



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DA QUEIMA DE
BIOMASSA EM FOGÕES A LENHA NO MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DO
NORTE/CE**

FORTALEZA

2017

ARLENE MAIA DE ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DA QUEIMA DE
BIOMASSA EM FOGÕES A LENHA NO MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DO
NORTE/CE**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e
Gestão Ambiental do Instituto Federal do
Ceará como requisito para obtenção do título
de mestre.

Orientador: Prof. Titular Adeildo Cabral da Silva
Coorientador: Prof. Titular Rinaldo dos Santos Araújo

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A658a Araújo, Arlene Maia de.

Avaliação do material particulado proveniente da queima de biomassa em fogões a lenha no município de Limoeiro do Norte/CE / Arlene Maia de Araújo. - 2017.
66 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva.

Coorientação: Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo.

1. Biomassa. 2. Material particulado. 3. Metais pesados. 4. Fogões a lenha. 5. Saúde. I. Título.
CDD 628

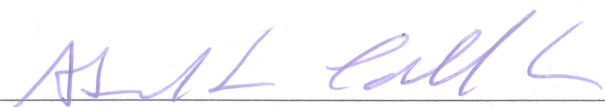
ARLENE MAIA DE ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DA QUEIMA DE
BIOMASSA EM FOGÕES A LENHA NO MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DO NORTE/CE**

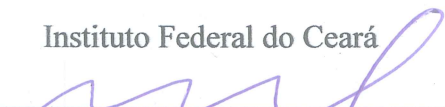
Dissertação submetida à Coordenação do Curso de
Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental
do Instituto Federal do Ceará como requisito para a
obtenção do título de Mestre em Tecnologia e
Gestão Ambiental.

Aprovada em 18/07/2017

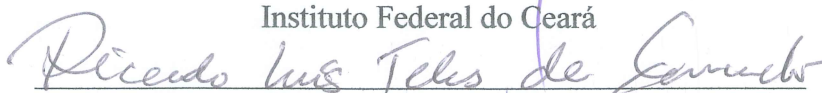
BANCA EXAMINADORA



Presidente Prof. Titular Adeildo Cabral da Silva
Instituto Federal do Ceará



Membro Prof. Titular Rinaldo dos Santos Araújo
Instituto Federal do Ceará



Membro Prof. Dr. Ricardo Luis Teles de Carvalho
Umeå Universitet - UMU, Suécia

A Deus, minha fonte de força e perseverança.
Aos meus pais Antônio (*in memoriam*) e Maria Vanda.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar a cada dia o prazer de descobrir no mundo motivos para continuar a jornada e superar os desafios que encontro no meio do caminho.

Ao meu orientador, Professor Titular Adeildo Cabral da Silva pela orientação e apoio durante a pesquisa.

Ao meu coorientador, Professor Titular Rinaldo dos Santos Araújo, pela dedicação, atenção e disponibilidade para me auxiliar nos procedimentos teóricos e práticos da pesquisa.

Ao Diretor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (Campus de Limoeiro do Norte/CE), José Façanha Gadelha e ao Técnico de Laboratório Francisco Jonathan de S. C. Nascimento pela disponibilização do Laboratório de Saneamento Ambiental Limoeiro do Norte/CE, para a realização das análises gravimétricas.

As famílias que aceitaram participar da pesquisa, as quais foram fundamentais para o desenvolvimento do estudo.

Aos bolsistas do Laboratório de Tecnologia Química, em especial: Monique, Luanny, Pedro e Iara pelo auxílio nos procedimentos da parte experimental da pesquisa.

Ao meu grande amigo, José Reuben Moreira pelo auxílio e acompanhamento no decorrer da pesquisa, tornando-se um colaborador imprescindível para o trabalho.

As minhas amigas Ana Patrícia e Jéssica Rocha, que foram grandes parceiras e contribuintes na elaboração deste trabalho.

Aos componentes da bancada, em especial ao Professor Dr. Ricardo Luís Teles de Carvalho que aceitou participar desse momento tão importante em minha vida acadêmica.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA) pelo apoio dedicado e que me ensinaram não apenas o conhecimento científico, mas lições que irei levar comigo para a vida inteira.

A todos os amigos que sempre me incentivaram a persistir no meu sonho: Ana Raquel, Maria Gizeuda, Kamila Nara, Aline Islia, Daniele Katyane, Fernanda Holanda, Vânia Maria, Levi Santos e Ednaldo Barros.

A minha mãe Maria Vanda M. de Araújo, a minha tia Maria Vanusa Maia, ao meu padrasto Expedito F. Lima, ao meu irmão Arnaldo César M. de Araújo e a minha cunhada Francisca Valdenizia Pitombeira por todo o carinho e compreensão nos momentos em que não pude proporcionar a atenção e ajuda que mereciam.

"Por mais longa que seja a caminhada o mais importante é dar o primeiro passo."
(Vinícius de Moraes).

RESUMO

A poluição atmosférica é um problema global provocado pelas emissões de atividades antropogênicas cada vez mais frequente nos dias atuais. A queima de biomassa pode contribuir para o aumento dos níveis de poluição atmosférica, sendo reconhecido como um importante fator de risco de doenças respiratórias e cardiovasculares. Neste contexto, a presente pesquisa teve como objetivo identificar os poluentes que são emitidos em cozinhas residenciais no interior do Ceará, onde a queima da biomassa em fogões a lenha tradicionais é uma prática comum. Do ponto de vista experimental três residências foram selecionadas para a realização de um estudo de conforto ambiental no município de Limoeiro do Norte/CE, nas quais foram realizadas aplicação de um questionário para caracterização dos pontos de coletas e das condições ambientais dos mesmos. O monitoramento do material particulado (PTS, MP₁, MP_{2.5}, MP₄ e MP₁₀) e dos metais pesados associados (Cu, Fe, Mn, Pb, Zn e Ni) foi executado durante os meses de maio (período chuvoso) e outubro e novembro (período seco) de 2016. Os valores de PTS registrados variaram de 26,5 µg/m³ (fogão ecoeficiente) a 568 µg/m³ (fogão a lenha); MP₁ de 0,3 µg/m³ (fogão a gás) a 4,9 µg/m³ (fogão a lenha), MP_{2.5} de 2,8 µg/m³ (fogão a gás) a 19,3 µg/m³ (fogão a lenha); MP₄ de 6,7 µg/m³ (fogão a gás) a 38,7 µg/m³ (fogão ecoeficiente) e MP₁₀ de 21,0 µg/m³ (fogão a lenha) a 78,8 µg/m³ (fogão ecoeficiente). Os metais Cu, Fe e Mn associados ao material particulado apresentaram respectivamente concentrações máximas de 1,36 µg/m³ no fogão ecoeficiente e de 40,6 µg/m³ e 6,47 µg/m³ no fogão a lenha. Pb, Zn e Ni não foram detectados em nenhuma das amostras analisadas. De acordo com os resultados do estudo, constatou-se que as concentrações de PTS e MP (MP_{2.5} e MP₁₀) nos fogões ecoeficiente e a lenha apresentaram-se acima dos valores recomendados pela legislação brasileira e pela organização mundial de saúde, o que pode trazer implicações para a qualidade do ar interior local e saúde das pessoas expostas, fato que pode ser melhor investigado com estudos mais específicos sobre saúde humana e ambiental.

Palavras-chave: Biomassa. Material particulado. Metais pesados. Fogões a lenha. Saúde.

ABSTRACT

Air pollution is a global problem caused by emissions of anthropogenic activities increasingly frequent today. The biomass burning can contribute to increased levels of air pollution being recognized as an important risk factor of respiratory and cardiovascular diseases. In this context, the present research had as objective to identify the pollutants that are emitted in residential kitchens in the interior of Ceará, where the biomass burning in traditional wood stoves is a common practice. In the experimental study, three residences were selected to carry out an environmental comfort study in the city of Limoeiro do Norte/CE, in which a questionnaire was applied to characterize sampling sites and their environmental conditions. The monitoring of the particulate matter (TSP, PM₁, PM_{2.5}, MP₄ and PM₁₀) and associated heavy metals (Cu, Fe, Mn, Pb, Zn and Ni) was executed during the months of May (rainy season) and October and November (dry period) of 2016. The TSP values recorded ranged from 26.5 µg/m³ (eco-efficient stove) at 568 µg/m³ (wood stove); PM₁ of 2.9 µg/m³ (gas stove) at 4.9 µg/m³ (wood stove), PM_{2.5} of 2.8 µg/m³ (gas stove) at 19.3 µg/m³ (wood stove); PM₄ of 6.7 µg/m³ (gas stove) at 38.7 µg/m³ (eco-efficient stove) and PM₁₀ of 21.0 µg/m³ (stove wood) at 78.8 µg/m³ (eco-efficient stove). The Cu, Fe and Mn metals associated to particulate matter presented maximum concentrations of 1.36 µg/m³ (eco-efficient stove), 40.6 µg/m³ and 6.47 µg/m³ (wood stove), respectively. Pb, Zn and Ni were not detected in any of the analyzed samples. According to the results of the study, it was found that the concentrations of TSP and PM (PM_{2.5} and PM₁₀) in the eco-efficient stoves and wood stove presented values higher than those recommended by the Brazilian legislation and World Health Organization, which can have implications for local indoor air quality and for the health of the exposed people, a fact that can be investigated in a better way through more specific studies about human and environmental health.

Keywords: Biomass Burning. Particulate Matter. Heavy Metals. Wood Stoves. Health.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1	Poluição atmosférica.....	15
2.2	Material particulado.....	16
2.3	Biomassa.....	19
2.3.1	<i>Influência da queima da biomassa na saúde humana e no ambiente.....</i>	21
2.4	Breve histórico sobre o uso de fogões a lenha.....	23
2.4.1	<i>Fogões ecoeficientes.....</i>	25
2.5	Estado da arte sobre o uso de fogões a lenha.....	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Área de estudo.....	28
3.1.1	<i>Pontos amostrais.....</i>	29
3.2	Questionários.....	30
3.3	Coleta e determinação das Partículas Totais em Suspensão (PTS).....	30
3.4	Dados meteorológicos.....	32
3.5	Avaliação do material particulado (PTS, MP ₁₀ , MP ₄ , MP _{2.5} e MP ₁).....	33
3.6	Quantificação dos metais.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1	Questionários aplicados.....	35
4.2	Dados meteorológicos no período.....	38
4.3	Material particulado inalável.....	39
4.4	Metais pesados.....	45
5	CONCLUSÕES.....	48
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51
	APÊNDICES.....	56
	ANEXOS.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Partes constituintes de um fogão ecoeficiente.....	25
Figura 2	Mapa do estado do Ceará e do Brasil com a localização do Município de Limoeiro do Norte/CE.....	28
Figura 3	Imagem da localização dos três pontos amostrais no mapa e da estação meteorológica instalada no Campus do IFCE de Limoeiro do Norte/CE.....	29
Figura 4	Fotos dos fogões utilizados nos três pontos amostrais no município de Limoeiro do Norte/CE. (a) fogão a lenha tradicional, (b) fogão ecoeficiente e (c) fogão a gás.....	30
Figura 5	Equipamentos utilizados para a coleta do material particulado na presente pesquisa.....	33
Figura 6	Concentrações diárias de PTS, MP ₁ , MP _{2.5} , MP ₄ e MP ₁₀ durante 6 horas de monitoramento no fogão a gás.....	40
Figura 7	Concentrações diárias de PTS, MP ₁ , MP _{2.5} , MP ₄ e MP ₁₀ durante 6 horas de monitoramento no fogão a lenha.....	41
Figura 8	Concentrações diárias de PTS, MP ₁ , MP _{2.5} , MP ₄ e MP ₁₀ durante 6 horas de monitoramento no fogão ecoeficiente.....	43
Figura 9	Concentrações médias semanais dos metais traços associados ao PTS das emissões atmosféricas do fogão a lenha no município de Limoeiro do Norte/CE.....	45
Figura 10	Concentrações médias semanais dos metais traços associados ao PTS das emissões atmosféricas do fogão ecoeficiente no município de Limoeiro do Norte/CE.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Padrões primários e secundários estabelecidos para PTS e partículas inaláveis (MP ₁₀) segundo a resolução CONAMA 003/1990.....	18
Tabela 2	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira.....	18
Tabela 3	Principais poluentes provenientes da queima de biomassa.....	22
Tabela 4	Mecanismos pelos quais os poluentes MP ₁₀ , MP _{2.5} e fumaça gerada pela queima de biomassa em domicílios podem aumentar os riscos de doenças.....	23
Tabela 5	Cronograma das coletas nos pontos amostrais no período chuvoso.....	31
Tabela 6	Cronograma das coletas nos pontos amostrais no período seco.....	31
Tabela 7	Normais climatológicas no período de 1961 a 1990 monitoradas a partir de uma estação no município de Morada Nova/CE.....	32
Tabela 8	Características gerais dos locais de coletas.....	35
Tabela 9	Dados sobre ventilação, problemas de saúde e sensação térmica nos ambientes em estudo.....	36
Tabela 10	Características dos combustíveis usados nos fogões a lenha na área em estudo.....	37
Tabela 11	Parâmetros meteorológicos coletados durante o período chuvoso no município de Limoeiro do Norte/CE.....	38
Tabela 12	Parâmetros meteorológicos coletados durante o período seco no município de Limoeiro do Norte/CE.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio ambiente
GLP	Gás liquefeito de petróleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
LERCA	Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental
LTQ	Laboratório de Tecnologia Química
MP	Material particulado
MP ₁	Material Particulado de tamanho aerodinâmico de 1 µm
MP _{2.5}	Material Particulado de tamanho aerodinâmico de 2.5 µm
MP ₄	Material Particulado de tamanho aerodinâmico de 4 µm
MP ₁₀	Material Particulado de tamanho aerodinâmico de 10 µm
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial de Saúde
PGTGA	Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental
PTFE	Politetrafluoretileno
WHO	World Health Organization

1 INTRODUÇÃO

O uso de fogões a lenha é um fato presente na história de evolução do homem, que durante muitos anos foram utilizados por muitas famílias para o cozimento de alimentos, para aquecimento em lugares frios, etc., persistindo até os dias atuais, porém, com bem menos adeptos.

Com o tempo novas técnicas e tecnologias foram desenvolvidas para aperfeiçoar este equipamento, originando fogões mais sofisticados como o fogão a gás (GLP). Alguns problemas relacionados ao fogão a lenha apareceram, mencionam-se, a sujeira que eles deixam dentro das casas, o calor produzido, os agravos de doenças respiratórias e até o surgimento destas, em pessoas que ficavam expostas constantemente ao uso desses equipamentos.

Segundo Canto (2014) embora a humanidade esteja sempre experimentando melhorias tecnológicas que proporcionem transformações no planeta, o processo de combustão ainda é constante no cotidiano do homem, associada ao desenvolvimento no âmbito industrial, satisfazendo as necessidades básicas como cozimento de alimentos e aquecimento humano, que provavelmente foram as aplicações primordiais do fogo pelo homem.

Para Lima (2012) com a evolução social e econômica surgiram outras fontes de energia além do fogo, que foram aperfeiçoadas pela sociedade, abrangendo o uso simples até alcançar uma utilização inadequada de recursos naturais e energéticos que culminou com agravos de problemas regionais, transformando-os em problemas a nível global. Nessa perspectiva, o uso de fontes alternativas de energia renovável está se tornando mais frequente pela matriz energética brasileira, diminuindo a dependência desta, para com as fontes energéticas não renováveis, como o petróleo e gás natural.

De acordo com Santiago *et al.* (2015) o uso de fogões a lenha ainda é um hábito comum na região do nordeste brasileiro, apesar desta prática provocar problemas à saúde das pessoas devido à inalação de materiais particulados existentes na fumaça emitida por tais fogões.

Conforme o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2013), 85% das famílias das zonas rurais do nordeste brasileiro, ainda fazem uso da lenha. Ao utilizar os fogões a lenha alguns pontos devem ser considerados, como a extração adequada da lenha e o processo de cozimento dos alimentos que provocam danos à saúde, além do risco à acidentes que a mulher ou responsável por trazer a lenha estão expostos.

A resolução CONAMA Nº 3 de 28 de junho de 1990, institui limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, sendo que tais limites são fixados por poluente, assim como por tipologia de fonte (CONAMA, 1990). O conhecimento de tais poluentes se faz necessário para que medidas possam ser tomadas com o intuito de minimizar ao máximo os danos causados ao ambiente e a qualidade de vida das pessoas em geral.

Evidências justificam o fato de tal fogão não ser tão utilizado atualmente, além do que o fogão a gás é bem mais rápido e prático. Porém, um novo dilema surge com o uso dos fogões a gás, pois esses fogões não fazem uso de fontes renováveis, ou seja, toda a matéria utilizada para seu funcionamento não poderá ser reaproveitada, o que tornará o gás no futuro um bem escasso.

