidade em: julho (85,4 mm), agosto (47,3 mm) e setembro (73,7 mm).



(a)



(b)

Figura 1. (a) Precipitação pluviométrica (mm) e Intensidade do vento (m/s); (b) Direção preferencial dos ventos; segundo a Normal Climatológica (1961-1990) para a estação climatológica de Manaus/AM (código 82331). Gráficos elaborados para este trabalho a partir dos dados disponibilizados no sítio eletrônico do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Durante junho e julho a direção dos ventos (Figura 1b) está preferencialmente para SE (17%), ficando o restante do ano para NE (83%). A intensidade do vento é maior no período menos chuvoso com valores máximos em (Figura 1a): agosto (2,71 m/s), setembro (2,79 m/s) e outubro (2,71 m/s). O menor valor de intensidade dos vento encontra-se em maio com 2,27 m/s.

2.2. Monitoramento de gases emitidos pelas chaminés dos geradores

O monitoramento isocinético foi realizado nas Chaminés dos Geradores 01, 02, 03, 04 e 05 da UTE Manauara (estes operam com uma relação de mistura do combustível de 10% de Óleo Combustível e 90% de Gás Natural). Todos os Grupos Geradores monitorados possuem ano de fabricação de 2006 e foram fabricados pela Wartsila (modelo 18V46); tendo sofrido adaptação para consumo bi-combustível, concluídas em fevereiro/2011. Sua potência nominal é de 17.076 KW e continua nas condições ISO a 514 rpm. Os grupos-geradores sofrem manutenção a cada 3.000 horas.

Cada coleta constou das seguintes determinações: concentração do material particulado (MP), concentração de NO_x, (como NO₂) e de SO_x, (como SO₂). A amostragem foi a mais representativa possível do material expelido pela fonte monitorada, para obtenção de um resultado mais preciso tanto do material particulado, como dos gases avaliados.

As análises foram executadas com um Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA) e um Analisador de Gases Portátil, utilizando o método nº 5 do USEPA (*United States Environmental Protection Agency*; que atende a Norma NBR/ABNT n. 12.019/90 - Determinação de Efluentes Gasosos em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação de Material Particulado).

Foram feitas 3 (três) coletas ao dia com duração de 60 minutos cada, atendendo as normas de amostragem, nos seguintes meses/ano: abril/2007, junho/2008, julho/2009, janeiro/2010, agosto/2010, fevereiro/2011, julho/2011, janeiro/2012, julho/2012 e abril/2013. Para determinar a temperatura ambiente e a pressão atmosférica no dia do monitoramento foi empregada uma estação meteorológica do fabricante Honeywell NO 9860.3065.

O método nº 5 do USEPA é o recomendado pelas Resoluções CONAMA n. 08/90 e 382/06, uma vez que é o único que se permite fazer a coleta do material a ser analisado nas mesmas condições da fonte monitorada, caracterizando, portanto, uma amostragem isocinética. Na técnica isocinética a sonda de coleta dos gases amostrados permite retirar a amostra de gases exatamente na mesma velocidade em que se encontra em cada ponto da chaminé.

A sonda empregada dispõe de tubos de Pilot que permitem medir a velocidade dos gases da chaminé, em cada ponto, e assim, de posse desse dado, pode-se ajustar a bomba de vácuo de modo a se ter no tubo coletor de gás, exatamente a mesma velocidade medida na chaminé. Desta forma, as partículas na amostra de gases são perfeitamente representativas das existentes no fluxo global da chaminé. Para tornar a medição mais representativa nas chaminés de grande diâmetro, a sonda teve que coletar amostras em até 16 pontos dispostos sobre duas linhas perpendiculares transversalmente à chaminé.

Os gases coletados pela sonda passam em um filtro de “papel” de fibra de vidro previamente pesado. A massa de sólidos retirada neste filtro é então dividida pela vazão média de gases coletados e se tem assim a concentração de Material Particulado (MP). O mesmo esquema é utilizado para determinar os teores de dióxido de nitrogênio e enxofre, para isto o gás coletado, após a filtração é borbulhado em garrafas lavadoras onde o NO₂ e o SO₂ são capturados e dosados posteriormente em laboratório. O equipamento foi calibrado segundo o método NBR/ABNT n. 12.020/92.

