



Luiz Felipe De Menezes Correia Da Silva

**Estudo da qualidade do ar no interior de
cozinhas que consomem lenha para
cocção em fogões tradicionais e em
fogões ecoeficientes.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Química da PUC-Rio. Aprovada pela
Comissão Examinadora abaixo

Orientadora: Prof. Adriana Gioda
Co-orientador: Dr. Alex De La Cruz

Rio de Janeiro,
Setembro de 2024.



Luiz Felipe De Menezes Correia Da Silva

**Estudo da qualidade do ar no interior de
cozinhas que consomem lenha para
cocção em fogões tradicionais e em
fogões ecoeficientes.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Química da PUC-Rio. Aprovada pela
Comissão Examinadora abaixo

Profª. Adriana Gioda

Orientadora
Departamento de Química – PUC-Rio

Profª. Sandra De Souza Hacon

FIOCRUZ

Profª. Samira da Guia Mello Portugal

UNIRIO

Rio de Janeiro, 20 Setembro de 2024.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução, total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e da orientadora.

Luiz Felipe De Menezes Correia Da Silva

Graduou-se em Química na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Possui experiência em: amostragem de material particulado, análise química de MP₁₀ e MP_{2,5}, análises por cromatografia iônica e espectrometria de massas;

Ficha Catalográfica

Silva, Luiz Felipe de Menezes Correia da

Estudo da qualidade do ar no interior de cozinhas que consomem lenha para cocção em fogões tradicionais e em fogões ecoeficientes / Luiz Felipe de Menezes Correia da Silva ; orientadora: Adriana Gioda ; coorientador: Alex Ruben H. De La Cruz . – 2024.

114 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química, 2024.

Inclui bibliografia

1. Química – Teses. 2. MP_{2,5}. 3. MP₁₀. 4. Lenha. 5. Fogão melhorado. 6. Poluição do ar doméstico. I. Gioda, Adriana. II. Huamán De La Cruz, Alex Ruben. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Química. IV. Título.

CDD: 540

Aos meus pais, Cristiane e Adair
Minhas irmãs, Rafaella, Ana Júlia e Ana Carolina
Meus avós, Waldete e Jayme.
À minha família.

Agradecimentos

A G.A.D.U .?.

Aos meus familiares por sempre apoiarem minhas decisões com amor e carinho.

A minha orientadora, prof. Adriana Gioda, pela orientação humanizada e contribuição para meu crescimento pessoal e profissional.

A Grande Loja Maçônica do Estado do Rio de Janeiro na figura da Loja Antônio Rodrigues Viera, nº136 pelo acolhimento, carinho e amor.

Aos meus Irmãos e Amigos pelo apoio moral e carinho durante essa jornada, especialmente Brener Antunes, Emanuelle Antunes, Vilma Nicotte, Teresa Branco e Rodrigo Paiva.

A comunidade Quilombola do Calolé pelo carinho e hospitalidade que nos recebeu durante o trabalho de campo.

Aos membros da banca examinadora, que prontamente aceitaram o convite.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos professores e técnicos do departamento de pós-graduação em Química da PUC-Rio e aos membros do LQA pela ajuda e disponibilidade de sempre.

À Petrobrás e ao Instituto Perene na figura do Guilherme Valladares pelo apoio financeiro e logístico.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Silva, Luiz Felipe de Menezes Correia da; Gioda, Adriana. **Estudo da qualidade do ar no interior de cozinhas que consomem lenha para cocção em fogões tradicionais e em fogões ecoeficientes.** Rio de Janeiro, 2024. 114p. Dissertação de mestrado – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O estudo avaliou a melhoria na qualidade do ar com a substituição do fogão a lenha tradicional por um modelo ecoeficiente. O monitoramento foi realizado em duas fases: em julho de 2022, durante o uso do fogão tradicional, e em julho de 2023, com o fogão ecoeficiente, ambos na comunidade quilombola do Calolé, Cachoeira, BA. Como comparação, residências com fogões a GLP em São Gonçalo também foram analisadas. Sensores em tempo real mediram poluentes como Material Particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}), Dióxido de Carbono (CO_2) e Formaldeído (HCHO), além de temperatura e umidade, com coleta adicional de $MP_{2,5}$ usando bomba de exposição. O material particulado apresentou maior variação entre os combustíveis. A troca para o fogão ecoeficiente reduziu significativamente a carga de poluentes nas cozinhas: $MP_{2,5}$ caiu de $138 \pm 216 \mu g m^{-3}$ para $45 \pm 154 \mu g m^{-3}$ e MP_{10} de $202 \pm 287 \mu g m^{-3}$ para $59 \pm 191 \mu g m^{-3}$. Também foram observadas reduções de CO_2 (477 ± 62 ppm para 443 ± 34 ppm) e HCHO ($0,004 \pm 0,004$ mg m^{-3} para $0,006 \pm 0,002$ mg m^{-3}). A análise química do material particulado indicou a presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). O consumo de lenha reduziu em até 52 % após a troca do fogão. As concentrações médias observadas para fogões a GLP foram ainda menores: $12 \pm 29 \mu g m^{-3}$ para $MP_{2,5}$, $18 \pm 41 \mu g m^{-3}$ para MP_{10} , 506 ± 125 ppm para CO_2 e $0,013 \pm 0,010$ mg m^{-3} para HCHO.