Diante desta problemática, muitos países têm se mobilizando para que as energias alternativas renováveis tenham atuação expressiva em suas matrizes energéticas, devido à necessidade de reduzir o uso de derivados do petróleo, diminuindo assim, a dependência energética desses países em relação aos exportadores de petróleo e também a emissão de gases causadores do efeito estufa (CORTEZ; LORA; AYARZA, 2008).

Uma alternativa ao fogão a lenha tradicional e ao fogão a gás (que requer para seu funcionamento o uso de recursos não renováveis) é o chamado fogão ecológico. Segundo Ministério do Meio Ambiente (2013) este tipo de fogão constitui-se em um fogão a lenha aperfeiçoado, que necessita de menos lenha para seu funcionamento, oferecendo benefícios como qualidade, segurança e sustentabilidade, além de combustão mais eficiente e baixa emissão de fumaça.

Apesar do uso do fogão a lenha ser geralmente associado a famílias com baixo poder aquisitivo, em Limoeiro do Norte/CE, ainda existem famílias que fazem uso deste tipo de fogão pelo sabor diferenciado proporcionado à comida. Além deste relato, o aumento do preço do gás de cozinha engarrafado (GLP) nesses últimos anos, tem contribuído para a ampliação do uso de fogões a lenha.

Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho é avaliar o nível de material particulado e outros poluentes associados (metais) lançados no ambiente devido à queima da biomassa em fogão a lenha, comparando-os com os emitidos pelos fogões ecoeficiente e à gás (GLP).

De forma detalhada, os objetivos específicos da pesquisa envolvem:

- Quantificar o material particulado (PTS, MP₁₀, MP₄, MP_{2.5} e MP₁) gerado pela queima de biomassa em fogões a lenha.
- Correlacionar os valores de material particulado encontrados no experimento com os parâmetros estabelecidos nas legislações ambientais nacional e internacional.
- Comparar os teores de metais associados aos particulados totais em suspensão nas diferentes configurações de fogões estudadas.
- Investigar possíveis impactos (diretos e indiretos) ocasionados pelo uso dos três tipos de fogões ao meio ambiente e à saúde das pessoas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção será apresentado um panorama geral sobre poluição atmosférica, abordando os parâmetros nacionais estabelecidos para padrões de qualidade do ar e sobre a queima de biomassa em fogões a lenha como possível fonte de emissão de poluentes, incluindo neste âmbito os efeitos à saúde humana e ao meio ambiente.

2.1 Poluição atmosférica

A Poluição atmosférica tem sido uma problemática enfrentada por diversos países, pois causa consequências negativas na saúde das pessoas, interferindo em sua qualidade de vida e no meio ambiente como um todo. Segundo Fernandes *et al.* (2010) este tipo de poluição, origina-se principalmente a partir da queima de combustíveis fósseis, de substâncias provenientes das indústrias e de veículos.

Castro *et al.* (2003) relatam que a poluição do ar tem sido um forte contribuinte para a contaminação do meio ambiente, abrangendo grande parte da população humana e também outros seres como animais e plantas, ocasionando consequências para a saúde, sendo ultimamente abordado de forma mais detalhada em estudos. O aumento acelerado do desenvolvimento tecnológico provocou um acréscimo no número e variedade de poluentes lançados na atmosfera, prejudicando significativamente a qualidade de vida em nosso planeta.

Estudos que abordam a correlação entre poluentes atmosféricos e suas implicações para a saúde humana estão sendo desenvolvidos, buscando ampliar a discussão sobre o tema e contribuir para a investigação da exposição a estes poluentes (ARBEX *et al.*, 2012; CASTRO *et al.*, 2003).

A Resolução CONAMA N° 3, de 28 de junho de 1990 dispõe sobre os padrões de qualidade do ar previstos no PRONAR (Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar) e define tais padrões em seu artigo 1º, como sendo aqueles nos quais as concentrações de poluentes atmosféricos ultrapassadas poderão causar algum dano à saúde, a segurança e o bem estar da população, como também ao meio ambiente como um todo. O Parágrafo único do referido artigo define poluente atmosférico como qualquer matéria ou energia que possa interferir no ar de forma que este provoque consequências negativas à saúde, ao bem estar da população, aos materiais, à fauna e à flora, à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da sociedade (BRASIL, 1990).

Na resolução CONAMA N° 382, de 26 de dezembro de 2006 são estabelecidos os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, sendo estes fixados

por poluente e por tipologia de fonte poluidora. Nela há algumas definições, dentre as quais a de fonte fixa de emissão, que segundo a sua descrição, abrange estruturas como os fogões a lenha, pois descreve fonte fixa de emissão como sendo qualquer instalação, equipamento ou processo, situado em local fixo, que libere ou emita matéria para a atmosfera, por emissão pontual ou fugitiva. A emissão pontual é aquela na qual ocorre o lançamento na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte provida de dispositivo para dirigir ou controlar seu fluxo, como dutos e chaminés. Com relação ao material particulado, a medição de partículas em fonte pontual, deverá ocorrer de acordo com a NBR 12019 (indica o método de determinação de material particulado de efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias) ou NBR 12827 (preceitua o método de determinação da concentração de material particulado em fluxos gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias, utilizando sistema filtrante imerso no efluente gasoso.), ou qualquer método que seja aceito pelo órgão ambiental licenciador (BRASIL, 2006).

De acordo com Castro *et al.* (2003) os poluentes atmosféricos apresentam-se na forma de gases e partículas, sendo que os contaminantes primários são o CO, SO₂, os NO_x e os hidrocarbonetos, que se dispersam e sofrem transformações fotoquímicas, originando outros contaminantes, chamados secundários, como o ácido sulfúrico (H₂SO₄), o ácido nítrico (HNO₃), diversos nitratos e o ozônio (O₃). Dentre os poluentes atmosféricos os que mais causam agravos à saúde são: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x e NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), material particulado (MP) e ozônio (O₃).

As implicações da poluição atmosférica à saúde humana irão depender do tempo de exposição aos poluentes, sendo tais problemas considerados agudos, após pouco tempo de exposição, porém geralmente só são percebidos quando há uma exposição em longo período de tempo. Os principais afetados com essa poluição são as crianças até cinco anos de idade e pessoas com mais de 65 anos, sendo os sistemas mais afetados pelos poluentes ambientais: o respiratório, o circulatório e o reprodutivo (FERNANDES *et al.*, 2010).

2.2 Material particulado

A resolução CONAMA N° 382, de 26 de dezembro de 2006 define material particulado (MP) como todo e qualquer material sólido ou líquido, em mistura gasosa, que se mantém neste estado na temperatura do meio filtrante, estabelecida pelo método adotado (BRASIL, 2006).

Segundo Fernandes *et al.* (2010) o material particulado é um conjunto de partículas com diferentes dimensões, que em sua forma sólida ou líquida, estão suspensas no

ar, sendo considerado o poluente mais associado aos danos provocados à saúde da população. Dentre os principais poluentes existentes na atmosfera estão: o dióxido de enxofre (SO_2), o ozônio (O_3), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO_2), o dióxido de nitrogênio (NO_2), os metais pesados (Cd, Cu, Cr, Pb, Ni, Mn, Zn) e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. É importante relatar que os níveis atmosféricos desses poluentes estão susceptíveis à diversos fatores, como por exemplo, ação dos ventos, umidade do ar, temperatura e tempo de permanência na atmosfera.

O material particulado é o poluente que mais afeta as pessoas. Seus principais constituintes são: sulfato, nitrato, amônia, cloreto de sódio, carbono preto, pó mineral e água, apresentando-se como uma mistura complexa de partículas sólidas e líquidas de substâncias orgânicas e inorgânicas em suspensão no ar. A exposição prolongada às partículas colabora para o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares e respiratórias, bem como do cancro do pulmão, sendo que as partículas que apresentam maior risco para a saúde são aquelas com um diâmetro de 10 microns ou menos, ($\leq \text{MP}_{10}$), que podem penetrar e se instalar dentro dos pulmões (WHO, 2014).

A Organização Mundial de saúde estabelece diretrizes para $\text{MP}_{2.5}$, sendo de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a média para 24 horas e $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ média anual e $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ média de 24 horas e $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ média anual para MP_{10} (WHO, 2005). Diferente da legislação brasileira que na Resolução CONAMA Nº 3, de 28 de junho de 1990, institui padrões para partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (denominadas MP_{10}), dentre outros poluentes, mas não menciona padrões para as partículas nas dimensões $\text{MP}_{2.5}$.

De acordo com esta resolução para o padrão primário de PTS, a concentração média geométrica anual deve ser de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a concentração média de 24 horas de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, não deve ser excedida mais de uma vez por ano. Já no padrão secundário a concentração média geométrica anual deve ser de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a concentração média de 24 horas de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano (BRASIL, 1990).

Conforme Fernandes *et al.* (2010) os poluentes atmosféricos podem ser de dois tipos: voláteis e particulados, sendo que dentre os particulados, o mais prejudicial é o $\text{MP}_{2.5}$. No sistema respiratório encontraram-se como principais danos: inflamações pulmonares, asma, doença pulmonar obstrutiva crônica e câncer, e as alterações cardiovasculares como as do ritmo cardíaco, isquemia miocárdica, modificações na coagulação sanguínea e progressão da aterosclerose.

Com relação às partículas inaláveis (MP_{10}) tanto no padrão primário como no secundário a concentração média aritmética anual considerada é a de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a

concentração média de 24 horas de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano, como pode ser observado na Tabela 1 (BRASIL, 1990):

Tabela 1 - Padrões primários e secundários estabelecidos para PTS e partículas inaláveis (MP_{10}) segundo a resolução CONAMA 003/1990.

Poluente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tempo médio de amostragem	Concentrações	
		Padrão primário	Padrão Secundário
PTS	24 h	240	150
	Anual (média geométrica)	80	60
MP_{10} –	24 h	150	150
	Anual	50	50

Observação: Os padrões primários e secundários referentes às médias de 24 horas só podem ser ultrapassados uma vez ao ano.

Fonte: Elaborado a partir da Resolução CONAMA 003/1990 (BRASIL, 1990).

Os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira podem ser visualizados na Tabela 2:

Tabela 2 - Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira.

Potência térmica nominal (MW)	$\text{MP}^{(1)}$	$\text{NO}_x^{(1)}$ (como NO_2)
Menor que 10	730	N.A.
Entre 10 e 30	520	650
Entre 30 e 70	260	650
Maior que 70	130	650

⁽¹⁾ Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm^3 , em base seca e corrigidos a 8% de oxigênio.

N.A. Não aplicável.

Fonte: Resolução CONAMA 382, de 26 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006).

No anexo IV da resolução CONAMA Nº 382, de 26 de dezembro de 2006 são estabelecidos limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira. Nessa mesma resolução é relatado que o lançamento de efluentes gasosos na atmosfera deverá ser efetivado por meio de dutos ou chaminés, cujo projeto deve levar em consideração as edificações do entorno, a fonte poluidora e os padrões de qualidade do ar estabelecidos.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária em sua resolução nº 9, de 16 de janeiro de 2003 avaliando padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, recomenda valores máximos $\leq 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aerodispersóides (que se constitui em um sistema disperso, em um meio gasoso, composto de partículas sólidas e/ou líquidas) totais no ar, como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado (ANVISA, 2003).

Vários fatores podem influenciar as implicações do material particulado à saúde, como elementos individuais, dos quais podemos citar a constituição genética, idade e comorbidades, e fatores socioeconômicos como, por exemplo, as condições de saúde de diferentes comunidades, disponibilidade e acesso aos serviços de saúde (FERNANDES *et al.*, 2010).

Em nível estadual não existe no Ceará nenhuma lei que estabeleça padrões de emissão de material particulado em ambientes interiores.

2.3 Biomassa

A madeira é uma fonte de energia que desempenha papel importante no Brasil desde o período colonial. Em civilizações primordiais a lenha já desempenhava função importante para o cotidiano da sociedade, sendo utilizada para fazer fogo. O aumento no uso de madeira se ampliou com a Revolução Industrial no final do século XVIII e o uso excessivo dos recursos naturais despertou a atenção para o impacto ambiental tornando-se necessário monitorar o suprimento e a demanda de madeira (UHLIG, 2008).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) apresenta a seguinte definição de biomassa sob o ponto de vista energético:

[...] Biomassa é toda matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (ANEEL, 2002, p. 51).

A biomassa origina-se a partir de resíduos sólidos, podendo ser obtida de vegetais não lenhosos, de vegetais lenhosos (como é o caso da madeira e seus resíduos), e também de resíduos orgânicos (dentre eles, os resíduos agrícolas, urbanos e industriais), além de poder ser obtida a partir de biofluidos, como os óleos vegetais, e tem finalidades energéticas (CORTEZ; LORA; AYARZA, 2008).

A queima da biomassa é um processo renovável, de baixo custo e abundante, despertando o interesse industrial como fonte energética, por apresentar tais características, fato que contribui para a substituição dos combustíveis fósseis. Ela desempenha papel importante também como fonte de energia doméstica para metade da população mundial, pois 90% das regiões rurais dos países em desenvolvimento fazem uso da energia derivada de madeira, carvão, excrementos de animais e resíduos agrícolas (WHO, 2000).

A biomassa tem como uma de suas principais vantagens o seu aproveitamento que pode ser feito de forma direta, através da combustão em fornos, caldeiras, entre outros, e tecnologias estão sendo desenvolvidas para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não comerciais no Brasil, a biomassa também apresenta papel importante na geração de energia elétrica e representa cerca de 20% da oferta primária de energia (ANEEL, 2002).

Segundo Cortez, Lora e Ayarza (2008) os principais consumidores de energia da biomassa no Brasil, são a indústria, 51,9%; o setor residencial, 16,8%, o setor energético, 14,7%, e o de transportes, 11,5%. A segunda principal fonte de energia no Brasil deriva-se da biomassa, sendo que o país possui subsídios para substituir as energias fósseis.

Conforme Moreira *et al.* (2013) nos países em desenvolvimento, combustíveis de biomassa (lenha, carvão vegetal, esterco de animais e restos de lavoura) são utilizados para aquecimento de ambientes e para cocção de alimentos em fogões rústicos.

De acordo com Uhlig (2008) o consumo de lenha e carvão vegetal no setor residencial é estimado a partir da quantidade de usuários e do consumo específico por domicílio, sendo considerado ainda o uso de mais de um combustível para cocção e o local de ocorrência do consumo.

Segundo a ANEEL (2002) o aproveitamento da biomassa pode ser realizado por meio da combustão direta, processos termoquímicos ou processos biológicos e descreve o processo de combustão direta nesse contexto:

Combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, através das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), fornos (metalurgia etc.) e caldeiras (geração de vapor etc.). Embora muito prático e, às vezes, conveniente, o processo de combustão direta é normalmente muito ineficiente. Outro problema da combustão direta é a alta umidade (20% ou mais no caso da lenha) e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte (ANEEL, 2002, p. 54).

Apesar dos inúmeros benefícios do uso de biomassa, a queima ou combustão desta pode trazer outras consequências além do desmatamento, como por exemplo, a poluição do ar, afetando a qualidade de vida das pessoas e do meio ambiente. Dentre os poluentes provenientes da combustão da biomassa, o que apresenta maior toxicidade é o material particulado (DONALDSON *et al.*, 2001; SEATON *et al.*, 1995).

2.3.1 Influência da queima da biomassa na saúde humana e no ambiente

O fogo é um problema em ascensão tanto para as florestas tropicais, por causa do desmatamento, como para a vida da população devido à poluição que a fumaça produz, provocando consequências negativas aos seres vivos. Nas pessoas tais impactos podem ser observados no aumento de mortalidade, de admissões hospitalares, de visitas à emergência e de utilização de medicamentos, devidas às doenças respiratórias e cardiovasculares, além de diminuição da função pulmonar (WHO, 1999).

Conforme Salvi e Barnes (2009) a exposição à fumaça de biomassa é o maior fator de risco para DPOC no mundo, sendo que cerca de 3 bilhões de pessoas no mundo vivem expostas à esse tipo de situação, enquanto que os fumantes apresentam-se em número bem menor, aproximadamente 1 bilhão.

A poluição do ar em ambientes internos não é um problema que surgiu na atualidade, desde o período pré-histórico o homem fazia uso do fogo para aquecimento em lugares frios, cozimento de alimentos e iluminação, utilizando-se de cavernas e abrigos para sobreviverem. No entanto, apesar de ser algo necessário à sua sobrevivência, este tipo de atividade desenvolvida nessas condições e ambientes, provocava uma exposição a altos níveis de poluição, fato que pode ser comprovado pelo carvão encontrado em cavernas pré-históricas (BRUCE; PEREZ-PADILLA; ALBALAK, 2000).

Em estudo realizado com dois grupos de mulheres expostas à fumaça de fogões a lenha (um com pessoas com DPOC e o outro com pessoas sem DPOC) por Moreira *et al.* (2013), constatou-se que sintomas como tosse crônica, expectoração e chiado, estavam presentes nos dois grupos. Observou-se que no grupo com DPOC, seus integrantes apresentaram maior duração de exposição, em anos, à fumaça de lenha, maior tempo de domicílio rural, duração similar de tabagismo passivo e de trabalho na lavoura quando comparado ao grupo sem DPOC. Esse fato reforça a hipótese de que a prática do uso de fogões a lenha pode agravar problemas de saúde das pessoas que mantém contato direto e

frequente com eles, e que o tempo de exposição aos poluentes também influencia no agravamento desses problemas.