2.3. Avaliação da qualidade do ar

O monitoramento foi realizado em dois pontos distintos, um na sede da UTE Manauara (a 700 m da fonte geradora) e o outro na Comunidade São João (a 1 km da fonte geradora), sendo o período de amostragem de acordo com o que determina o método estabelecido na Resolução CONAMA n. 03/90. Foram realizadas coletas com duração de 24 horas por um período de 7 dias, atendendo as normas de amostragem (abril/2007, outubro/2007, janeiro/2008, maio/2008, agosto/2008,

novembro/2008, agosto/2009, janeiro/2010, julho/2010, fevereiro/2011, julho/2011, janeiro/2012, julho/2012, abril/2013).

Cada coleta constou das seguintes determinações: partículas totais em suspensão (PA), NO₂, SO₂, CO, O₃ e de Fumaça. No período de abril/2007 a novembro/2008 não foram coletados NO₂, CO e O₃, estes só passaram a compor o quadro de monitoramento da empresa para avaliação da qualidade do ar a partir de agosto/2009.

A amostragem de Partículas Totais em Suspensão (PTS) foi realizada utilizando um Amostrador de Grande Volume (AGV) de acordo com o que determina a NBR/ABNT n. 9.547/97. Além de um kit Calibrador de Vazão para o AGV, do tipo simples com placas múltiplas.

O Amostrador de Grande Volume funciona aspirando o ar, que por sua vez é filtrado por um filtro de fibra de vidro, onde as partículas com diâmetro aerodinâmico entre 0,1 e 100 µm são retidas. A concentração é determinada pelo material particulado retido no filtro. O mesmo é pesado antes e depois da amostragem.

As amostras de fumaça e os demais gases dosados foram coletados usando-se um amostrador de gases portátil. O ar aspirado pela bomba de vácuo do equipamento passa por um filtro de papel que retém a poeira do ambiente monitorado. Através da refletância da mancha formada no papel, avalia-se a concentração de fumaça da superfície do filtro. O ar contendo os outros gases, após passarem pelo filtro de papel é dosado diretamente em células fotoquímicas.

2.4. Processamento dos dados

Os resultados do estudo da pesquisa foram estruturados em planilhas e gráficos, alinhados com os limites estabelecidos pelas Resoluções CONAMA, e confrontados por fonte de energia. O processo de tratamento empregou tabulação de dados e análise estatística para mensuração. Na análise dos dados foi feita de forma comparativa por matriz e os parâmetros analisados embasados pelos limites máximos estabelecidos na legislação na qual prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano a fauna, flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

3. RESULTADOS

A figura 2 (a, b, c) ilustra a variação encontrada nos geradores (1 a 5). É necessário destacar que fevereiro/2011 foi quando se deu a troca do combustível de 100% óleo para 10% óleo e 90% gás natural, por isso espera-se neste período um comportamento variável, de ajuste ao processo.

Em relação a resposta individual de cada parâmetro observa-se que: o material particulado só passou a registrar uma estabilidade de comportamento a partir de janeiro/2012, sendo que até julho/2011 o sistema ainda não havia se adaptado a mudança; o NO₂ teve uma resposta mais demorada em relação à alteração do sistema só registrando os menores valores em abril/2013, sendo que de julho/2009 a julho/2011 houve um incremento de 13,26%, e de julho/2011 a julho/2012 de 5,85%.

O SO₂ apresentou uma rápida resposta com uma redução significativa, com valores em média 89% inferiores aos registrados antes da mudança. Um fator comum registrado principalmente a partir de janeiro/2012 é uma variabilidade menor de valores, com as menores flutuações entre a média e o desvio padrão.