Palavras Chaves

Material particulado; Biomassa; Tecnologias de transição; Qualidade do ar

Abstract

Silva, Luiz Felipe de Menezes Correia da; Gioda, Adriana. **Study of indoor air quality in kitchens that use firewood for cooking on traditional stoves and eco-efficient stoves.** Rio de Janeiro, 2024. 114p. Dissertação de mestrado – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The study evaluated the improvement in air quality following the replacement of traditional firewood stoves with an eco-efficient model. Monitoring was conducted in two phases: in July 2022, during the use of traditional stoves, and in July 2023, with eco-efficient stoves, both in the Calolé quilombola community, Cachoeira, BA. As a comparison, households using LPG stoves in São Gonçalo were also analyzed. Real-time sensors measured pollutants such as Particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), Carbon Dioxide (CO_2), and Formaldehyde (HCHO), along with temperature and humidity, with additional $PM_{2.5}$ samples collected using an exposure pump. Particulate matter showed the greatest variation among the fuels. The shift to eco-efficient stoves significantly reduced pollutant loads in the monitored kitchens: $PM_{2.5}$ decreased from $138 \pm 216 \mu\text{g m}^{-3}$ to $45 \pm 154 \mu\text{g m}^{-3}$, and PM_{10} from $202 \pm 287 \mu\text{g m}^{-3}$ to $59 \pm 191 \mu\text{g m}^{-3}$. Reductions in CO_2 (from 477 ± 62 ppm to 443 ± 34 ppm) and HCHO (from $0.004 \pm 0.004 \text{ mg m}^{-3}$ to $0.006 \pm 0.002 \text{ mg m}^{-3}$) were also observed. Chemical analysis of the collected particulate matter indicated the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Firewood consumption decreased by 52 % following the stove replacement. The average concentrations for LPG stoves were even lower: $11.6 \pm 29 \mu\text{g m}^{-3}$ for $PM_{2.5}$, $18 \pm 41 \mu\text{g m}^{-3}$ for PM_{10} , 506 ± 125 ppm for CO_2 , and $0.013 \pm 0.01 \text{ mg m}^{-3}$ for HCHO.

Keywords

Particulate matter; Biomass; Transition technologies; Air quality

Sumário

1	17
Introdução	17
1.1	17
Uso da lenha no Brasil	17
1.1	21
Poluição do ar doméstica	21
1.2	25
Transição energética e Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)	25
1.3	33
Estudos no Brasil	33
1.4	37
Parceria com o Instituto Perene	37
2	40
Objetivo	40
2.1	40
Objetivo Geral	40
2.2	40
Objetivos Específicos	40
3	41
Parte experimental	41
3.1	41
Local de amostragem	41
3.2	42
Monitoramento	42
3.3	47
Análises Químicas	47
3.4	49
Dados socioeconômicos	49
3.5	50
Análises estatísticas	50
4	50
Resultados e discussão	50

4.2.1	50
Emissões da queima de lenha no fogão tradicional	50
4.2.2	64
Emissões da queima de lenha no fogão ecoeficiente	64
4.3	73
Emissões da queima de GLP	73
Comparação do fogão a lenha tradicional x fogão a lenha ecoeficiente	80
4.5	92
Questionários Socioeconômicos	92
4.6	96
Dificuldades e projeções	96
5	97
Conclusão	97
6.	103
Anexo I	103
Lista de interessados em participar do projeto	103
7.	104
Anexo II	104
Termo de consentimento	104