Os principais poluentes provenientes da queima da biomassa podem ser visualizados na Tabela 3:

Tabela 3 - Principais poluentes provenientes da queima de biomassa.

Poluentes	Fonte	Observações
Partículas inaláveis (MP ₁₀)	Condensação após combustão de gases; combustão incompleta de material inorgânico; fragmentos de vegetação e cinzas.	Partículas finas e grossas. Partículas grossas não são transportadas e contém principalmente cinzas de material do solo
Partículas respiráveis	Condensação após combustão de gases; combustão incompleta de material orgânico.	No caso de fumaça proveniente da queima de biomassa comporta-se como partículas finas.
Partículas finas (MP _{2.5})	Condensação por combustão de gases; combustão incompleta de material orgânico.	Transportadas através de longas distâncias. Produção primária e secundária.
Acroleína	Combustão incompleta de material orgânico.	-
Formaldeído	Combustão incompleta de material orgânico.	-
Monóxido de carbono (CO)	Combustão incompleta de material orgânico	Transportadas através de longas distâncias.
Ozônio	Produto secundário dos óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos.	Presente somente adiante do fogo, transportado através de longas distâncias.
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	Oxidação em altas temperaturas do nitrogênio do ar.	Espécies reativas; a concentração diminui com a distância do fogo.
Benzeno	Combustão incompleta de material orgânico	Transporte local; também reage com outras formas de aerossol orgânico.
Benzopireno (BaP)	Condensação após combustão de gases; combustão incompleta de material orgânico.	Compostos específicos que variam de acordo com a composição da biomassa.

Fonte: Adaptado de Arbex *et al.* (2004).

Em sua pesquisa Turn *et al.* (1997) revelaram que os efeitos dos poluentes das queimadas podem atingir longas distâncias, afetando assim não só o local onde ocorre o foco da poluição, mas também outras áreas e gerando impactos sobre elas.

Segundo Arbex *et al.* (2004) estudos epidemiológicos transversais e caso controle indicam que a exposição à fumaça proveniente da queima de biomassa é o principal fator de risco para DPOC nos países em desenvolvimento. A exposição dos seres vivos aos poluentes

provenientes da queima da biomassa podem provocar danos à sua saúde, seja a longo ou em curto prazo, aumentando o risco de desenvolvimento de doenças, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Mecanismos pelos quais os poluentes MP₁₀, MP_{2.5} e fumaça gerada pela queima de biomassa em domicílios podem aumentar os riscos de doenças.

Poluente	Mecanismos	Efeitos potenciais sobre a saúde
Material particulado (MP ₁₀ e MP _{2.5})	Agudo: irritação, inflamação e aumento da reatividade brônquica; Redução do transporte muco-ciliar; Redução das respostas dos macrófagos e redução da imunidade local; Reação fibrótica; Descontrole autonômico, atividade pró-coagulante, stress oxidativo.	Sibilos, exacerbação de crises de asma brônquica; Infecções respiratórias; DPOC; Exacerbações de DPOC
Fumaça de biomassa	Absorção das toxinas no interior da lente causando mudanças oxidativas.	Catarata
Benzopireno	Carcinogênico.	Câncer de pulmão, câncer de boca, nasofaringe e laringe

Fonte: Adaptado de Arbex *et al.* (2004).

Moreira *et al.* (2013) fazem uma observação importante quanto aos estudos realizados em outros países sobre a relação entre a queima de biomassa e as doenças respiratórias, afirmando que tais estudos devem ser reconsiderados e analisados de acordo com a realidade do Brasil, pois a vegetação usada como lenha pelos países são diferentes, assim como as finalidades da biomassa, que em nosso país é quase que exclusivamente aplicada para a cocção de alimentos, havendo ainda o uso limitado de outros tipos de biomassa.

2.4 Breve histórico sobre o uso de fogões a lenha

O fogão (assim como as demais estruturas de queima) ocupou sempre uma função essencial na constituição do ambiente doméstico, fato que confirma a importância dessas estruturas na nossa cultura material. A cozinha que é o local onde geralmente se instalam os fogões, também se modificou no decorrer dos anos, nas casas da população mais pobre o fogão era inserido no interior da casa, assumindo papel também de local de reunião familiar (CARDOSO *et al.*, 1997).

Assim durante a história de evolução do homem e com o desenvolvimento tecnológico, as estruturas de queima foram sofrendo alterações e versões mais aperfeiçoadas foram surgindo. No caso dos fogões vários tipos foram sendo desenvolvidos até chegar ao conhecido fogão a gás (GLP) comumente utilizado nas cozinhas brasileiras. Apesar dessa inovação para a preparação dos alimentos, há ainda o uso de outros tipos de fogões nos dias atuais como o conhecido fogão a lenha, em suas diversas particularidades.

Conforme Cardoso *et al.* (1997) a partir do desenvolvimento das residências houve conjuntamente mudanças nas cozinhas, onde começaram a surgir outras variações de fogões como o fogão de tucuvura, o fogão de chão, o fogão de jirau, o fogão de taipa e o fogão de poial.

Segundo Carvalho, Jensen e Tarelho (2016), estruturas de combustão de madeira tradicionais, como lareiras, com ou sem chaminé, são ainda muito comuns no mundo todo. O uso ineficaz de combustíveis sólidos na instalação tradicional de fogões a lenha, ainda é algo praticado por 40% da população mundial, principalmente em regiões com acesso restrito de sistemas de energia de mais elevada qualidade com base em eletricidade e gás.

Para Godoy (2008), o fogão a lenha apresenta várias vantagens como, por exemplo, facilidade da obtenção do combustível (que no caso é a lenha), fornece aquecimento para as casas, sendo também um fator que contribui para a reunião da família, além de conferir a comida um melhor sabor, podendo ser considerada por algumas pessoas uma atividade prazerosa. Outro fator que contribui para o uso ainda frequente deste tipo de objeto no Brasil é o alto custo ou a inacessibilidade ao botijão de gás (GLP) pela parte mais pobre da população.

Esse tipo de atividade apesar de propiciar várias vantagens seja no aspecto econômico, social e cultural para as famílias, provocam também dano à saúde das pessoas que estão diretamente em contato com o fogão, além de poder interferir na qualidade do meio ambiente.

Segundo Bruce, Perez-Padilla e Albalak (2000) a queima ineficaz dos combustíveis sólidos em fogo aberto ou em fogões a lenha tradicionais, no interior dos domicílios, libera uma mistura perigosa de várias substâncias, das quais muitas provocam agravos à saúde humana, sendo os principais componentes: material particulado, monóxido de carbono, óxido nitroso, óxidos sulfúricos, formaldeído, hidrocarbonetos e material orgânico policíclico, que inclui compostos carcinogênicos como o benzopireno.

As pessoas mais expostas à poluição advinda da queima da biomassa dos fogões a lenha são as mulheres, as crianças, os idosos e os doentes, acontecendo de forma persistente e

duradoura já que é uma atividade que acontece frequentemente no cotidiano das famílias (GODOY, 2008).

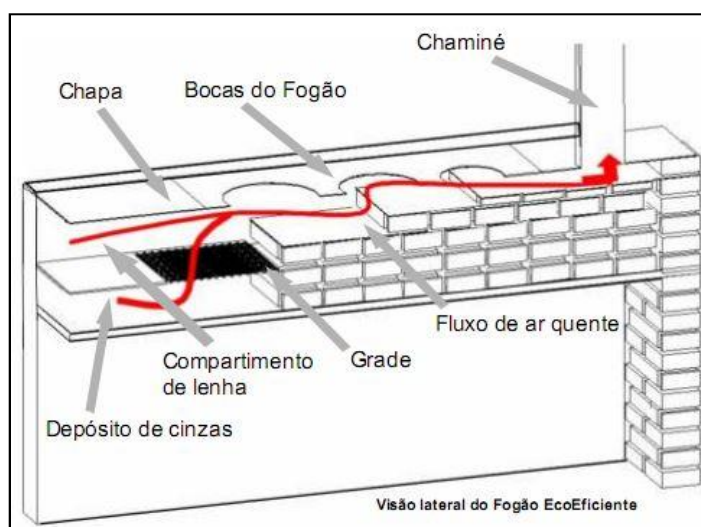
De acordo com a Organização Mundial de Saúde mais de três bilhões de pessoas no mundo dependem de combustíveis sólidos, como a lenha, o carvão vegetal e resíduos orgânicos para realizar atividades básicas como cozinhar, ferver a água e aquecer o ambiente, sendo estas pessoas em sua maioria pobres e residentes em países de renda média baixa (WHO, 2016).

No semiárido brasileiro prevalece o consumo de lenha ou carvão pelos agricultores, devido ao fácil acesso a esse material e ao seu custo financeiro ser menor que o gás liquefeito de petróleo - GLP (ALCÓCER *et al.*, 2015). As espécies nativas são as mais utilizadas como lenha e carvão na região da caatinga, pois possuem um alto poder calorífico, fato certificado pelas comunidades rurais (DRUMOND, 2000).

2.4.1 Fogões ecoeficientes

Diante da problemática relacionada à saúde pelos fogões a lenha, alternativas que minimizem esses impactos devem ser estudadas, assim como medidas de controle e monitoramento das partículas que são emitidas com a fumaça proveniente do fogão devem ser providenciadas, como por exemplo, o desenvolvimento de fogões ecoeficientes, os quais possuem uma estrutura básica, que pode ser observada na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Partes constituintes de um fogão ecoeficiente.



Fonte: IDER (2008).

O fogão ecológico ou ecoeficiente possui um sistema adaptado para um melhor aproveitamento de calor, uso de menor quantidade de biomassa e tempo reduzido no cozimento dos alimentos, visando reduzir os efeitos negativos do uso desses fogões. No entanto, é necessário um acompanhamento e monitoramento de tais equipamentos para conhecer que malefícios estes podem provocar no ambiente como um todo.

Para Alcócer *et al.* (2015), os fogões ecológicos são mais eficientes por utilizar menos lenha e por produzir menores emissões de gases de efeito estufa. A quantidade de lenha utilizada para o funcionamento desse fogão é reduzida em até 40% em relação ao fogão a lenha tradicional, contando com uma estrutura que impede que a fumaça se disperse para o interior da casa. Dessa forma, há uma economia de lenha, redução do contato do usuário com a fumaça, consequentemente diminuição da inalação de fumaça e futuras doenças respiratórias, etc. É constituído por tijolos refratários e adaptado para expelir a fumaça e a fuligem para o exterior da casa por meio de uma chaminé, minimizando os impactos à vizinhança e apresentando um melhor aproveitamento da lenha, por ser fechado.

Regueira (2010) comparou fogões ecológicos com fogões a lenha convencionais, concluindo com seu estudo que os fogões ecológicos são mais econômicos que os fogões convencionais no consumo de lenha, sendo a eficiência energética do fogão tradicional de 11% e do fogão ecológico 18%. Além de uma boa eficiência energética o fogão ecológico proporciona uma baixa emissão das fumaças e uma combustão eficiente.

O fogão ecológico funciona com diferentes tipos de biomassa, já o fogão convencional é alimentado apenas por lenha (ALCÓCER *et al.*, 2015). Assim o proprietário pode optar pela biomassa que proporcione mais benefícios, como por exemplo, aquela que possibilita o cozimento dos alimentos em menor intervalo de tempo, dentre outros objetivos almejados.

2.5. Estado da arte sobre o uso de fogões a lenha

Segundo Carvalho, Jensen e Tarelho (2016) o uso da biomassa para cozimento dos alimentos, ainda é um hábito desenvolvido pelos países em desenvolvimento, e o aquecimento da madeira também é frequentemente efetuado em locais de climas frio e temperado.

Em Bangladesh as pessoas que possuem uma boa renda utilizam em sua maioria como combustíveis dos fogões o GLP, a eletricidade ou o gás natural. Entretanto, as pessoas que possuem renda baixa e moram em regiões rurais, utilizam principalmente a biomassa

dentre eles: madeira, galhos e folhas, esterco de animais e resíduos agrícolas, como por exemplo palha, cascas de arroz, bagaço de cana (fibra derivada da produção de açúcar), varas de juta, etc (BEGUM *et al.*, 2009).

Naeher, Leaderer e Smith (2000) em estudos na Guatemala, constataram que a maioria das famílias, fazem uso da queima da madeira emlareiras abertas, nos fogões com chaminés denominados *plancha* e *lorena*, além de alguns utilizarem o fogão a gás. Os *planchas* possuem em torno de 3 pés de altura, 4 pés de comprimento, 2,5 pés de largura, com um tijolo e argamassa base, e três queimadores de aço rodeado por telha. Já os *lorenas* são mais altas e mais massiva, contendo geralmente três queimadores em um círculo no topo de uma unidade baseada na lama sem tijolo, aço ou telha de componentes como o *plancha*.

Em Nepal (2011), cerca de 64% das famílias ainda faziam uso da lenha frequentemente como combustível para cozinhar, seguido de 21,03% do GLP, 10,38% do esterco de vaca, 2,43% do biogás e 1,03 % do querosene (CENTRAL BUREAU OF STATISTICS, 2011). O cozimento por meio de fogões tradicionais com combustíveis de biomassa sólida, abertos com ventilação, é dessa forma o principal método de cozimento doméstico nessa região. (BARTINGTON *et al.*, 2017)

No México, mais precisamente em Michoacán, diversos modelos de fogões com variados combustíveis são utilizados, porém o chamado “fogon” (ou fogão tradicional), tem uso prevalescente, consistindo em uma lareira rodeada por uma forma de U de lama/tijolo/cimento blocos, com barras de ferro na parte superior, no qual é colocada uma cerâmica plana ou chapa de metal no fogão para cozinhar pratos tradicionais, ou panelas. Ele possui um lado aberto o qual é utilizado para adicionar o combustível ao fogo, não possui chaminé e por isso a fumaça proveniente da combustão se dispersa para alguma parte da casa (CYNTHIA *et al.*, 2008).

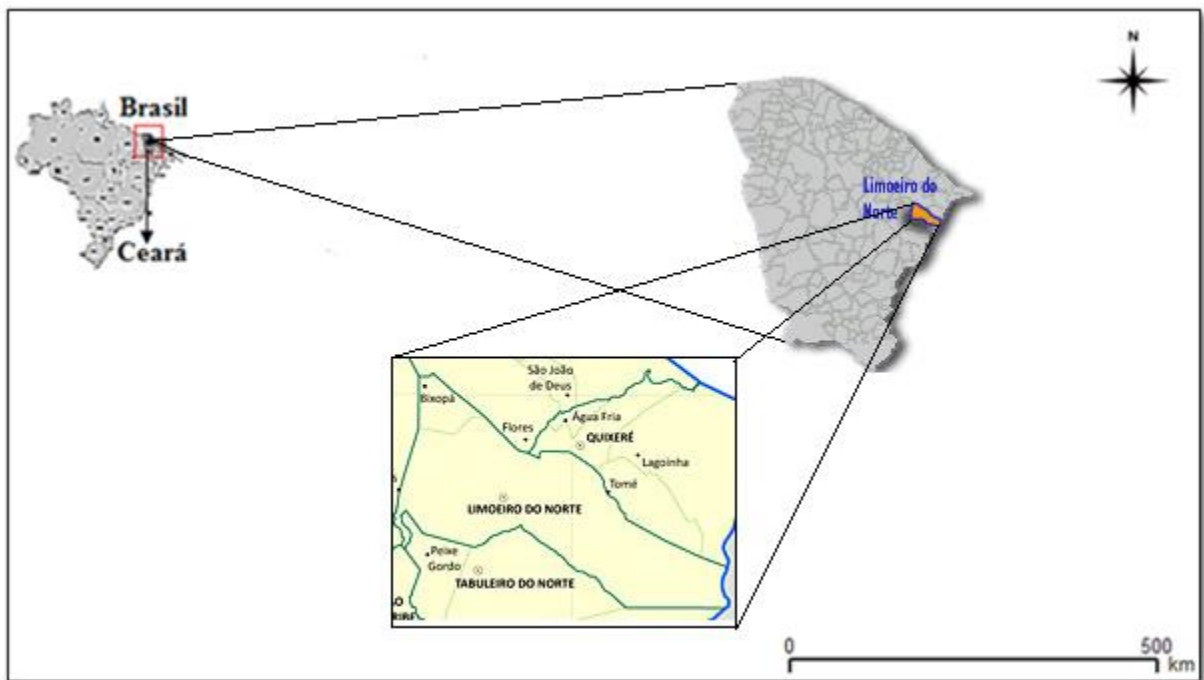
3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção será apresentada a descrição da área de estudo com seus respectivos sítios amostrais, os equipamentos e os procedimentos executados para a coleta de PTS e materiais particulados inaláveis (MP₁₀, MP₄, MP_{2.5} e MP₁) e análise dos metais pesados associados ao PTS.