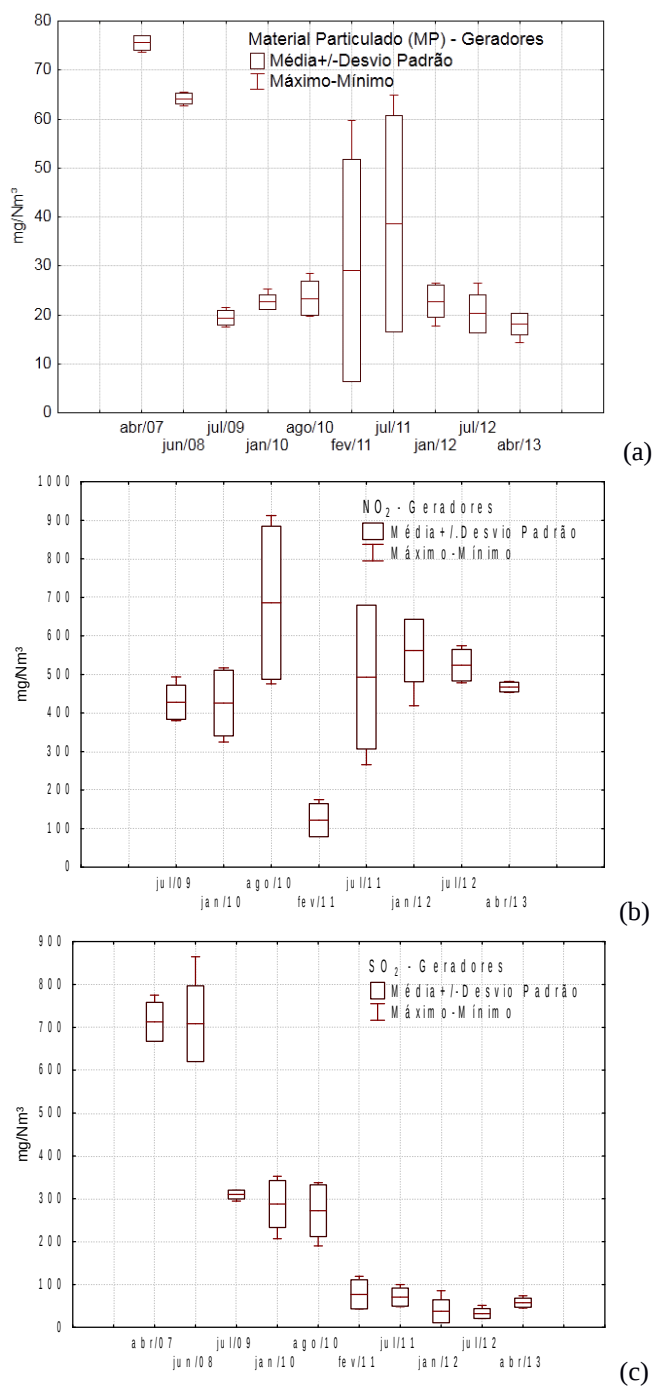


Figura 2. (a) Material particulado (MP) coletado nos geradores; (b) NO₂ coletado nos geradores; (c) SO₂ coletado nos geradores.

Na Figura 3 pode-se comparar individualmente cada gerador antes e depois da mudança. Considerando a mudança em fevereiro/2011 e o fato de até julho/2011 os geradores ainda estarem se adaptando ao processo, na avaliação do comportamento médio dos cinco geradores optou-se por não considerar os valores destes dois períodos. No geral observa-se que houve uma tendência de melhoria de desempenho na redução da emissão de particulados e gases, mesmo admitindo o comportamento diferenciado do NO_2 . Em relação a dispersão de gases e fumaça o comparado entre os valores registrados na sede (a 700 m da fonte geradora) e na Comunidade de São João (a 1 km da fonte geradora) demonstra incrementos de NO_2 e O_3 a partir de 2011 (Figura 4a).