8.	106
Anexo III	106
Termo de compromisso para utilização de dados	106
9.	107
Anexo IV	107
Questionário	107
10.	109
Anexo V	109
Apresentações em congressos	109
Anexo VI	114

Lista de Figuras

- Figura 1. Série histórica dos principais combustíveis usados em residências. 18
- Figura 2. Consumo energético por fonte pelo setor residencial. Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (BEN,2024). 20
- Figura 3. Causas e consequências da poluição do ar doméstico. Fonte: *Global Centre for Clean Air Research, University of Surrey*. 23
- Figura 4. Resumo das ações recomendadas para melhorias na qualidade do ar doméstico. Fonte: *Global Centre for Clean Air Research, University of Surrey*. 24
- Figura 5. Região de estudo em Cachoeira, BA, Recôncavo Baiano. 42
- Figura 6. . a) Sensor TESTO para medidas em tempo real de CO₂, temperatura e umidade relativa do ar. b) Sensor TEMPTOP para medidas em tempo real de CO₂, formaldeído, MP₁₀, MP_{2,5}, temperatura e umidade relativa do ar. 43
- Figura 7. Exemplo de fogões tradicionais utilizados pela comunidade quilombola do Calolé (BA, 2022). Imagem dos autores. 46
- Figura 8. Exemplo de fogões ecológicos utilizados pela comunidade quilombola do Calolé (BA, 2023). Imagem dos autores. 46
- Figura 9. Fogão a GLP. Imagem dos autores. 47
- Figura 10. Bomba e filtro usados para a coleta de material particulado (MP_{2,5}). 48
- Figura 11. Perfil temporal da concentração de MP_{2,5} durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões tradicionais e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência (15 µg m⁻³) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021). 51
- Figura 12. Perfil temporal da concentração de MP₁₀ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões tradicionais e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência (45 µg m⁻³) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021). 52
- Figura 13. Perfil temporal da concentração de CO₂ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões tradicionais e lenha para cocção. 53
- Figura 14. Perfil temporal da concentração de HCHO durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões tradicionais e lenha para

cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência (100 $\mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).	54
Figura 15. Perfil temporal para temperatura no interior da cozinha durante a queima da lenha no fogão tradicional.	55
Figura 16. Perfil temporal para umidade relativa do ar no interior da cozinha durante a queima da lenha no fogão tradicional.	56
Figura 17. Concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) presentes nas amostras de $\text{MP}_{2,5}$ coletadas em filtros durante as 8 h de uso do fogão a lenha em cada residência.	61
Figura 18. Perfil temporal da concentração de $\text{MP}_{2,5}$ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões ecoeficientes e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência (15 $\mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).	65
Figura 19. Perfil temporal da concentração de MP_{10} durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões ecoeficientes e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência (45 $\mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).	66
Figura 20. Perfil temporal da concentração de CO_2 durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões ecoeficientes e lenha para cocção.	67
Figura 21. Perfil temporal da concentração de HCHO durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões ecoeficientes e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência (100 $\mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).	68
Figura 22. Perfil temporal para temperatura no interior da cozinha durante a queima da lenha no fogão ecoeficiente.	69
Figura 23. Perfil temporal para umidade relativa do ar no interior da cozinha durante a queima da lenha no fogão eficiente.	70
Figura 24. Perfil temporal da concentração de $\text{MP}_{2,5}$ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP). A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência (15 $\mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).	73