3.1 Área de estudo

A cidade de Limoeiro do Norte/CE (LN) está localizada no interior do Ceará (Figura 2) ocupando uma área de 750 km², com uma população de 56.264 habitantes. Em 2014 possuía média mensal de 1,8 salários com uma proporção de pessoas ocupadas de 12,7% em relação à população total e o PIB per capita R\$ 13.956,17. O índice de desenvolvimento Humano (IDH) era 0,682 no ano de 2010 e em 2015 e seu orçamento era 82,5% proveniente de fontes externas (IBGE, 2017).

Figura 2 - Mapa do estado do Ceará e do Brasil com a localização do Município de Limoeiro do Norte/CE.



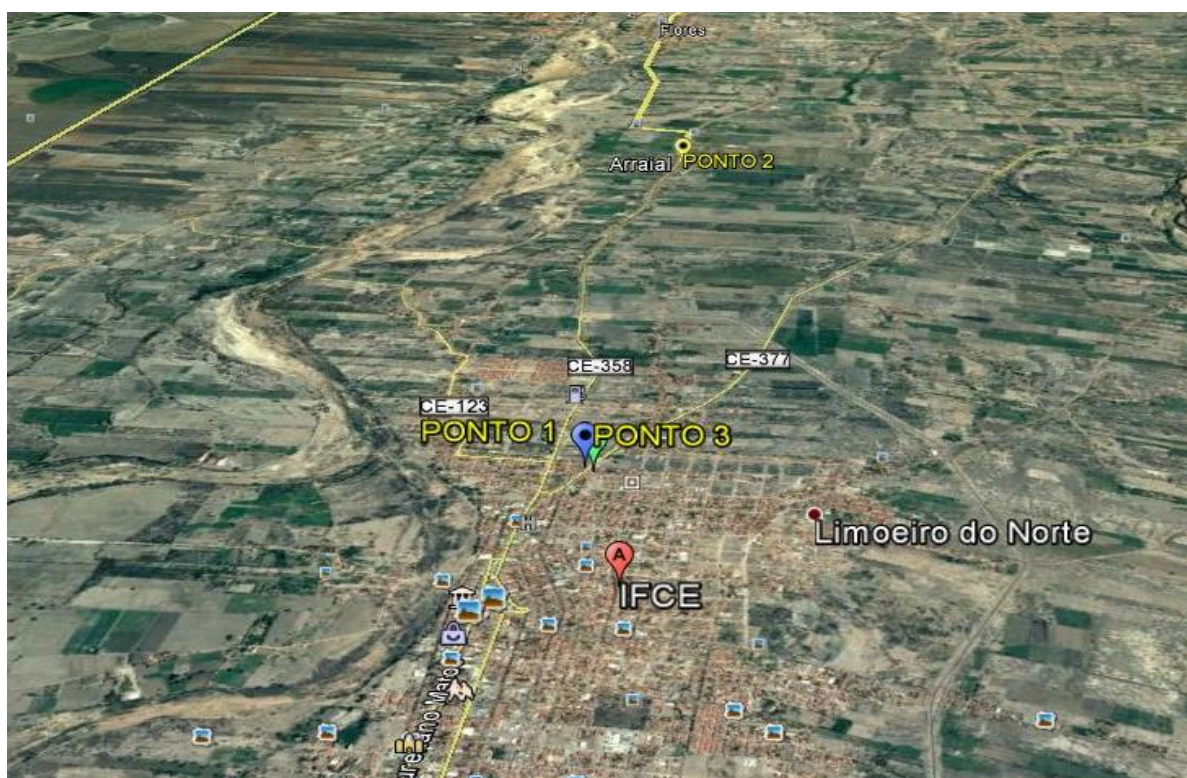
Fonte: Modificado pela Autora a partir de Google Earth (2017).

3.1.1 Pontos amostrais

Para o desenvolvimento do presente estudo realizou-se uma pesquisa em campo de residências com fogões a lenha. Dentre as dez residências visitadas, duas foram selecionadas por apresentarem as características mais adequadas ao estudo, que consistia predominantemente no uso de fogões a lenha. Outra residência com a presença apenas do fogão a gás (GLP) também foi selecionada para ser utilizada como controle.

Das três residências selecionadas duas estão situadas na zona urbana da cidade, no bairro Boa Fé (pontos 1 e 3) e outra localizada na zona rural, na comunidade do Arraial (ponto 2), conforme a Figura 3.

Figura 3 - Imagem da localização dos três pontos amostrais no mapa e da estação meteorológica instalada no Campus do IFCE de Limoeiro do Norte/CE.



Fonte: Acesso 16 de junho de 2017 a partir de Google Earth®.

O ponto 1 foi representado por uma residência que faz uso de um fogão a lenha tradicional. O sítio está situado na Rua Cônego Mizael Alves de Sousa sob coordenadas de Latitude: 5° 8' 10,48391" S e Longitude: 38° 5' 33,71003" W.

O ponto 2 foi representado por uma residência contendo um fogão ecoeficiente estando situado na comunidade do Arraial (Latitude: 5° 05'57,07" S e Longitude: 38° 04'32.19" W).

Por fim, a residência selecionada para o ponto 3 possui apenas fogão a gás (GLP) e está situada na Avenida dos Expedicionários, nº 3638 com coordenadas de Latitude: 5° 5' 56,97856" S e Longitude: 38° 4' 32,44836" W.

Os fogões utilizados em cada sítio amostral podem ser visualizados na Figura 4:

Figura 4 – Fotos dos fogões utilizados nos três pontos amostrais no município de Limoeiro do Norte/CE. (a) fogão a lenha tradicional, (b) fogão ecoeficiente e (c) fogão a gás.

(a)

(b)

(c)



Fonte: Autora (2017).

Os equipamentos utilizados para o monitoramento foram dispostos a uma distância de cerca de 1,0 m dos fogões. Os fogões do ponto 1 (fogão a lenha tradicional) e do ponto 2 (fogão ecoeficiente) estavam inseridos em uma área externa coberta ao lado da cozinha, sendo assim um ambiente propício a receber ventilação da parte externa da casa. No ponto 3 (fogão a gás), o fogão estava inserido na cozinha, próxima a uma porta que dá acesso ao exterior, podendo também receber um pouco de ventilação, visto que a mesma sempre ficava aberta durante as práticas de preparação (cozimento) dos alimentos.

3.2 Questionários

Após a seleção das residências foram aplicados questionários com perguntas relacionadas à rotina de cozimento dos alimentos, saúde ocupacional, biomassa utilizada, tipo de fogão, conforme adaptações a partir da metodologia usada por Carvalho (2012).

3.3 Coleta e determinação das partículas totais em suspensão (PTS)

As coletas foram realizadas durante 3 meses (maio, outubro e novembro de 2016). O primeiro período de coleta aconteceu durante o outono (maio), mas que no estado do Ceará se caracteriza como um período chuvoso. No segundo período as coletas aconteceram na

primavera (outubro e novembro de 2016) caracterizado como um período seco no estado. A frequência adotada foi de uma coleta diária no intervalo de uma semana por ponto amostral, totalizando uma semana em cada ponto no primeiro período, e uma semana no segundo período, conforme o cronograma das Tabela 5 e 6.

Tabela 5 - Cronograma das coletas nos pontos amostrais no período chuvoso.

Coleta	Sítio	Tipo de fogão	Período
1ª Semana	Ponto 3	a gás	09/05/16 a 15/05/16
2ª Semana	Ponto 1	a lenha	16/05/16 a 22/05/16
3ª Semana	Ponto 2	Ecoeficiente	23/05/16 a 29/05/16

Fonte: Autora (2017).

Tabela 6 - Cronograma das coletas nos pontos amostrais no período seco.

Coleta	Sítio	Tipo de fogão	Período
4ª Semana	Ponto 3	a gás	22/10/16 a 28/10/16
5ª Semana	Ponto 1	a lenha	29/10/16 a 04/11/16
6ª Semana	Ponto 2	ecoeficiente	05/11/16 a 11/11/16

Fonte: Autora (2017).

Para as coletas do particulado total (PTS) foram utilizadas membranas em fibra de vidro (0,45 μm , diâmetro 47 mm) dispostas em cassetes de acrílico com suporte (*PAD*) em malha fina de aço inox acoplados a uma bomba AirCheck modelo XR 5000 e um gasômetro da LAO G 0.6, conforme metodologia recomendada por Moreira (2015) e Sousa (2015) em estudos realizados na área do Vale do Jaguaribe no estado do Ceará.

O período diário de coleta considerou a rotina das famílias de utilização dos fogões correspondente a um tempo médio de 6 horas. O horário de monitoramento contínuo adotado situou-se entre 7 às 13 h, que considerou o tempo de funcionamento dos equipamentos (fogões).

A avaliação da concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) do material coletado foi efetuada por meio da pesagem das membranas antes e depois das coletas (análise gravimétrica) em uma balança analítica Shimadzu modelo AUW220D com precisão de $\pm 0,01$ mg, as quais foram armazenadas em uma dessecadora para posteriormente serem realizadas as quantificações dos metais pesados associados.

A concentração do material particulado foi determinada a partir da razão entre a massa de sólidos e o volume de ar amostrado, conforme apresentado na Equação 1.

$$MP (g/m^3) = \frac{(mf - mi) \times 10^6}{V} \quad (1)$$

Onde: mf é a massa final do filtro em gramas (após a coleta);

mi é a massa inicial do filtro em gramas (antes da coleta);

V é o volume do ar amostrado e 10^6 é o fator de conversão de gramas para microgramas.

3.4 Dados meteorológicos

Uma estação meteorológica automática *Davis Vantage Pro2TM* foi instalada no IFCE de Limoeiro do Norte/CE para coletar os parâmetros de umidade relativa do ar, temperatura, precipitação, direção e velocidade dos ventos durante todo o período de amostragem. Os dados obtidos estão apresentados nos apêndices A, B, C e D.

Para comparação a Tabela 7 apresenta sumariamente os dados coletados por uma estação na cidade de Morada Nova/CE de 1961 a 1990, situada a cerca de 30 Km do município de Limoeiro do Norte/CE:

Tabela 7 – Normais climatológicas no período de 1961 a 1990 monitoradas a partir de uma estação no município de Morada Nova/CE.

Mês	Temperatura média (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Precipitação total (mm)
Jan.	26,9	35,1	22,3	65,8	78,7
Fev.	27,3	33,8	23,5	72,0	112,8
Mar.	26,7	32,3	23,0	80,3	214,5
Abr.	26,6	31,9	21,8	79,5	186,7
Mai.	26,7	31,9	22,6	75,0	115,7
Jun.	26,0	31,8	21,4	73,7	70,6
Jul.	26,0	32,6	20,8	67,6	33,8
Ago.	26,6	34,2	20,6	61,4	11,6
Set.	27,6	35,3	21,4	57,5	9,5
Out.	27,9	36,1	22,1	58,0	4,4
Nov.	28,4	34,5	20,8	58,3	5,0
Dez.	28,3	35,7	22,9	61,4	29,0
Ano	27,1	33,8	21,9	67,5	872,2

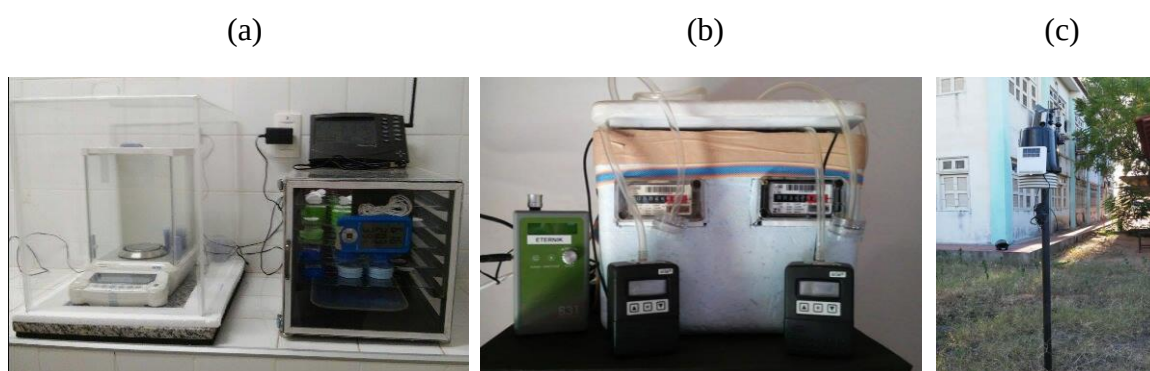
Fonte: Ministério da agricultura e reforma agrária (1992).

3.5 Avaliação do material particulado (PTS, MP₁₀, MP₄, MP_{2.5} e MP₁)

Um contador mássico de partículas *Met One 831 Aerosol Mass Monitor* pertencente ao Laboratório de Energias Renováveis (LERCA)/IFCE- Campus Fortaleza foi utilizado para contagem das partículas nas dimensões MP₁, MP_{2.5}, MP₄ e MP₁₀, o qual foi instalado simultaneamente com a bomba AirCheck® de coleta do particulado total em suspensão (PTS).

Os equipamentos usados na pesquisa podem ser observados na Figura 5.

Figura 5 - Equipamentos utilizados para a coleta do material particulado na presente pesquisa.



(a) Balança analítica e câmara dessecadora, (b) Recipiente contendo cassetes, PADs com membranas de pré-fibra de vidro acoplados a uma bomba AirChek XR5000 para coleta de PTS, gasômetros da LAO G 0,6 e *Met One* (contador de partículas MP₁, MP_{2.5}, MP₄ e MP₁₀), (c) Estação Meteorológica.

Fonte: Autora (2017).

O contador de partículas *Met One 831* conta partículas em 7 faixas de tamanho diferentes e converte os dados de contagem para medições de concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), calculando o volume de cada partícula detectada atribuindo uma densidade padrão para a conversão. O sistema é constituído por uma bomba de sucção acionada a cada minuto, realiza contagem de partículas individuais e usa luz laser dispersa com resolução de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.6 Quantificação dos metais

Para a quantificação das concentrações de metais nas amostras de PTS realizou-se inicialmente a digestão destas em um digestor por micro-ondas Ethos One da Milestone. Após a coleta os filtros foram cortados em pequenos pedaços para acelerar no processo de digestão.

O método utilizado para a digestão por micro-ondas foi o HPF-GE-72, existente no *Application Book SK-10* do fabricante (MILESTONE, 2011). Os filtros cortados foram postos em recipientes de teflon (constituintes do equipamento), e em cada um destes foram adicionados 4 mL de HF P.A, 3 mL de HNO₃ P.A e 3 mL de HCl P.A, para posterior

acondicionamento no digestor. Adotou-se a programação no equipamento de 20 minutos entre a temperatura ambiente e a temperatura de 220°C. Ao atingir esta temperatura as amostras permaneceram mais 15 minutos por aquecimento constante, seguido de diminuição da temperatura até 50° C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos na aplicação dos questionários, no monitoramento de PTS e das partículas MP₁, MP_{2.5}, MP₄ e MP₁₀ e na determinação de metais associados ao material particulado.

4.1 Questionários aplicados

O questionário teve como objetivo caracterizar os três ambientes em estudo, sendo solicitados dados como o número de moradores, tipos de fogões existentes nas residências e o consumo mensal de combustíveis para os fogões. Os resultados mais importantes estão sumarizados na Tabela 8.

Tabela 8 – Características gerais dos locais de coletas.

Ponto amostral	Nº de moradores	Tipo de fogão	Consumo de gás	Consumo estimado de lenha (kg/mês)	Consumo verificado de lenha (kg/mês)
Ponto 1	3	A lenha	Não se aplica	150	205
Ponto 2	3	Ecoeficiente	Não se aplica	360	245
Ponto 3	4	Gás	1 botijão/mês	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: Autora (2017).

No fogão a lenha (ponto 1) um dos moradores está na faixa etária entre 20 e 39 anos, outro entre 40 e 59 anos e a outro com mais de 60 anos. A entrevistada relatou que utiliza o fogão a lenha por este ser mais econômico, além de proporcionar à comida um sabor diferenciado, afirmando ainda que não percebe nenhum tipo de diferença com relação à sua saúde no manuseio do mesmo.

A moradora estimou o consumo de lenha utilizada no fogão a lenha 150 kg/mês, entretanto, constatou-se pela pesagem diária da lenha utilizada no período do estudo, uma média de 205 kg/mês. O principal tipo de madeira utilizada como combustível é proveniente de caixotes utilizados para transporte de produtos.

No fogão ecoeficiente (ponto 2), a moradora relatou que cozinhar no fogão ecoeficiente é um processo demorado e gera muita sujeira no local. Dos três residentes um está na faixa de 10 a 19 anos, outra na faixa de 40 a 59 e outro possui mais de 60 anos de idade. Quanto à lenha utilizada no fogão ecoeficiente estimou-se uma média de

aproximadamente 360 kg/mês, no entanto, constatou-se com a pesagem diária da lenha utilizada, uma média de 245 kg/mês. A lenha usada como combustível provém de árvores como o sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), o marmeleiro (*Croton sonderianus* Müell. Arg), o pau branco (*Cordia oncocalyx* Allemão), a jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e o frei Jorge (*Cordia trichotoma* Vell. Arráb. ex Steud).