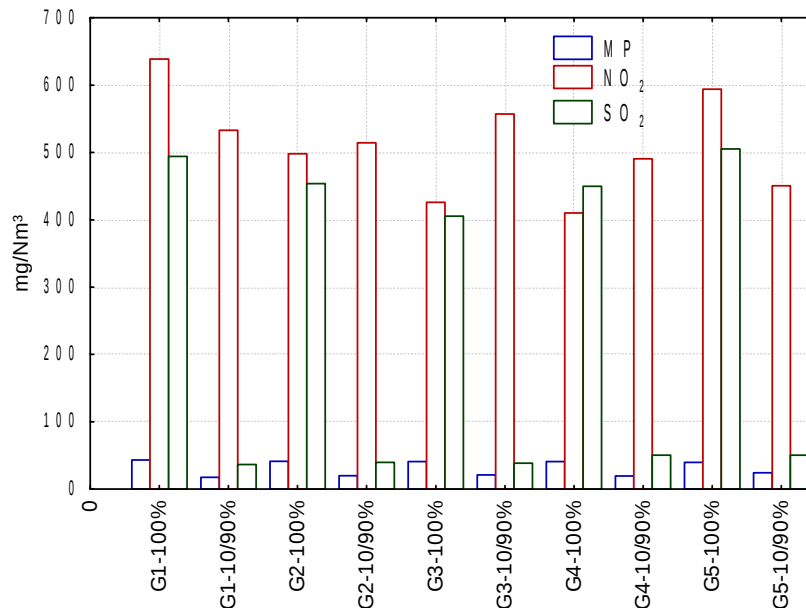


Figura 3. Média dos valores de MP, NO_2 e SO_2 coletados nos geradores (G1 a G5) com combustível a 100% de óleo e com a mistura de 10% de óleo combustível e 90% de gás natural.

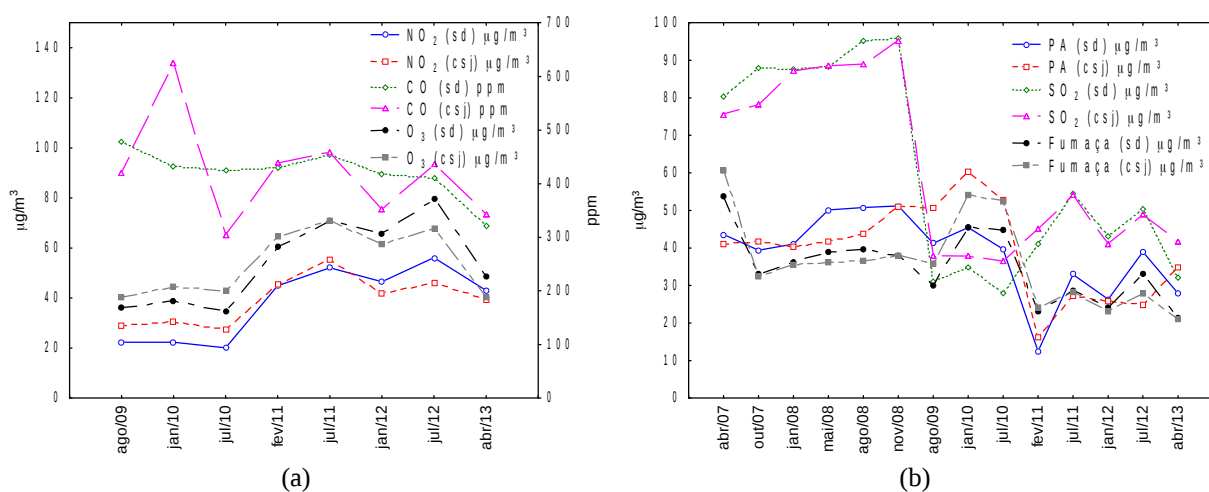


Figura 4. (a) Comportamento do NO_2 , CO e O_3 coletados sede da UTE Manauara (sd) e o outro na Comunidade São João (cjs); (b) Comportamento do SO_2 , PA e da Fumaça coletados sede da UTE Manauara (sd) e o outro na Comunidade São João (cjs).

Na sede, em julho/2010 foram registrados para NO_2 e O_3 respectivamente $20,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $34,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$; enquanto que em julho/2012 estes valores passaram para $56,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $79,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ representando acréscimos de 64% e 56%. Na Comunidade de São João, este aumento foi de 41% para o NO_2 e de 37% para o O_3 . Já o CO mostrou-se variável uma redução de 3% na sede e um incremento de 30% na Comunidade.

Na Figura 4b observa-se, comparando o mês de julho em 2010 e 2012 (marca o período menos chuvoso e com gradativo aumento da intensidade dos ventos), que: reduziram os percentuais de partículas totais em suspensão (1,3% na sede e 113% na Comunidade) e fumaça (35% na sede e 88% na Comunidade); e aumentou a produção de SO_2 (44% na sede e 25% na Comunidade). A Figura 5 (a, b) ilustra que houve diferença entre o registrado nos geradores (média), na sede e na Comunidade para o NO_2 e o SO_2 , sendo o comportamento do segundo bem distinto do primeiro.