Figura 25. Perfil temporal da concentração de MP ₁₀ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP). A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência (45 µg m ⁻³) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).	74
Figura 26. Perfil temporal da concentração de CO ₂ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP).	75
Figura 27. Perfil temporal da concentração de HCHO durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP). A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência (100 µg m ⁻³) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).	76
Figura 28. Perfil temporal da temperatura interna durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP).	77
Figura 29. Perfil temporal da umidade relativa do ar durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP).	78
Figura 30. Concentração média e desvio padrão de MP _{2,5} para o fogão ecoeficiente e tradicional.	80
Figura 31. Concentração média e desvio padrão de MP ₁₀ para o fogão ecoeficiente e tradicional.	81
Figura 32. Concentração média e desvio padrão de CO ₂ para o fogão ecoeficiente e tradicional.	81
Figura 33. Concentração média e desvio padrão de HCHO para o fogão ecoeficiente e tradicional.	82
Figura 34. Boxplot das concentrações médias de MP _{2,5} para fogões ecoeficientes e tradicionais. As caixas representam o intervalo interquartil (IQR), a linha dentro de cada caixa indica a mediana, e os "whiskers" mostram a variação dos dados dentro de 1,5 vezes o IQR. Pontos fora dos "whiskers" são considerados outliers.	83
Figura 35. Boxplot das concentrações médias de MP ₁₀ para fogões ecoeficientes e tradicionais. As caixas mostram o intervalo interquartil (IQR), a linha dentro da caixa representa a mediana, e os "whiskers" indicam a variação	

dos dados dentro de 1,5 vezes o IQR. Outliers são exibidos como pontos fora dos "whiskers".	84
Figura 36. .Boxplot das concentrações médias de CO ₂ para fogões ecoeficientes e tradicionais. As caixas representam o intervalo interquartil (IQR), a linha dentro da caixa indica a mediana, e os "whiskers" mostram a variação dos dados dentro de 1,5 vezes o IQR. Outliers são destacados como pontos fora dos "whiskers"	85
Figura 37. Boxplot das concentrações médias de HCHO para fogões ecoeficientes e tradicionais. As caixas mostram o intervalo interquartil (IQR), a linha dentro da caixa indica a mediana, e os "whiskers" refletem a variação dos dados dentro de 1,5 vezes o IQR. Outliers são representados como pontos fora dos "whiskers"	86
Figura 38. Concentrações médias de MP _{2,5} conforme o tipo de fogão utilizado.	89
Figura 39. Concentrações médias de MP ₁₀ conforme o tipo de fogão utilizado.	89
Figura 40. Concentrações médias de CO ₂ conforme o tipo de fogão utilizado.	90
Figura 41. Concentrações médias de HCHO conforme o tipo de fogão utilizado.	90
Figura 42. Tipo de combustível utilizado pelas residências.	92
Figura 43. Combustíveis preferidos pelos entrevistados.	93
Figura 44. Grau de incômodo geral pelo fogão tradicional.	94
Figura 45. Relatos de crises alérgicas.	94
Figura 46. Grau de incômodo geral pelo fogão ecoeficiente.	95

Lista de Tabelas

Tabela 1: Relação entre o ODS e seu cumprimento através da implementação de cozinhas sustentáveis.	26
Tabela 2: Quadro de iniciativas de países latinos para transição energética do setor residencial Fonte: Organização Panamericana de Saúde, 2016.	30
Tabela 3: Compilado dos projetos de construção e manutenção de fogões ecoeficientes no Brasil.	34
Tabela 4:: Consumo de lenha e característica das residências da comunidade quilombola Calolé e Alto Calolé (BA, 2022) que utilizam o fogão	44
Tabela 5: Consumo de lenha e característica das residências da comunidade quilombola Calolé e Alto Calolé (BA, 2023) que utilizam o fogão ecológico.	45
Tabela 6: Concentrações médias e desvio padrão para MP _{2,5} , MP ₁₀ , CO ₂ e HCHO durante a queima da lenha no fogão tradicional.	59
Tabela 7: Relação entre HPAs e problemas a saúde reportados na literatura.	62
Tabela 8: Concentração média e desvio padrão para MP _{2,5} , MP ₁₀ , CO ₂ , e HCHO registradas durante a queima de lenha no fogão ecológico	71
Tabela 9: Concentrações médias e desvio padrão durante a queima de GLP em fogões modernos.	79
Tabela 10: Comparativo da concentração média e desvio padrão para MP _{2,5} , MP ₁₀ , CO ₂ e HCHO para os três tipos de fogão.	91

Siglas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COSV – Compostos Orgânicos Semivoláteis

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

HPA – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

ICP-MS – Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado)

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

LQA – Laboratório de Química Atmosférica

LD – Limite de Detecção

LQ – Limite de Quantificação

MP – Material Particulado

MP_{2,5} – Material Particulado de diâmetro até 2,5 µm

MP₁₀ – Material Particulado de diâmetro até 10 µm

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

1

Introdução

1.1

Uso da lenha no Brasil

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que cerca de 2,3 bilhões de pessoas no mundo ainda dependem exclusivamente de combustíveis sólidos (ex. lenha, restos de plantações, carvão, etc) para uso doméstico (WHO, 2023). A queima da lenha libera grande quantidade de poluentes no interior desses ambientes. O uso desse tipo combustível concentra-se principalmente nas zonas rurais de países em desenvolvimento da América do Sul e Central, assim como na Ásia e na África (OPAS, 2024).