No fogão a gás (ponto 3), dentre as quatro pessoas residentes uma está na faixa etária entre 20 e 39 anos e três na faixa etária de 40 a 59 anos. Não há nenhum consumo de lenha, pois existe apenas o fogão a gás convencional nessa residência, sendo a mesma escolhida por tal característica como o ponto controle do presente estudo.

Informações sobre características residenciais de ventilação, problemas de saúde e sensação térmica propiciada pelo o uso dos fogões conforme relato dos moradores estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados sobre ventilação, problemas de saúde e sensação térmica nos ambientes em estudo.

Tipo de fogão	Janelas e portas para o exterior	Problemas de saúde relatados pelos moradores	Sensação Térmica
A lenha	4 janelas 2 portas	Sinusite, alergias, etc.	Muito quente
Ecoeficiente	6 janelas 2 portas	Alergias	Quente
A gás	4 janelas 2 portas	Nenhum problema relatado	Normal

Fonte: Autora (2017).

O fogão a lenha foi construído na própria residência por um dos familiares, sendo constituído por tijolo comum, ferro, cimento e uma chaminé para exaustão de gases de combustão. Após o uso do fogão o calor permanece por um período de aproximadamente duas horas no local onde está inserido o fogão, em uma área ao lado da cozinha, com uma saída que fica constantemente aberta, facilitando a circulação do ar. O tempo de utilização do fogão é variável, e depende dos alimentos que serão cozidos diariamente, sendo em média de 4 a 6 horas. Durante o seu uso há uma demasiada liberação de fumaça.

No que se refere à saúde dos moradores foi relatado casos de alergia e de certas complicações respiratórias, porém, não foram apresentados laudos médicos confirmando tais problemas.

O fogão ecoeficiente está localizado em uma área ao lado da cozinha, na qual um dos lados é aberto, favorecendo a ventilação. No que se refere à saúde dos moradores, foi relatado que duas pessoas que residem na casa têm alergia, porém, não foram apresentados laudos médicos confirmando tais problemas. O fogão ecoeficiente foi construído a partir de um projeto do governo (IDER) na área da sua casa sendo formado por tijolo com ferro, portas e chaminé em ferro fundido para exaustão de gases de combustão.

Após o uso deste tipo de fogão a sensação de calor continua na área por um período de duas horas. O tempo que o fogão fica aceso é variável, e depende do tipo de comida que vai ser cozida em cada dia, sendo em média também de 4 a 6 horas. Ao iniciar o processo de cozimento dos alimentos no fogão ecoeficiente há a liberação de um pouco de fumaça, a qual a moradora justifica ser pela falta de manutenção do fogão.

O fogão a gás é utilizado em média 6 horas por dia, não havendo liberação de fumaça e também nenhuma sensação de calor permanente na cozinha após o término do seu uso. Uma das portas está situada próxima ao fogão, permanecendo aberta enquanto ele está sendo utilizado. Com relação à saúde dos moradores não foi relatada nenhuma doença respiratória. As informações sobre os tipos de biomassas utilizadas nos fogões, locais de coleta e material utilizado para acender o fogo podem ser observadas na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Características dos combustíveis usados nos fogões a lenha na área em estudo.

Tipo de fogão	Biomassa usada como combustível	Local de coleta	Método utilizado para acender o fogo
A lenha	Madeira de caixotes, resíduos de material de construção e de árvores (raramente).	Locais diversos, variando de acordo com a disponibilidade do material.	Utiliza materiais como plástico e borracha para aumentar a chama.
Ecoeficiente	Árvores como, pau-branco, frei Jorge e marmeleiro.	Resíduos de madeira de uma indústria cerâmica.	Corta a madeira em pequenos pedaços finos e coloca sobre eles um pouco de óleo diesel.
A gás	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: Autora (2017).

4.2 Dados meteorológicos no período

Na Tabela 11 e 12 estão apresentados os dados meteorológicos coletados nos períodos de amostragem.

Tabela 11 - Parâmetros meteorológicos coletados durante o período chuvoso no município de Limoeiro do Norte/CE.

Semana	Velocidade média (m/s)	Direção do vento	Precipitação (mm)	Temperatura (° C)	Umidade relativa (%)
09 a 15/05/16	0,9	N/S/L/O/NE/SE	0,1	29,5	70,8
16 a 22/05/16	0,8	N/S/L/O/NE/SE/SO	0,0	29,9	63,3
23 a 29/05/16	0,8	N/S/L/O/NE	0,0	29,9	64,0

Fonte: Autora (2017).

Tabela 12 - Parâmetros meteorológicos coletados durante o período seco no município de Limoeiro do Norte/CE.

Semana	Velocidade média (m/s)	Direção do vento	Precipitação (mm)	Temperatura (° C)	Umidade relativa (%)
22 a 28/10/16	3,83	NNE/NE/ENE/E/ESE/SE	0,0	29,0	56,4
29/10 a 04/11/16	3,86	NNE/NE/ENE/ESE/SE/SSE	0,0	29,6	54,2
05 a 11/11/16	3,96	NNE/NE/ENE/E/ESE/SE	0,0	29,4	55,9

Fonte: Autora (2017).

No período correspondente às coletas no fogão a gás os dados meteorológicos mostraram precipitações pluviométricas (médias) de 0,1 e 0 nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. As velocidades médias dos ventos variaram de 0 m/s a 4,8 m/s (período chuvoso) e 0,5 m/s a 14 m/s (período seco), as temperaturas médias foram de 29,5°C e 29,0°C e as umidades médias apresentaram-se entre 70,8 % e 56,4 %, nos mesmos períodos respectivamente.

Com relação aos dados meteorológicos durante a coleta no fogão a lenha não houve precipitações pluviométricas (médias) em ambos os períodos (chuvoso e seco). As velocidades médias dos ventos variaram de 0 m/s a 4,8 m/s (período chuvoso) e 0,6 m/s a 7,4 m/s (período seco), as temperaturas médias foram de 29,9 °C e 29,6 °C e as umidades médias apresentaram-se entre 63,3 % e 54,2 %, cumprindo a mesma ordem dos períodos.

No fogão ecoeficiente assim como no fogão a lenha, não foram detectadas precipitações pluviométricas nos dois períodos (chuvoso e seco). Por outro lado, as velocidades médias dos ventos variaram de 0 m/s a 4,8 m/s (período chuvoso) e 0,6 m/s a 6,8 m/s (período seco), enquanto que as temperaturas médias foram de 29,9 °C e 29,4 °C, conforme a mesma ordem dos períodos, enquanto as umidades médias apresentaram-se entre 64,0 % e 55,9 %.

Em geral as variáveis meteorológicas foram semelhantes para todos os locais de coleta, nos dois períodos com poucas oscilações. A temperatura média de 29°C prevaleceu em todas as semanas analisadas, bem próximas à média anual apresentada pelas normais climatológicas durante 30 anos (1961-1990), no município de Morada Nova/CE que foi de 27,1 °C.

No período chuvoso a direção dos ventos que predominou foi a oeste, havendo também pouca precipitação, sendo esta insuficiente, correspondendo a um máximo de 0,9 mm de chuva dentre as médias semanais do referido período. Já no período seco a direção dos ventos que predominou foi a norte-nordeste, sem a constatação de precipitação nas semanas de estudo.

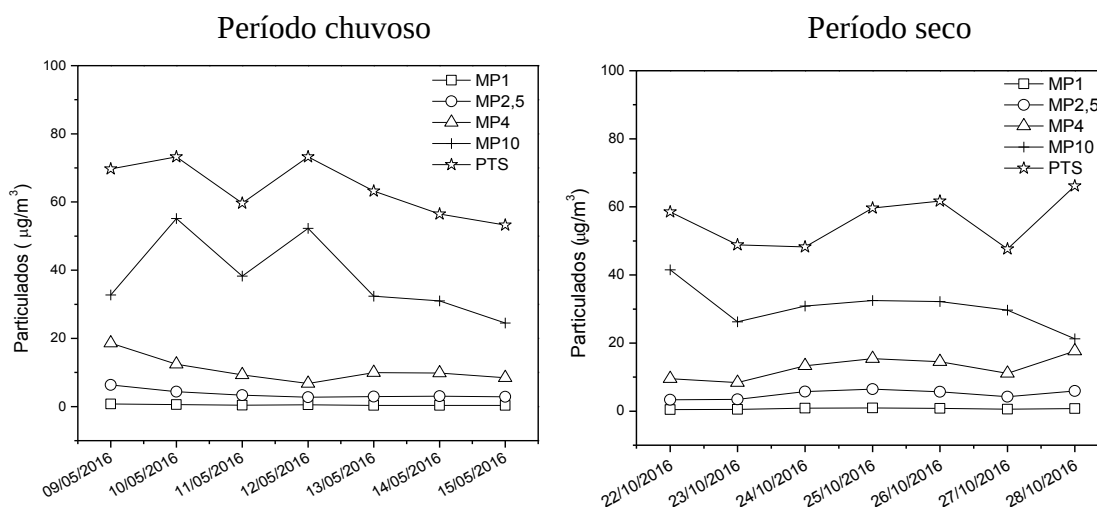
Notadamente não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de particulados em função do clima na região, mesmo estando os fogões em contato com o meio exterior por conta de suas disposições nas proximidades das áreas externas às residências.

As rosas dos ventos nos dois períodos amostrados encontram-se nos apêndices A, B, C e D desta dissertação.

4.3 Material particulado inalável

Os resultados das concentrações diárias de PTS, MP₁, MP_{2,5}, MP₄ e MP₁₀ durante 6 horas de monitoramento no fogão à gás liquefeito de petróleo (GLP) nos períodos de 09/05/16 a 15/05/16 e 22/10/16 a 28/10/16 estão apresentados na Figura 6:

Figura 6 – Concentrações diárias de PTS, MP₁, MP_{2,5}, MP₄ e MP₁₀ durante 6 horas de monitoramento no fogão à gás.



Fonte: Autora (2017).

Os valores de PTS variaram entre 53,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 73,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período chuvoso e entre 47,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 66,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período seco, os quais são inferiores ao valor de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela legislação brasileira para aerodispersóides totais em ambientes interiores (ANVISA, 2003).

Na coleta realizada do fogão a gás as concentrações de MP₁₀ estavam em sua maioria abaixo do limite estabelecido pela OMS para 24 horas (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), sendo as médias semanais de 38,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período chuvoso e 30,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período seco. As concentrações de MP_{2,5} também apresentaram-se abaixo do recomendado pela OMS (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtendo-se como médias nos períodos chuvoso e seco, respectivamente de 3,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 4,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

No período chuvoso a maior média diária de MP₁₀ foi de 55,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o menor valor de 24,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Quanto às concentrações MP_{2,5} a maior concentração registrada foi 6,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a menor de 2,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No período seco as concentrações máximas e mínimas foram respectivamente de 41,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 21,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP₁₀ e 6,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 3,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP_{2,5}, valores que podem ser considerados muito baixos e que possivelmente não afetarão diretamente a saúde e o qualidade do ar interior local.

É importante relatar ainda que fatores como a limpeza no local de amostragem podem influenciar as coletas de dados, conforme descrito por Santos, Carvalho e Silva (2015) no monitoramento de partículas MP₁₀ e MP_{2,5} no interior do campus de Fortaleza do IFCE, onde além das concentrações dentro do preconizado pela ANVISA, constataram-se valores elevados de MP₁₀ em alguns pontos, principalmente no momento da faxina no ambiente. Essa

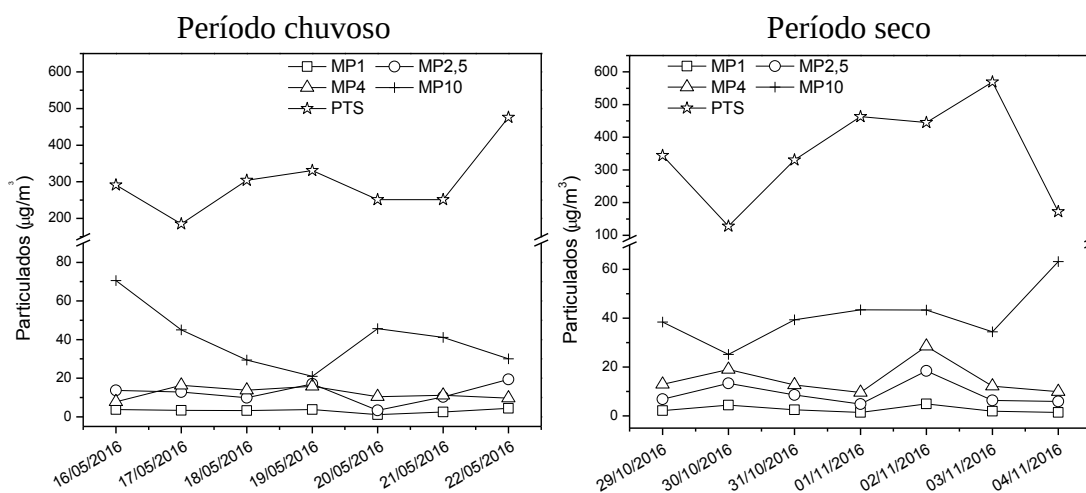
observação pode ser considerada também no presente estudo quando se considera a influência da limpeza do local monitorado. Outra observação que deve ser destacada é que os valores estabelecidos pela OMS consideram um tempo de amostragem de 24 horas, o que difere do presente estudo onde se utilizou um tempo de coleta de 6 horas.

Em estudo realizado por Nascimento (2011), amostras de PTS, MP₁, MP_{2.5}, MP₇ e MP₁₀ foram coletadas no ambiente interno de uma biblioteca pública, obtendo-se em sua maioria valores do material particulado inferiores a 80 µg/m³. Houve ainda o registro de alguns picos nas concentrações de PTS, fato atribuído à limpeza realizada no local no dia da coleta.

Begum *et al.* (2009) avaliaram o material particulado (MP) de cozinhas e salas domésticas em uma área rural de Bangladesh, e constataram que as concentrações de MP são menores em casas que utilizam fogões GLP (132 µg/m³ para MP₁₀), do que nos demais tipos de fogões com outros tipos de combustíveis: madeira (1086 µg/m³), madeira e pólen (846 µg/m³), madeira (785 µg/m³) e madeira, esterco de vaca e pólen (647 µg/m³) e que estas podem variar conforme a posição da cozinha, o uso de combustível e as taxas de ventilação, o que corrobora com os resultados obtidos na presente pesquisa.

A Figura 7 mostra as concentrações diárias de PTS, MP₁, MP_{2.5}, MP₄ e MP₁₀ obtidas durante 6 horas de monitoramento no fogão a lenha nos períodos 16/05/16 a 22/05/16 e 29/10/16 a 04/11/16.

Figura 7 – Concentrações diárias de PTS, MP₁, MP_{2.5}, MP₄ e MP₁₀ durante 6 horas de monitoramento no fogão a lenha.



Fonte: Autora (2017).

Notadamente as concentrações de PTS foram bastante elevadas, variando de 185,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 476,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período chuvoso e de 127,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 568,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período seco, estando acima dos valores recomendados pela ANVISA.