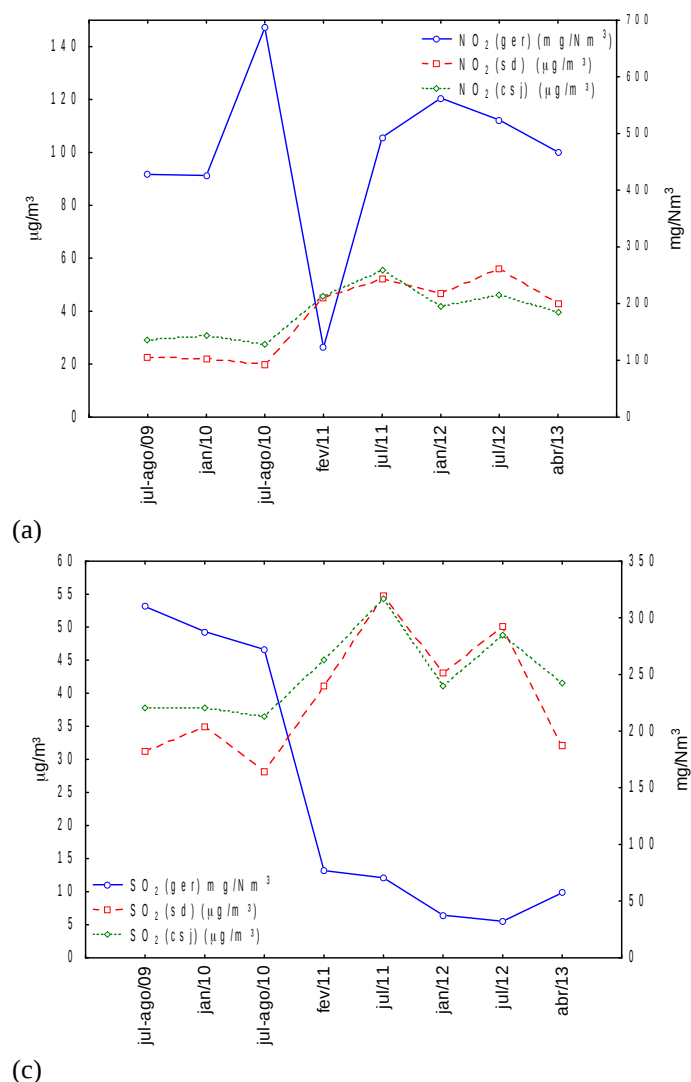


Figura 5. (a) Comportamento do NO_2 na sede (sd), na Comunidade São João (cjs) e a média produzida pelos geradores (ger); (b) Comportamento do SO_2 na sede (sd), na Comunidade São João (cjs) e a média produzida pelos geradores (ger).

4. DISCUSSÃO

Segundo Lu e Morris (2011) e Mavroidis e Ilia (2012) o NO₂ pode na presença de hidrocarbonetos e de radiação solar, reduzir sua concentração e gerar o aumento de O₃. Os comportamentos do NO₂ e do O₃ na sede e na comunidade de São João acompanham essa relação com concentrações maiores de O₃, demonstrando que este pode estar sofrendo contribuição do NO₂ liberado. Mavroidis e Chaloulakou (2011) resumem esse processo por meio das equações (1) e (2), onde $h\nu$ equivale aos efeitos da radiação solar:

Equação (1)

Equação (2)

O NO e o NO₂ são considerados gases de importância ambiental/toxicológica, cujo contato frequente com concentrações elevadas é capaz de lesar o pulmão diretamente através de suas propriedades oxidantes ou indiretamente por aumentar a suscetibilidade às infecções respiratórias, contribuindo também para a deposição ácida, que danifica a vegetação e os ecossistemas aquáticos (PRIMO *et al.*, 2005; OLIVEIRA, 2008; BORTOLI *et al.*, 2010; VILLENEUVE *et al.*, 2012).

Tais fatos, devem ser considerados um sinal de alerta pois o NO₂ não apresentou um comportamento diferenciado após a troca de combustível (para 10% de óleo e 90% de gás natural). O gás natural não apresenta uma composição química fixa e a proporção de hidrocarbonetos e gases não-hidrocarbonetos pode variar amplamente, dependendo de sua origem (gás natural produzido no Brasil tem em torno de 1 a 3% de sua composição em volume de N₂) (RANGEL e BUCHLER, 2005).