Em termos de Brasil, ainda são escassos os estudos que traçam um perfil para o consumo de lenha pelo setor residencial. O consumo de lenha está relacionado a realidade econômica e cultural das famílias e hábitos alimentares (Gioda et al., 2019; Mazzone et al., 2023). Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), as regiões Norte e Nordeste são as que historicamente mais consomem no país (EPE, 2021). Em 2006, a EPE e o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) desenvolveram metodologias para quantificar o consumo de lenha pelo setor residencial no país, gerando dados para elaboração mais realista do

Balanço Energético Nacional (BEN), relatório anual publicado pelo MME que apresenta a oferta e o consumo de energia no país para diversos setores, inclusive o residencial. Na Figura 1 está representada a série histórica do consumo dos principais combustíveis de uso residencial desde 1970 (EPE, 2021)

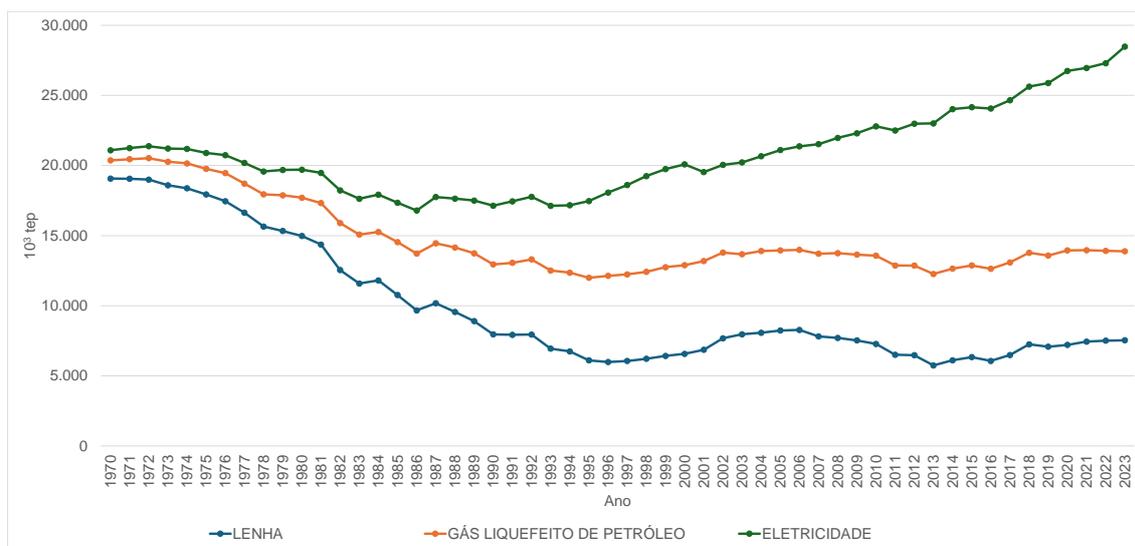


Figura 1. Série histórica dos principais combustíveis usados em residências.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (BEN, 2024).

A partir da década de 1970, o Brasil passou por um intenso processo de urbanização, com uma migração em massa da população rural para as áreas urbanas. Com o aumento da urbanização, muitas famílias, que antes dependiam da lenha como fonte de energia, passaram a utilizar fontes de energia mais acessíveis nas cidades, como o gás liquefeito de petróleo (GLP), conhecido como gás de cozinha, e a eletricidade.

Os últimos anos foram marcados pelo retorno ao uso da lenha nas residências brasileira, conforme veiculado por vários canais de comunicação do país, especialmente durante e pós pandemia. O aumento internacional do preço do petróleo e, conseqüentemente, do GLP somado a diminuição da renda nas

camadas mais pobres da sociedade colaboraram para essa realidade. Segundo dados do EPE, o Brasil registrou em 2022 o maior volume de lenha consumido para fins domésticos (como cocção, aquecimento, entre outros) desde o ano de 2009 (EPE,2023).