As concentrações máximas e mínimas de MP_{10} detectadas foram de 70,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período chuvoso e 63,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 25,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período seco, estando estes valores máximos acima do limite estabelecido pela OMS para 24 horas (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Enquanto que as concentrações de $\text{MP}_{2.5}$ apresentaram máximas e mínimas de 19,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 3,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período chuvoso e 18,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 4,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período seco, estando abaixo do recomendado pela OMS (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Moura (2014) monitorou partículas de $\text{MP}_{2.5}$ e MP_{10} no interior de 4 residências próximas à cerâmicas no município de Russas/CE no período de 24 horas, sendo verificado no decorrer do experimento picos de emissão que ultrapassaram os recomendados pela legislação, como constatado no ponto 1 que apresentou concentrações de MP_{10} de 4574,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 263,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $\text{MP}_{2.5}$ 195,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 60,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Em um estudo realizado por Dasgupta *et al.* (2006) em Bangladesh, as concentrações médias de MP_{10} variaram de 60 a 1.165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em diferentes combustíveis, sendo as concentrações médias encontradas: de 84 a 1.165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (para lenha), 60 a 755 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (para esterco) e 72 a 727 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (para juta). Para a lenha mais suja foram encontradas concentrações de MP_{10} de 68 a 4.864 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

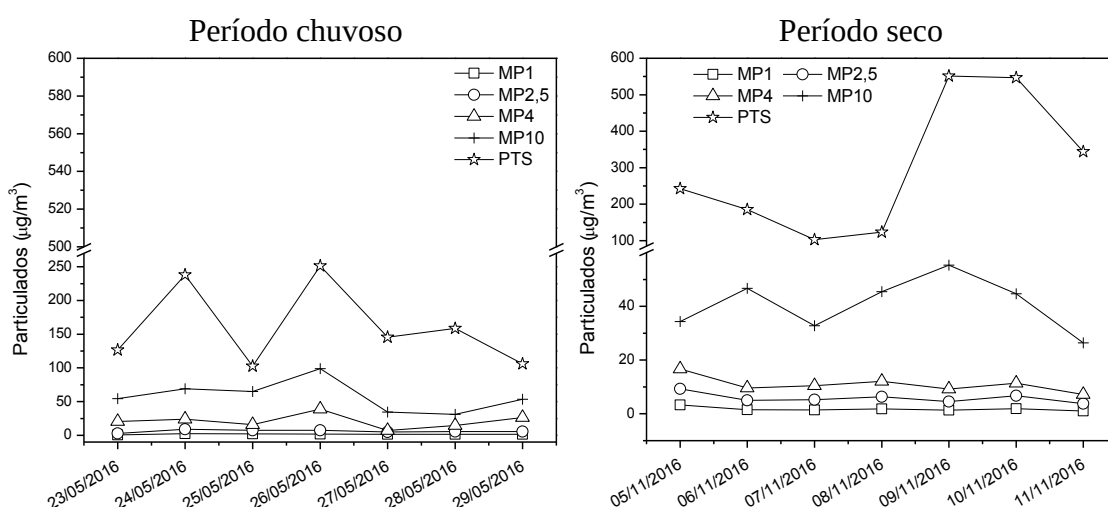
Semmens *et al.* (2015) monitoraram 96 casas com fogões a lenha em dois períodos de 48 horas e encontram concentrações médias diárias de $\text{MP}_{2.5}$ de 28,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no primeiro período de amostragem e 29,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no segundo período. As médias foram consideradas pelos autores relativamente elevadas nestas casas com fogões a lenha, sendo que a média máxima de um minuto em todos os pontos para cada amostragem ultrapassou 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aproximadamente 30% das casas apresentaram em 48 h médias de $\text{MP}_{2.5}$ superiores ao recomendado pela OMS, que é de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante pelo menos um dos períodos de amostragem.

Na avaliação dos impactos da qualidade do ar de fogões com biomassa em residências na Dinamarca, Carvalho (2010) encontrou concentrações de partículas MP_{10} máximas nos fogões amostrados entre 15,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 202,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e MP_1 de 2,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 180,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Apesar de serem registrados valores acima de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, as concentrações médias obtidas no ar interior da maioria das habitações, não ultrapassaram os valores estabelecidos pela OMS.

Masih, Uzgare e Taneja (2016) em Angra na Índia relataram concentrações médias interiores de $101,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_1 , $138,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2.5}$ e $235,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} , as quais foram consideradas muito altas. Os valores elevados em Angra foram observados no período de inverno, época em que na região usa-se mais madeira para aquecimento.

Na Figura 8 são apresentadas as concentrações diárias de PTS, MP_1 , $\text{MP}_{2.5}$, MP_4 e MP_{10} obtidas durante 6 horas de monitoramento no fogão ecoeficiente nos períodos de 23/05/16 a 29/05/16 e 05/11/16 a 11/11/16.

Figura 8 – Concentrações diárias de PTS, MP_1 , $\text{MP}_{2.5}$, MP_4 e MP_{10} durante 6 horas de monitoramento no fogão ecoeficiente.



Fonte: Autora (2017).

Os resultados obtidos para PTS no fogão ecoeficiente variaram entre $26,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $251,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no período chuvoso e entre $92,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $551,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no período seco. Dados estes que na maioria dos dias monitorados estavam acima do valor estipulado pela ANVISA.

Traynor *et al.* (1987) realizaram estudo com 4 fogões a lenha e a média total de PTS encontrada variou de 24 a $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos fogões herméticos, enquanto que no fogão denominado “*nonairtight*” foi de 30 a $650 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tendo este último modelo de fogão apresentado resultados mais aproximados com os encontrados no presente estudo, o qual apresentou valores em sua maioria acima de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ramakrishna, Durgaprasad e Smith (1989) monitoraram partículas de PTS em fogões com combustão aberta tradicional e fogões melhorados. As taxas de exposição de PTS obtidas demonstraram que não houve reduções evidentes entre as taxas provenientes dos fogões melhorados em comparação com os fogões tradicionais. No presente estudo também se

observa que o fogão ecoeficiente apresentou taxas altas de PTS, assim como o fogão tradicional, não ocorrendo muita variação entre esses valores.

Kang *et al.* (2009) realizaram coletas de PTS em fogões cuja fonte de combustível era esterco e encontraram concentrações médias de $4,45 \text{ mg/m}^3$ durante o período de cozimento/aquecimento (com valor diário de $3,16 \text{ mg/m}^3$), sendo estas consideradas bastante elevadas pelos os autores. Esses valores são bem menores do que as concentrações de PTS encontradas no presente estudo, evidenciando que o tipo de combustível, as condições em que foram realizados os ensaios, como por exemplo: o tempo de amostragem, as condições ambientais, estrutura do fogão, etc., são variáveis que podem desempenhar papéis essenciais no desenvolvimento de pesquisas nessas áreas.

As concentrações máximas e mínimas de MP_{10} detectadas no fogão ecoeficiente foram de $78,8 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ e $31,1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ no período chuvoso e $55,4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ e $26,4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ no período seco. Por outro lado as concentrações de $\text{MP}_{2.5}$ apresentaram máximas e mínimas de $9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ e $2,9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ e $9,3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ e $3,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ nos respectivos períodos.

Chowdhury *et al.* (2012) realizaram estudo com fogões tradicionais e fogões melhorados de BCSIR, obtendo-se como concentrações médias de $\text{MP}_{2.5}$ em 24 horas de $1,8 \text{ mg/m}^3$ nos fogões tradicionais e $0,73 \text{ mg/m}^3$ nos fogões melhorados.

Naeher, Leaderer e Smith (2000) realizaram medições de PTS, $\text{MP}_{2.5}$ e MP_{10} na Guatemala, em quatro tipos de situações quanto ao uso de fogões: sem fogão em uso; fogão a lenha aberta tradicional, fogão a lenha melhorado com chaminé (*plancha*) e fogão a gás engarrafado (LPG), similares ao presente estudo. As concentrações de $\text{MP}_{10}/\text{PTS}$ foram 173/174, 717/836, 210/276, 186/218 $\mu\text{g/m}^3$ e de $\text{MP}_{2.5}$ foram 56 mg/m^3 , 528 $\mu\text{g/m}^3$, 96 mg/m^3 , e 57 $\mu\text{g/m}^3$. Esses dados corroboram com o presente estudo ao apresentar a diferença nas concentrações obtidas em diferentes configurações de fogões, porém com valores bem mais elevados.

Santiago *et al.* (2015) realizaram medições de materiais particulados em uma residência com fogão eficiente em Horizonte/CE e verificaram que os valores encontrados ultrapassaram os limites estabelecidos pelo CONAMA. Sendo que tais medições foram realizadas no interior da casa, no período de duas horas. O ponto em que foi constatada a maior concentração de MP_{10} ocorreu após 44 minutos de funcionamento do fogão, apresentando uma concentração de $1400 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Quanto às concentrações de MP_1 e MP_4 estas variaram de $0,3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (fogão a gás) a $4,9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (fogão a lenha) e de $6,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (fogão a gás) a $38,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (fogão ecoeficiente), respectivamente. Observa-se que a concentração mais alta de MP_4 foi obtida no fogão

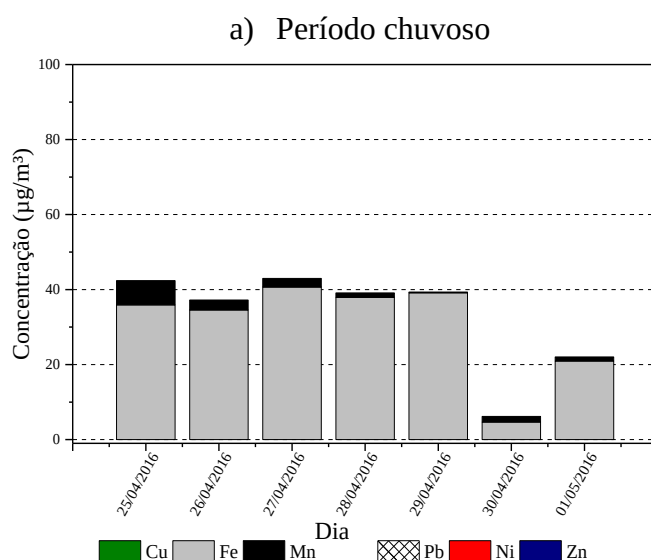
ecoeficiente, no qual esperava-se resultados mais baixos que o do fogão a lenha (máxima de $28,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Já as concentrações de MP_1 foram mais elevadas no fogão a lenha, sendo a máxima no fogão ecoeficiente $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As concentrações do fogão a gás para as duas dimensões de particulado foram inferiores as encontradas nos demais fogões (lenha e ecoeficiente).

Apesar de ser um fogão elaborado com o propósito de diminuir as emissões provenientes da queima de biomassa, o fogão ecoeficiente não apresentou resultados muito diferentes do fogão a lenha, obtendo as concentrações mais elevadas de MP_4 e de MP_{10} dentre os pontos amostrados. Questões como a falta de manutenção do fogão pode ter influenciado nos resultados obtidos e reforçam a importância da realização de um monitoramento constante desses equipamentos para que seu uso seja efetivo, ocasionando menos danos às pessoas que os manuseiam.

4.4 Metais pesados

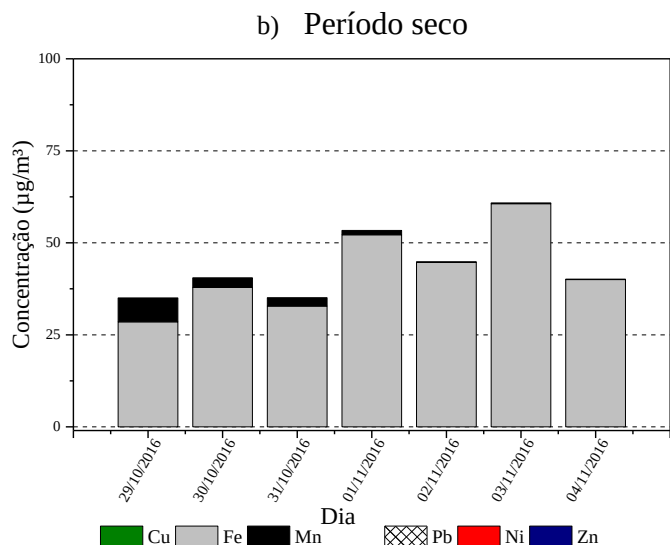
Em geral não foi observada a presença dos metais: Cu, Pb, Fe, Mn, Zn e Ni no particulado total em suspensão coletado nos filtros das amostras provenientes do fogão a gás. Por outro lado a Figura 9 apresenta os teores destes metais nas emissões do fogão a lenha.

Figura 9 - Concentrações médias semanais dos metais traços associados ao PTS das emissões atmosféricas do fogão a lenha no município de Limoeiro do Norte/CE.



(Continua)

(Continuação)



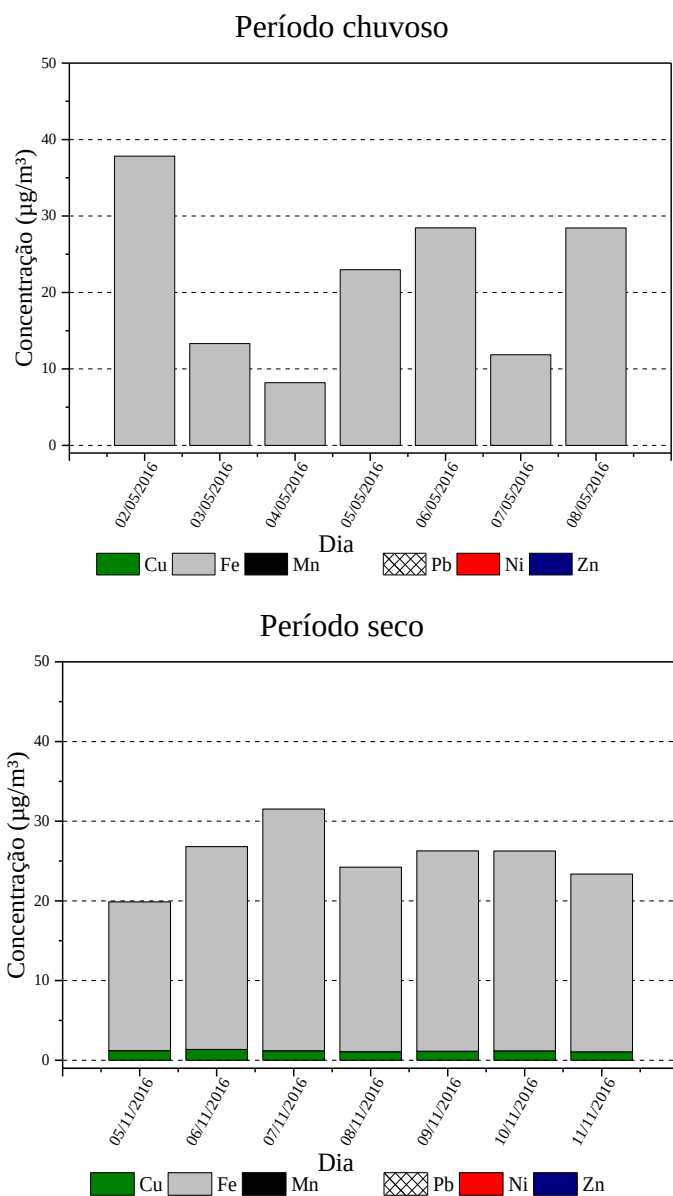
Fonte: Autora (2017).

No período chuvoso de coleta do fogão a lenha foi observada a presença de ferro e manganês nas amostras, sendo as maiores concentrações $40,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $6,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. No período seco as concentrações máximas obtidas foram $60,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ferro) e $6,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (manganês).

Em estudo realizado sobre a qualidade do ar em locais próximos à cerâmicas, Moreira (2015) constatou em suas amostras que o ferro foi o metal que apresentou concentração média mais elevada, de $28,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ainda concentrações baixas de manganês, de $1,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como também verificado no presente estudo.

Hasan, Salam e Alam (2009) analisaram o material emitido por fogões de cozinhas com 2 diferentes tipos de biomassa: casca de arroz (tipo1) e palha, bambu, esterco de vaca, folhas e plantas (tipo 2), quanto a presença de metais e encontraram concentrações médias de 95.6 mg kg^{-1} de chumbo e 11520 mg kg^{-1} de ferro, na amostra tipo 1 e na amostra tipo 2, teores de 125.2 mg kg^{-1} de chumbo e 12360 mg kg^{-1} de ferro, as quais foram consideradas concentrações elevadas de ferro, semelhantes as constatadas na presente pesquisa, fato que reforça a hipótese de liberação de metais através da combustão de biomassa. As concentrações de metais encontradas nas emissões do fogão ecoeficiente podem ser visualizadas na Figura 10:

Figura 10 - Concentrações médias semanais dos metais traços associados ao PTS das emissões atmosféricas do fogão ecoeficiente no município de Limoeiro do Norte/CE.



Fonte: Autora (2017).

No fogão ecoeficiente foram obtidas nas amostras analisadas a maior concentração média de ferro de 37,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período chuvoso. No período seco as concentrações obtidas foram de 30,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fe) e 1,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cu).

Estudo realizado por Salam *et al.* (2013) determinou metais em diferentes tipos de biomassa e encontrou as seguintes maiores concentrações médias: 3256 (Fe), 98 (Mn), 39 (Cu), 126 (Zn) e 262 (Pb) mg kg^{-1} .

5 CONCLUSÕES

As concentrações máximas médias de 6 horas de coleta de PTS, MP₁₀, MP₄, MP_{2.5} e MP₁ obtidas no presente estudo foram respectivamente de 568,8 µg/m³, 78,8 µg/m³, 38,7 µg/m³, 19,3 µg/m³ e 4,9 µg/m³. Esses valores podem ser considerados elevados ao analisar os parâmetros estabelecidos pela OMS para MP₁₀ em 24 horas (50 µg/m³), para MP_{2.5} (25 µg/m³) e para aerodispersóides em ambientes interiores pela ANVISA (80 µg/m³), sendo evidenciado que em diversos momentos do monitoramento houveram picos que ultrapassaram os valores recomendados nos três tipos de fogões examinados.

A maior concentração de PTS (568,8 µg/m³) foi evidenciada no fogão a lenha tradicional, no mês de maio de 2016, que no estado do Ceará é considerado como período chuvoso. Já as concentrações mais elevadas de MP₁₀ (78,8 µg/m³) e MP₄, (38,7 µg/m³) foram obtidas no fogão ecoeficiente, no mês de maio e as concentrações mais elevadas de MP_{2.5} (19,3 µg/m³) e MP₁ (4,9 µg/m³) no fogão a lenha, as quais foram encontradas respectivamente nos meses de maio e novembro, considerado período seco no Ceará.