O SO₂ apresentou de forma tendencial uma resposta melhor a mudança de mistura de combustível, em termos ambientais isto é positivo principalmente na Amazônia, onde a frequência de precipitações pode ocasionar chuvas ácidas (DIVAN *et al.*, 2009; DIAS *et al.*, 2010). Outro efeito registrado do acúmulo de SO₂ na atmosfera são os adversos a saúde que incluem alteração na defesa dos pulmões, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares (TOLEDO e NARDOCCI, 2011).

Reis *et al.* (2013), discutindo o emprego de biocombustíveis, indicam que as emissões de CO, SO₂ e material particulado são inferiores às obtidas a partir de combustíveis tradicionais, enquanto os níveis de emissões de gases nitrogenados (NO_x) são ligeiramente maiores; resultado semelhante ao observado na relação com o gás natural.

No atendimento a legislação ambiental vigente ressalta-se que a resolução CONAMA n. 382/06 (complementada pela resolução CONAMA n. 436/11), que define os limites de emissões para poluentes atmosféricos, é relativa aos processos de geração provenientes a partir de combustão por óleo combustível ou gás natural, entre outros; não contemplando pontualmente o processo de queima conjunta, como é o caso na UTE Manauara (mistura de 10% óleo combustível e 90 % de gás natural).

As emissões dos gases NO₂ e O₃ são as principais preocupações ambientais nas usinas a gás natural, mas o registrado (ainda que com os incrementos observados) encontra-se enquadrado nos limites das normas, conforme apresentado na Tabela 1. O comportamento do NO₂ pode ser considerado diferencial já que ainda existe 10% de óleo na mistura, o que torna o valor intermediário entre o 100% óleo e o 100% gás natural.

Tabela 1. Valores limites apresentados pelas resoluções CONAMA n. 382/06 e n. 436/11.

Potência térmica nominal (MW): $10 \leq MW \leq 70$ ⁽¹⁾	Combustão externa de óleo combustível	Combustão externa de gás natural	UTE Manauara	
			Média - óleo ⁽²⁾	Média - mistura ⁽³⁾
MP (mg/Nm ³)	250	NC	41,13	20,39
NO _x (mg/Nm ³)	1000	400	513,48	509,11
SO _x (mg/Nm ³)	2700	NC	461,67	43,04

⁽¹⁾: Potência nominal de cada gerador da UTE Manauara - 17.076 KW cerca de 17 MW.

⁽²⁾: Média dos valores obtidos para UTE Manauara, nos geradores, entre 2007 e 2010, quando o consumo era de 100% de óleo.

⁽³⁾: Média dos valores obtidos para UTE Manauara após a conversão para mistura (10% óleo e 90% gás natural), considerando os registros de janeiro/2012 a abril/2013, nos geradores.

NC - Não consta nas normas.

O gás natural apresenta uma vantagem ambiental significativa em relação a outros combustíveis fósseis, em função da menor emissão de gases poluentes que contribuem para o efeito estufa (FERRAREZ *et al.*, 2010). Onde o maior ou menor impacto ambiental está relacionado à composição do gás natural, ao processo utilizado na geração de energia elétrica, a remoção pós-combustão e às condições de dispersão dos poluentes (RANGEL e BUCHLER, 2005).

O emprego do gás natural no parque energético de Manaus teve por objetivo melhorar o sistema de combustão, aumentando a eficiência do processo e conseqüentemente reduzindo as emissões de poluentes (GOMEZ e CHAMON, 2012); desta forma, proporcionando um melhor rendimento energético, com a minimização dos resíduos e melhoria no padrão da qualidade do ar (SANTOS *et al.*, 2007).

Porém, como discutem Mussi e Canuto (2013) diversos fatores se interpõe na atualização tecnológica de empreendimentos termoelétricos, sendo alguns destes identificáveis no processo de adequação da UTE Manauara: particularidades dos motores, de seus componentes e sistemas auxiliares; composição do gás natural e óleo combustível; operação conjunta dos dois combustíveis; aspectos naturais como o clima diferenciado da região Norte; precariedade de mão-de-obra especializada; carência de treinamento; tempo de adaptação dos motores (dois meses); e período necessário para estabilidade do processo (seis meses).

Em se tratando de região Amazônica propostas alternativas de menor impacto ambiental devem ser investigadas de modo a suprir as deficiências quanto os custos envolvidos, a necessidade de novos conhecimentos e tecnologias, as demandas por capacitação e desenvolvimento tecnológico (VERBURG *et al.*, 2011).

5. CONCLUSÃO

A substituição de derivados de petróleo por gás natural tende a proporcionar menores emissões gasosas. A UTE Manauara ciente disto investiu na mudança de sua planta de geração para uma mistura a base de 10% de óleo e 90% de gás natural, acompanhando este processo por meio de um monitoramento continuado de 2007 a 2013. Os números obtidos demonstraram um comportamento concordante com a expectativa de uso do gás natural, ficando apenas o NO₂ com valores intermediários, possivelmente influenciados pelo percentual de óleo.

Como o processo de geração da UTE Manauara tem particularidades que interferem nos índices das resoluções CONAMA n. 382/06 e n. 436/11 é necessário que o órgão ambiental responsável (no Amazonas é o Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas – IPAAM) estabeleça limites

padrões de emissão para poluentes atmosféricos para o tipo de situação monitorada, ou seja, queima simultânea de dois tipos de combustíveis, óleo e gás.

Em termos de qualidade do ar, registrou-se uma melhora quanto a elementos importantes como o SO₂, material particulado em suspensão, fumaça e CO o que contribui para a melhoria da qualidade de vida local. Tais fatores e o encarecimento da geração hidráulica, no médio prazo, bem como a previsão de um forte crescimento na demanda de energia, faz com que a construção de usinas termoelétricas a gás natural, e/ou conversão das existentes (que ainda consomem óleo combustível) se tornem uma realidade, reforçando assim a participação do gás natural na matriz energética brasileira e a necessidade de tecnologias mais adaptadas a realidade Amazônica.

6. REFERÊNCIAS

BORTOLI, M.; KUNZ, A.; SOARES, H. M.; BELLI FILHO, P.; COSTA, R. H. R. Emissão de óxido nitroso nos processos de remoção biológica de nitrogênio de efluentes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17, n.1, p. 01-06, 2012.

CAMPOS, V. P.; CRUZ, L. P. S.; ALVES, E. M.; SANTOS, T. S.; SILVA, A. D. SANTOS, A. C. C.; LIMA, A. M. V.; PAIXÃO, C. S.; SANTOS, D. C. M. B.; BRANDÃO, D. S.; ANDRADE, E. J. S.; MOREIRA JR., J. I.; CONCEIÇÃO, K. C. S.; RAMOS, M. S.; PONTES, M. C. G.; AMARAL, M. F.; MATTOS, R. R. Monitoramento atmosférico passivo de SO₂, NO₂ e O₃ em áreas urbanas e de influência industrial. **Química Nova**, v.29, n.4, p.872-875, 2006.

DIAS, B. B.; LEITE, M. L.; FARAGO, P. V.; OLIVEIRA, A. V.; BERUSKI, G. C. Ação do enxofre em chuva ácida simulada sobre parâmetros morfofisiológicos de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). **Acta Scientiarum**, july, v.32, n.3, p. 433-439, 2010.

DIVAN Jr., A. M.; OLIVEIRA, P. L.; PERRY, C. T.; ATZ, V. L.; AZZARINI-ROSTIROLA, L. N.; RAYA-RODRIGUEZ, M. T. Using wild plant species as indicators for the accumulation of emissions from a thermal power plant, Candiota, South Brazil. **Ecological Indicators**, v.9, n.6, p. 1156-1162, 2009.

FERRAREZ, A.; OLIVEIRA FILHO, D.; LACERDA FILHO, A. F.; COSTA, J. M.; APARISI, F. R. S. Potential for mitigation of emissions of greenhouse gases and framework in Clean Development Mechanism (CDM) with the use of biogas as energy source in the broiler production chain. **Vertices**, v.12, n.3 p. 41-57, 2010.