As concentrações elevadas encontradas no fogão ecoeficiente constataam que ele não apresentou um desempenho muito diferente do fogão a lenha tradicional, quanto a emissão de material particulado, sendo detectado em alguns momentos valores superiores à esse. A falta de manutenção e monitoramento do fogão ecoeficiente, pode ter influenciado a formação de material particulado no interior das habitações analisadas, devido ao transporte de poluentes atmosféricos dos fogões e chaminés para o interior.

Com relação à determinação dos metais foram constatadas apenas a presença de três metais: Fe, Mn e Cu nas amostras analisadas. O Fe esteve presente no maior número de amostras. Nos dois períodos de amostragem apresentou como maiores concentrações respectivamente: 40,6 µg/m³ e 60,6 µg/m³ no fogão a lenha tradicional e 37,83 µg/m³ e 30,33 µg/m³ no fogão ecoeficiente. Foi detectada a concentração de Mn 6,4 µg/m³ no fogão a lenha tradicional em ambos os períodos. A presença do Cu só foi constatada na segunda coleta do fogão ecoeficiente, sendo a maior concentração encontrada 1,36 µg/m³, para o fogão a gás não foi detectado nenhuma concentração de metal.

As emissões provenientes tanto do fogão a lenha convencional como do fogão ecoeficiente, podem ser prejudiciais à saúde dos usuários e interferir na qualidade do ar interior. Apesar de não ter sido possível comprovar os efeitos da exposição dos moradores aos poluentes emitidos com a fumaça do fogão, pois estes relataram não possuir nenhum laudo médico de doença respiratória.

Estudos posteriores podem comprovar com mais eficácia a correlação entre a exposição à queima de biomassa, a saúde das pessoas e a qualidade do ar interior. A elaboração de leis e resoluções que estabeleçam padrões para os parâmetros analisados (PTS, MP₁, MP_{2.5}, MP₄, MP₁₀ e metais) emitidos por fontes fixas em ambientes interiores, com condições similares a deste estudo, será um grande instrumento para monitorar os poluentes originados da queima da biomassa em fogões a lenha e auxiliará na construção de medidas para minimizar os impactos por eles causados.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que, em estudos posteriores seja analisada a correlação entre a concentração destes poluentes em cozinhas para o período de 24 horas e a exposição diária dos ocupantes destas habitações a material particulado resultante da queima doméstica de lenha, integrando novos dados sobre a sua influência para as práticas na saúde das famílias em regiões rurais do Nordeste do Brasil. Futuros estudos poderão também apoiar o desenvolvimento e instalação adequada de fogões mais eficientes e mais limpos em cozinhas da região, com vista a cumprir as orientações da OMS.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA-ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 1. ed. Brasília: ANEEL, 2002, 153 p. Disponível em: <<http://goo.gl/6HgYlx>>. Acesso em: 03 abr. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Resolução/ANVISA nº 09 de 16 de janeiro de 2003. Avaliação da qualidade do ar interior, 2003. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 jan. 2003. p. 1-10. Disponível em: <<http://goo.gl/yFQOE1>>. Acesso em: 21 jul. 2016.
- ALCÓCER, J. C. A. *et al.* Fogões ecológicos: uma alternativa eficiente para substituição dos fogões a lenha convencionais. **Revista Educação Ambiental em Ação**. n. 52. p. 1-5, 2015.
- ARBEX, M. A. *et al.* Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Bras. Pneumol.**, v. 30, n. 2, p.158-175, 2004.
- ARBEX, M. A. *et al.* A poluição do ar e o sistema respiratório. **J Bras Pneumol.**, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012.
- BAKONYI, S. M. *et al.* Air pollution and respiratory diseases among children in the city of Curitiba, Brazil. **Rev. Saúde Pública**, v. 38, n. 5, p. 695-700, 2004.
- BARTINGTON, S.E. *et al.* Patterns of domestic exposure to carbon monoxide and particulate matter in households using biomass fuel in Janakpur, Nepal. **Environmental Pollution**. v. 220, part A, p. 38-45, 2017.
- BEGUM, B. A. *et al.* Indoor air pollution from particulate matter emissions in different households in rural areas of Bangladesh. **Building and Environment**. v.44, p. 898–903, 2009.
- BRAGA, L. M. M. **Parques Agrários no baixo Jaguaribe**: Arquitetura Rural da região dos Perímetros Irrigados resultante do planejamento de bacias hidrográficas. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 ago. 1990. p. 15937-15939. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 10 jun. 2016.
- _____. Resolução Conama nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, de 2 jan. 2007. Seção 1, p. 131-137. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

BRUCE N., PEREZ-PADILLA R, ALBALAK R. Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 78, n. 9, p. 1078-1092, 2000.

CANTO, S. A. E. **Uma nova proposta de avaliação de fogões à biomassa**. 2014. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

CARDOSO, J. S. *et al.* Breve estudo sobre estruturas de queima (fogões, fornalhas e fornos) em sítios do projeto de salvamento Histórico-arqueológico na área atingida pela represa da usina de Serra da Mesa - Goiás. **Revista de Arqueologia**, n.10, p. 127-141, 1997.

CARVALHO, R. L.; JENSEN O. M.; TARELHO. L. A. C. Mapping the performance of wood-burning stoves by installations worldwide. **Energy and Buildings**. p. 1-59, 2016.

CARVALHO, R. L. T. de *et al.* Estudo compreensivo do conforto ambiental em habitações rurais do Ceará. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 1409-1421, 2012.

CARVALHO, R. L. T. de. **Eficiência de fogões a biomassa e impactos na qualidade do ar interior**. 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis) – Departamento de Economia, Gestão e engenharia industrial, Universidade de Aveiro, 2010.

_____. **Wood-burning stoves worldwide: technology, innovation and policy**. 2016. 130 f. Tese (Faculdade de engenharia e Ciências), Aalborg Universitet, 2010.

CASTANHO, A. D. A. **A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo**. 1999. 134 f. Dissertação (Mestrado em Física Nuclear) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CASTRO, H. A. *et al.* Questões Metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 6, n. 2, p. 135-149, 2003.

CENTRAL BUREAU OF STATISTICS, 2011. **National Population and Housing Census (National Report)**. v. 1, 2012. Disponível em:

<<http://unstats.un.org/unsd/demographic/sources/census/wphc/Nepal/Nepal-Census-2011-Vol1.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

CHOWDHURY, Z. *et al.* Quantification of Indoor Air Pollution from Using Cookstoves and Estimation of Its Health Effects on Adult Women in Northwest Bangladesh. **Aerosol and Air Quality Research**. v. 12, p. 463–475, 2012.

CYNTHIA A. A., *et al.* Reduction in personal exposures to particulate matter and carbon monoxide as a result of the installation of a Patsari improved cook stove in Michoacan Mexico. **Indoor Air**, v. 18, p. 93–105, 2008.

CORTEZ, L. A. B.; LORA E. E. S.; AYARZA, J. A. C. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Orgs.). **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Unicamp, 2008, p. 15-29.

DASGUPTA, S. *et al.* Indoor air quality for poor families: new evidence from Bangladesh. **Indoor Air**, v. 16. p. 426-444, 2006.

DONALDSON K. *et al.* Ultrafine Particles. **Occup. Environ Med.**, v. 58. p. 211-216, 2001.

DRUMOND, M. A. **Estratégias para o desenvolvimento sustentável da Caatinga.** Documento para discussão no GT estratégias para o uso sustentável. Petrolina - PE, 2000. INTERNET. Disponível em: <<http://goo.gl/HAefMU>>. Acesso em: 24 jul. 2016.

FERNANDES, J. S. *et al.* Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana. **Rev. Med.**, v. 20, n. 1, p. 92-101, 2010.

GODOY, I de. Fogão a lenha: um passatempo agradável, uma rotina perigosa. **J. Bras. Pneumol.**, v. 34, n. 9, p. 637-638, 2008.

HASAN, M.; SALAM, A.; ALAM, A. M. S. Identification and characterization of trace metals in black solid materials deposited from biomass burning at the cooking stoves in Bangladesh. **Biomass and bioenergy**, v. 33, p. 1 3 7 6 – 1 3 8 0, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/ce/limoeiro-do-norte/panorama>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ENERGIAS RENOVÁVEIS - IDER. **Fogões Ecoeficientes:** Manual de construção. 2008. 24p. Disponível em: <<http://goo.gl/ibnLtp>>. Acesso em: 24 jul. 2016.

KANG, S. *et al.* Total suspended particulate matter and toxic elements indoors during cooking with yak dung. **Atmospheric Environment**, v. 43 p. 4243–4246, 2009.

LIMA, R. A. A Produção de Energias Renováveis e o Desenvolvimento Sustentável: Uma Análise no Cenário da Mudança do Clima. **Energy Law in Brazil**, v. 5, ano 4, p. 1-17, 2012.

MASIH, R. A; UZGARE, S.; TANEJA, A. Indoor/Outdoor Concentration of Particulate matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons at roadside site in Agra India. *Citation for published version (APA):* Heiselberg, P. K. (Ed.) (2016). **CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress:** v. 7. Aalborg: Aalborg University, Department of Civil Engineering.

MOREIRA, M. A. C. *et al.* Doença pulmonar obstrutiva crônica em mulheres expostas à fumaça de fogão a lenha. **Rev. Associação Médica Brasileira**, v. 6, n. 59, p. 607-613, 2013.

MOREIRA, J. R. **Estudo da qualidade do ar no município de Russas-CE sob influência das emissões das indústrias de cerâmica vermelha.** 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) – Pós-Graduação de Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza - CE, 2015.

- MOURA, N. M. C. **Estudo de monitoramento da emissão de particulado por indústrias de cerâmica vermelha no distrito de flores - município de Russas, CE.** 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) – Pós-Graduação de Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza. 2014.
- NAEHER, L. P.; LEADERER, B. P.; SMITH, K. R. Particulate Matter and Carbon Monoxide in Highland Guatemala: Indoor and Outdoor Levels from Traditional and Improved Wood Stoves and Gas Stoves. **Indoor Air**. v. 10. p. 200–205, 2000.
- NASCIMENTO, G. C. **Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos:** biblioteca pública. 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. SECRETARIA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. Departamento nacional de meteorologia. **Normais Climatológicas (1961-1990)**, Brasília, p. 1-84. 1992.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **A eficiência dos fogões ecológicos:** Tecnologia permite menor consumo de lenha e reduz a emissão de fumaça. 12 de julho de 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/Lk70q>>. Acesso em: 07 jun. 2016.
- MILESTONE. **Application book SK-10 High Pressure Rotor**, 2011.
- RAMAKRISHNA, J.; DURGAPRASAD, M. B.; SMITH, K. R. Improved stoves on indoor air quality. **Environment International**, v. 15, p. 341-352.1989.
- REGUEIRA, M. T. **Comparação entre a eficiência de dois modelos de fogão a lenha e seus impactos sobre o desmatamento da caatinga.** 2010. 26 f. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
- SALAM, A. *et al.* Chemical characterization of biomass burning deposits from cooking stoves in Bangladesh. **Biomass and Bioenergy**, v. 52, p.122–130, 2013.
- SALVI, S. S.; BARNES, P. J. Chronic obstructive pulmonary disease in non-smokers. **The Lancet**, v. 374, p. 733-743, 2009.
- SANTIAGO, N. de A. *et al.* Bioenergia e emissões de partículas de fogões eficientes. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DE ENGENHARIA E DA AGRONOMIA CONTECC. 2. 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2015, p. 1-4.
- SANTOS, P. G. L.; CARVALHO, R. L. T.; SILVA, A. C. Avaliação da Qualidade do ar: concentrações de material particulado MP₁₀ e MP_{2.5} no interior de uma instituição de ensino de Fortaleza (CE, Brasil). **Ciência e Natura**, v. 37, n. 2, p. 345- 355, 2015.
- SEATON, A. *et al.* Particulate air pollution and acute health effects. **The Lancet**. v. 345, p. 176-178, 1995.
- SEMMENS, E.O. *et al.* O. Indoor particulate matter in rural, wood stove heated homes.

Environmental Research, v. 138, p. 93–100. 2015.

SOUSA, M. G. de F. **Avaliação do herbicida glifosato presente na atmosfera**: Estudo de caso: município de Limoeiro do Norte-CE. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) – Pós-Graduação de Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza - CE, 2015.

TRAYNOR, G. W. *et al.* Indoor air pollution due to emissions from wood-burning stoves. **Environ. Sci. Technol.**, v. 21, n. 7, p. 691-697, 1987.

TURN S. Q. *et al.* Elemental characterization of particulate matter emitted from biomass burning: wind tunnel derived source profiles for herbaceous and wood fuels. **Journal of Geophysical Research**, v.102, p. 2683-2699, 1997.

UHLIG, A. **Lenha e carvão vegetal no Brasil**: balanço oferta-demanda e métodos para a estimativa do consumo. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Energias) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energias, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

WHO. **Health guidelines for vegetation fire events**. Ed. Schwela DH Goldammer JG, Morawska LH, Simpson, O. Geneva, 1999.

WHO. **Air quality guidelines for europe**. Copenhagen: WHO, Regional Publications. n. 91, p. 288, 2000.

WHO. **The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries** [monograph on the Internet]. Geneva: World Health Organization. Protection of the Human Environment; 2002. [cited 2008 Jul 16]. Available from: www.who.int/indoorair/publications/health_effects/en/.

WHO. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**: Global update 2005. Geneva. 2005. p. 1-20.

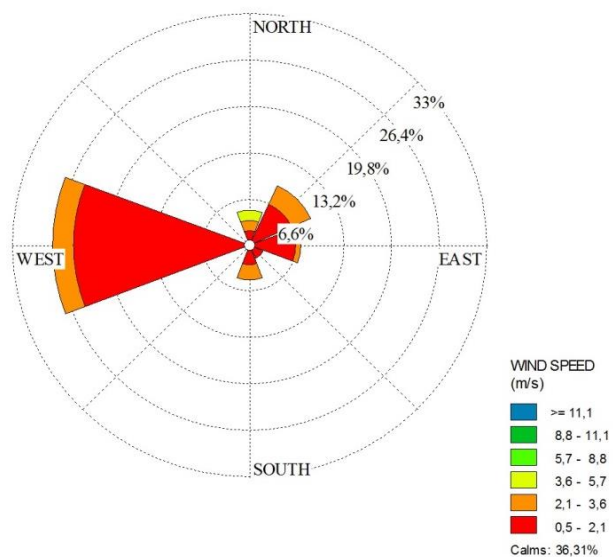
WHO. **Ambient (outdoor) in air quality and health**. Geneva. 2014.

World Health Organization - WHO. [homepage on the Internet]. Geneva: World Health Organization. **Household air pollution and health**. Fact sheet n 292. Updated February 2016.

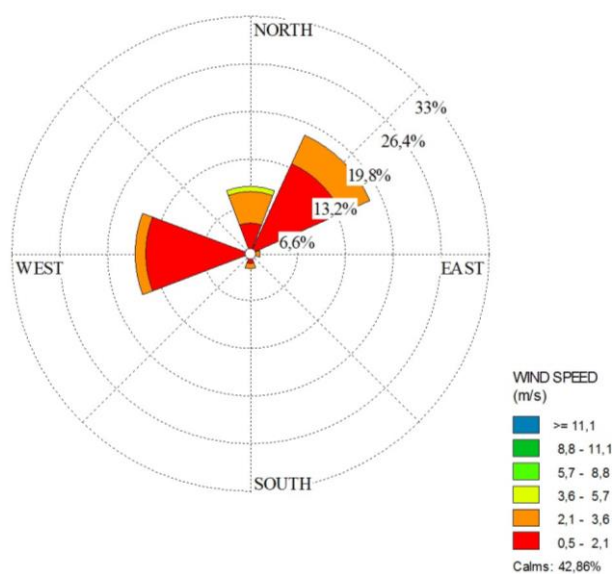
APÊNDICES

Apêndice A - Rosa dos ventos para o período de 09 de maio de 2016 a 29 de maio de 2016 nos três pontos amostrais no município de Limoeiro do Norte/CE.