GAMA, R. M. M. F.; LIMA, A. M. M.; BORDALO, C. A. L.; NUNES, M. C. G. Implantação de clusters na Amazônia: revisão legal e avaliação dos aspectos administrativos do distrito industrial de Icoaraci/Belém-PA. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v.7, n.2, p. 100-120, 2013.

GOMEZ, J. M.; CHAMON, P. H.; LIMA, S. B. Por uma nova ordem energética global? potencialidades e perspectivas da questão energética entre os países BRICS. **Contexto Internacional**, v.34, n.2, p. 531-572, 2012.

HABERMANN, M.; MEDEIROS, A. P. P.; GOUVEIA, N. Motor vehicle traffic as an air pollution exposure assessment method in big cities. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.14, n.1, p. 120-130, 2011.

HABERMANN, M.; SOUZA, M.; PRADO, R.; GOUVEIA, N. Socioeconomic inequalities and exposure to traffic-related air pollution in the city of São Paulo, Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, v.30, n.1, p. 119-125, 2014.

LU, J.; MORRIS, J. R. Gas-surface scattering dynamics of CO₂, NO₂ and O₃ in collisions with model organic surfaces. **The Journal of Physical Chemistry**, v.115, n.23, p. 6194 -201, 2011.

MAVROIDIS, I.; ILIA, M. Trends of NO_x, NO₂ and O₃ concentrations at three different types of air quality monitoring stations in Athens, Greece. **Atmospheric Environment**, v.63, p. 135 - 147, 2012.

MAVROIDIS, I., CHALOULAKOU, A. Long-term trends of primary and secondary NO₂ production in the Athens area.

Variation of the NO₂/NO_x ratio. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 6872 – 6879, 2011.

MAZZONI, A. C. Mosses as indicators of atmospheric metal deposition in an industrial area of southern Brazil. **Acta Botânica Brasileira**, v.26, n.3, p. 553-558, 2012.

MUSSI, F. B.; CANUTO, K. C. Perception of the attributes of a professional of innovation by operation and maintenance of a thermal power plant: a case for technology transfer to focus on end users. **Revista de Gestão e Projetos**, v.3, n.3, p. 28-57, 2013.

PRIMO, K. R.; SALOMON, K. R.; TEIXEIRA, F. N.; LORA, E. S. Evaluation of the atmospheric dispersion of the nitrogen oxides (NO_x) released during bagasse burning in a sugar mill. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p. 79-90, 2005.

OLIVEIRA, I. D. Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade da população urbana. **Ra'e Ga**, v.15 p. 113-126, 2008.

RANGEL, L. P.; BUCHLER, P. M. Estudo do nitrogênio na combustão do gás natural. **Química Nova**, v.28, n.6, p. 957-963, 2005.

REIS, E. F.; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DELMOND, J. G.; COUTO, R. F. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p. 565-571, 2013.

RODRIGUES, M.G.; COSTA, F.J.P. Energia e sustentabilidade no século XXI: o cas do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.3, n.1, p. 60-79, 2012.

ROSA, L. P. Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear. **Estudos Avançados**, v.21, n.59, p. 39-58, 2007.

SANTOS, E. M.; FAGA, M. T. W.; BARUFI, C. B.; POULALLION, P. L. Natural gas: the construction of a new civilization. **Estudos Avançados**, v.21, n.59, p. 67-90, 2007.

SUZUKI, A. B. P.; FERNANDES, D. M.; FARIA, R. A. P.; VIDAL, T. C. M. Uso de biogás em motores de combustão interna. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.4, n.1, p. 221-237, 2011.

TOLEDO, G. I. F.; NARDOCCI, A. C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.14, n.3, p. 445-454.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - CEBRAP**, n.79, p. 47-69, 2007.

VERBURG, R.; LINDOSO, D.; DEBORTOLI, N.; RODRIGUES FILHO, S. Towards a low carbon economy in the Amazon: the role of land-use policies. **Sustentabilidade em Debate**, v.2, n.2, p. 83-96, 2011.

VILLENEUVE, P. J.; JOHNSON, J. Y. M.; PASICHNYK, D.; LOWES, J.; KIRKLAND, S.; ROWE, B. H. Short-term effects of ambient air pollution on stroke: who is most vulnerable?. **Science of the Total Environment**, n. 430, p. 193 – 201, 2012.