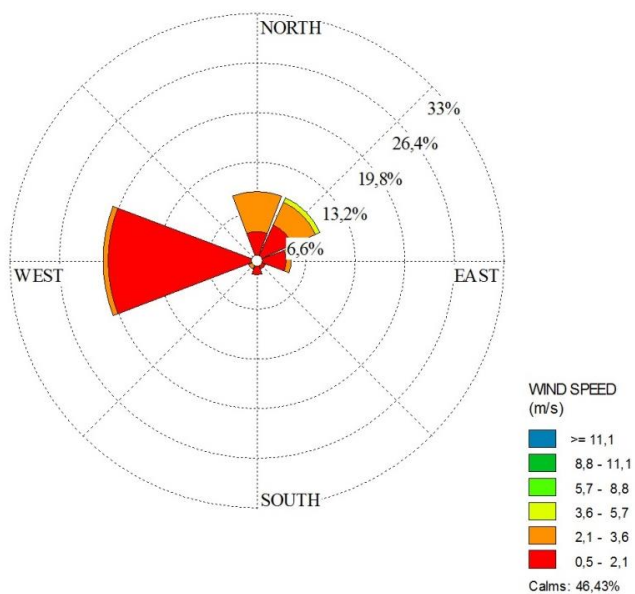
Ponto 3



Ponto 1



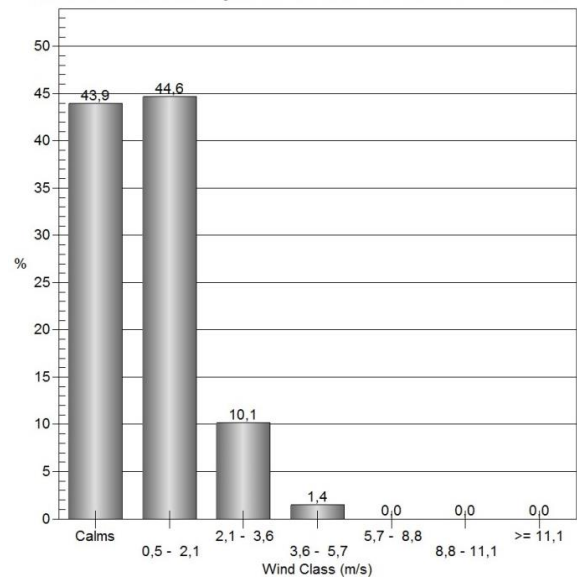
Ponto 2



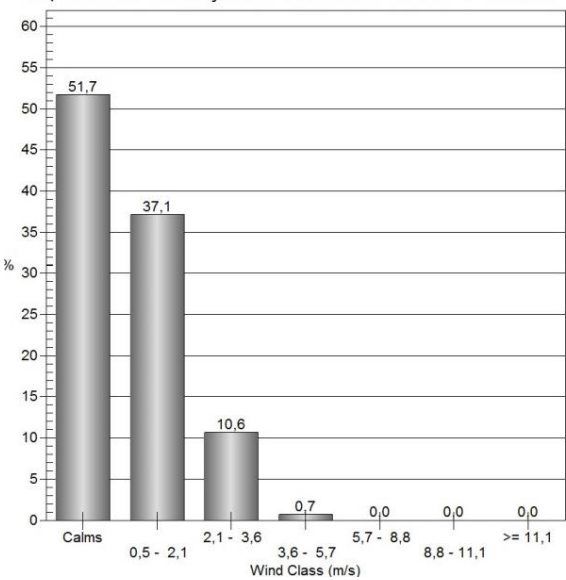
Fonte: Autora (2017).

Apêndice B - Frequência dos ventos para o período de 09 de maio de 2016 a 29 de maio de 2016 nos três pontos amostrais no município de Limoeiro do Norte/CE.

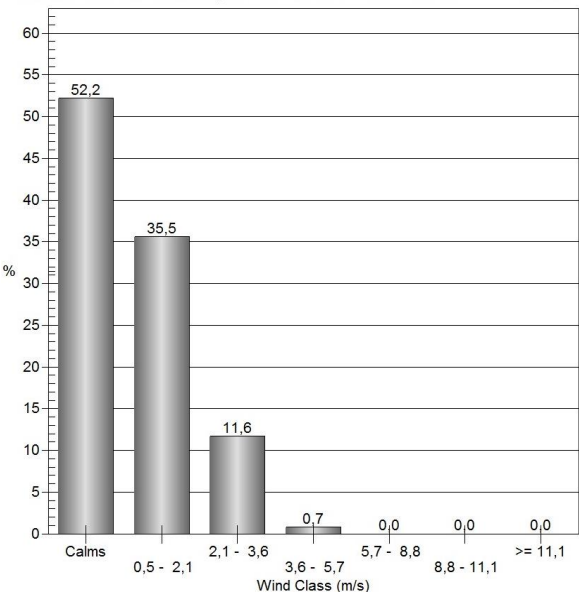
Ponto 3



Ponto 1

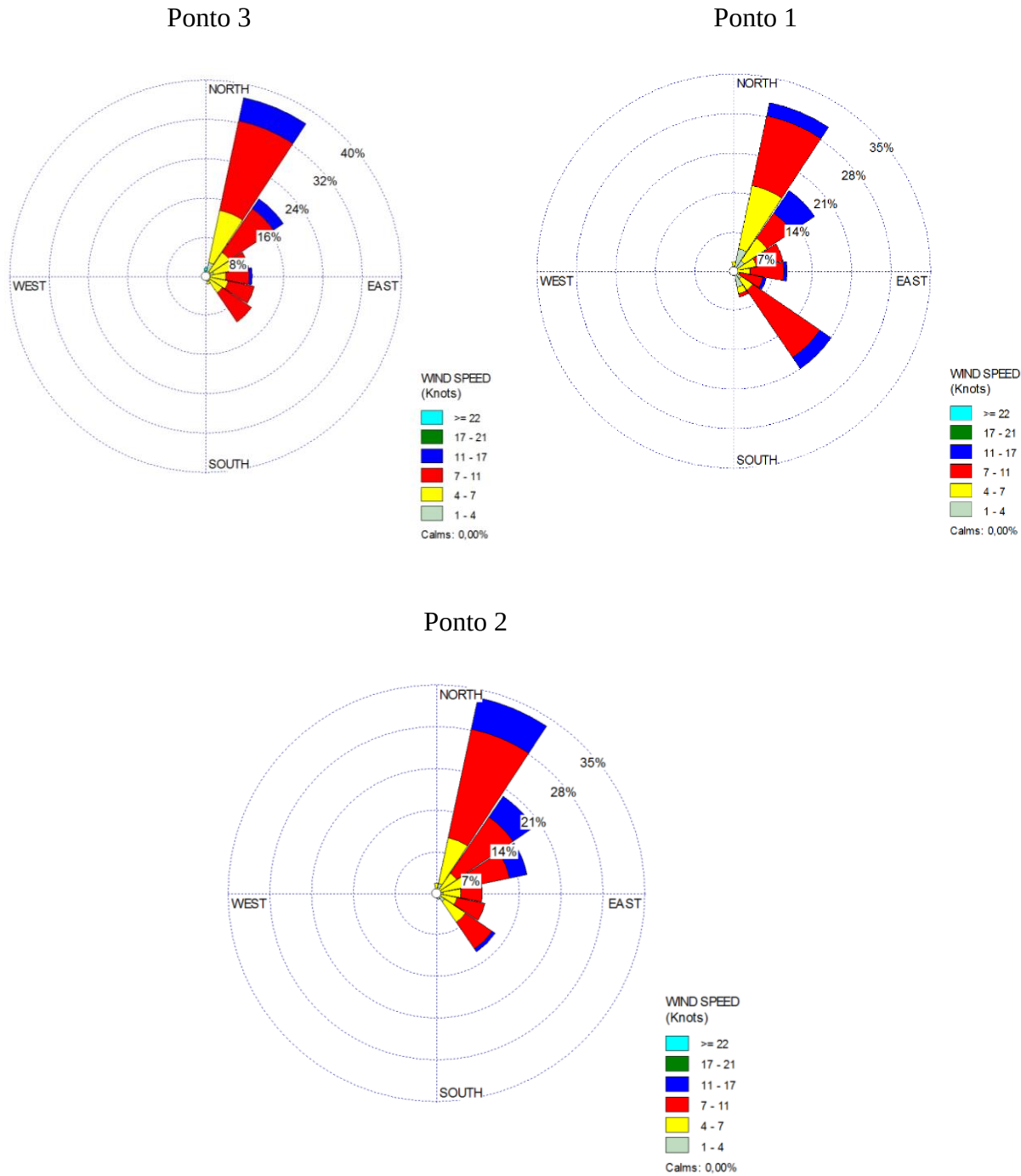


Ponto 2



Fonte: Autora (2017).

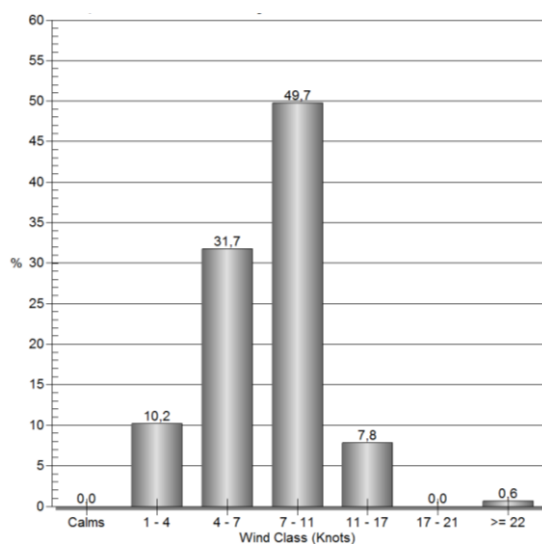
Apêndice C- Rosa dos ventos para o período de 22 de outubro de 2016 a 11 de novembro de 2016 nos três pontos amostrais no município de Limoeiro do Norte/CE.



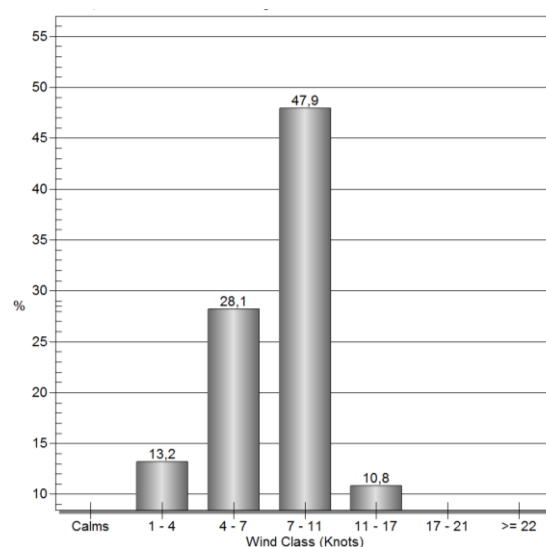
Fonte: Autora (2017).

Apêndice D - Frequência dos ventos para o período de 22 de outubro de 2016 a 11 de novembro de 2016 nos três pontos amostrais no município de Limoeiro do Norte/CE.

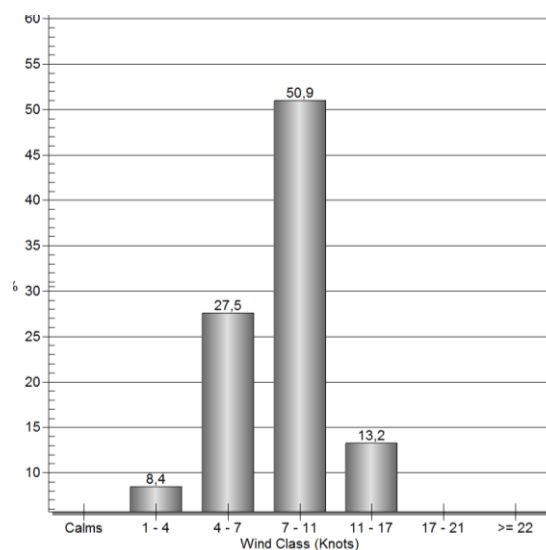
Ponto 3



Ponto 1



Ponto 2



Fonte: Autora (2017).

ANEXOS

Anexo A – Questionário aplicado aos responsáveis pelo manuseio dos fogões nas residências em estudo conforme adaptações a partir de Carvalho (2012).

1. Localização da residência:

2. Quantas pessoas residem e quais as suas idades (indique o número de pessoas para cada idade)?

() 0-9 () 10-19 () 20-39 () 40-59 () >60

3. Qual o consumo médio de gás butano (botijão 13 kg/mês)?

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6

Caso o botijão seja diferente do “butano 13 kg” indique qual o tipo e quantos utilizou

4. Qual o consumo médio de lenha (kg/mês)

5. Quantas janelas e portas para o exterior tem a casa (total)?

() janelas () portas

6. Quantas estão junto aos fogões de cozinha?

() janelas () portas

7. Quais as características das janelas e portas para ventilação natural?

() pequena (1x1 metro) () média (2x2 metro) () grande (3x3 metro)

Que sistemas de ventilação utilizam para além da natural? Ventilador? Ar condicionado?
Onde se encontram localizadas na casa?

8. Existem pessoas com problemas respiratórios ou com alergias em sua casa?

() sim () não

Se sim, quais os tipos de problemas respiratórios ou alergias?

9. Quais os tipos de fogões utilizados em sua casa?

() À gás butano () Eco-eficientes (instalados pelo IDER) () À lenha
Qual você mais utiliza? Por quê?

10. Qual diferença você percebe, em relação à sua saúde, quando utiliza o fogão à gás butano, eco-eficientes e à lenha?

11. Ocorre acidentes com o uso dos fogões?

() sim () não
Se sim, quais os tipos de acidentes?

Ocorre com que frequência?

() Todos os dias () Uma vez na semana () Uma vez no mês

12. Qual o modelo do fogão que tem em sua casa? Onde foi construído/adquirido?

13. O fogão tem chaminé de exaustão de gases de combustão?

() Sim () Não
Caso não tenha, como é realizada a exaustão dos gases resultantes da queima?

14. Quais os materiais que constituem o fogão?

() tijolo com ferro portas e chaminé de fundido () ferro fundido () Outros
Em caso de outros, quais os materiais?

15. Qual o tipo de lenha utilizado para aquecimento de cozinha? Onde é colhida essa lenha e por quem?

16. Como faz para acender o fogo e quanto tempo demora para cozinhar uma panela de feijão no fogão a lenha?

17. Utiliza o fogão a lenha somente para cozinhar?

() sim () não

Se não, quais as outras aplicações?

18. Qual o fogão que prefere utilizar e o porquê?

19. Quais as condições meteorológicas e ambientais no local de trabalho?

() sol e acima de 28°C () chuva nublado <28°C () Outros

20) Quando o fogão que está sendo utilizado, qual é a sensação térmica (de calor)?

IDER	☐ Frio	☐ Normal	☐ Quente	☐ Muito quente
LENHA CONVENC.	☐ Frio	☐ Normal	☐ Quente	☐ Muito quente
GÁS	☐ Frio	☐ Normal	☐ Quente	☐ Muito quente

21) Por quanto tempo o fogão utilizado fica aceso?

IDER	☐ Horas
LENHA CONVENC.	☐ Horas
GÁS	☐ Horas

22) Após o uso do fogão, a sensação de calor continua na cozinha?

IDER	☐ Sim	☐ Não	Quanto tempo?	☐ (horas)
LENHA CONVENC.	☐ Sim	☐ Não	Quanto tempo?	☐ (horas)
GÁS	☐ Sim	☐ Não	Quanto tempo?	☐ (horas)

23) Durante o uso do fogão, as portas e janelas ficam abertas ou fechadas?

IDER	☐ Sim	☐ Não
LENHA CONVENC.	☐ Sim	☐ Não
GÁS	☐ Sim	☐ Não

24) Durante o uso, há liberação de fumaça por parte do fogão?

IDER	☐ Sim	☐ Não
	☐	☐

LENHA CONVENC. ☐ Sim ☐ Não

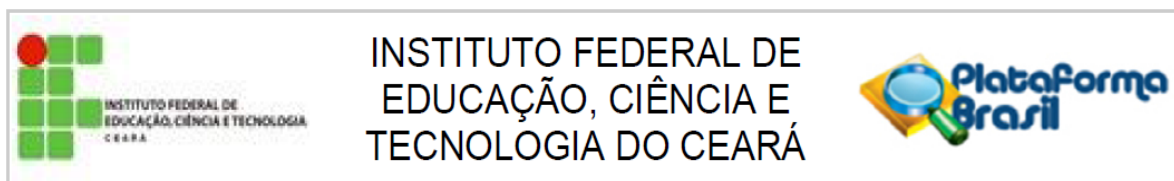
GÁS ☐ Sim ☐ Não

Se a pergunta anterior for positiva: comparado ao fogão a lenha existe mais liberação de fumaça?

IDER ☐ Sim ☐ Não

GÁS ☐ Sim ☐ Não

Anexo B – Comprovante de envio do projeto do trabalho para o comitê de ética em Pesquisa do IFCE disponível na plataforma Brasil.



COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DA QUEIMA DA BIOMASSA EM FOGÕES A LENHA, NO MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DO NORTE/CE.

Pesquisador: Arlene Maia de Araújo

Versão: 1

CAAE: 59671616.2.0000.5589

Instituição Proponente: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO CEARA

DADOS DO COMPROVANTE

Número do Comprovante: 091268/2016

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

Informamos que o projeto AVALIAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DA QUEIMA DA BIOMASSA EM FOGÕES A LENHA, NO MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DO NORTE/CE. que tem como pesquisador responsável Arlene Maia de Araújo, foi recebido para análise ética no CEP Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará em 08/09/2016 às 12:39.