Em 2023, o consumo de lenha pelo setor residencial representou 25,0 % da participação como fonte energética frente 21,1 % do GLP. A lenha passou a ser a segunda fonte de energia mais utilizada nos domicílios brasileiros, atrás apenas da eletricidade (48,4 %) (BEN, 2024) (Figura 2). Destaca-se que a lenha é usada para cocção enquanto a eletricidade tem vários outros fins.

No ano de 2023 o consumo de energia foi equivalente a 30,1 MTep, isto significa um aumento de 4 % em relação a 2022. Os consumos residenciais de eletricidade, lenha, gás natural e energia solar térmica foram maiores comparados ao ano de 2022, enquanto o consumo de GLP apresentou um recuo de 0,9 % (Figura 2). Nesse mesmo ano, o volume de lenha consumido pelo setor residencial teve um acréscimo de 0,3 % comparado ao ano anterior (BEN, 2024). Isso significa que o consumo de combustíveis sólidos persiste como uma fonte de energia significativa na matriz energética residencial do país, representando índices de consumo permanentemente superiores quando comparados a combustíveis mais limpos como o GLP.

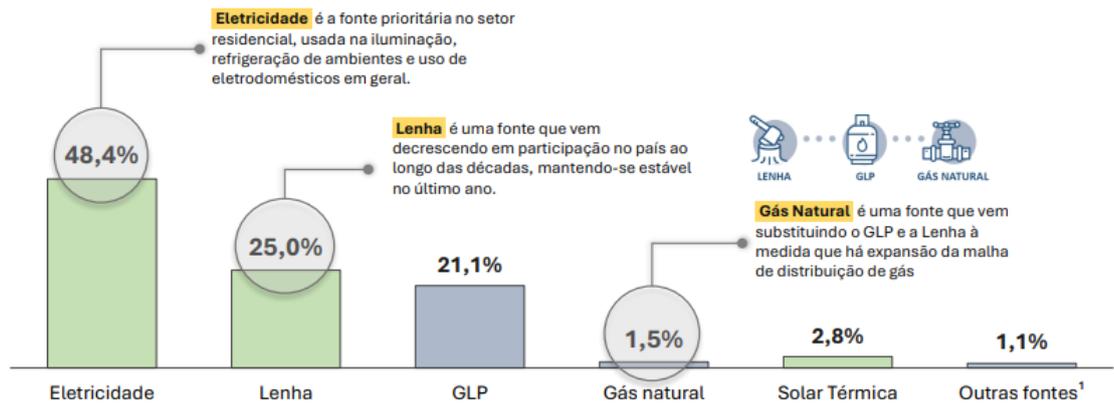


Figura 2. Consumo energético por fonte pelo setor residencial.
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (BEN,2024).

Os dados revelam o uso contínuo da lenha para as atividades domésticas (aquecimento, cocção, iluminação) nos lares brasileiros, principalmente nas áreas rurais do país. Nesse contexto, quando a lenha é utilizada para cocção, normalmente é queimada em fogões rústicos e pouco eficientes contribuindo para poluição do ar doméstico. Dessa maneira, ao longo dos anos, mais famílias estão submetidas ao fenômeno de pobreza energética, que é quando os indivíduos não são capazes de suprir suas demandas básicas de energia.

1.1

Poluição do ar doméstica

A OMS define a poluição do ar doméstica como a presença de poluentes gerados pelo uso de combustíveis e tecnologias ineficientes e poluentes dentro e ao redor das residências. A qualidade do ar nas cozinhas domésticas é influenciada por diversos fatores, incluindo o tipo de combustível utilizado, a estrutura do fogão, o tipo de alimento preparado e as características estruturais do ambiente, como o tamanho da cozinha e os sistemas de ventilação disponíveis.

A dependência de fogões ineficientes que utilizam combustíveis sólidos (ex. lenha, carvão, resíduos agrícolas, esterco) em residências mal ventiladas e sem sistemas de exaustão geram uma carga elevada de poluentes. Em muitas partes do mundo, especialmente em regiões rurais e em comunidades de baixa renda, esses combustíveis são amplamente utilizados devido à sua disponibilidade e custo relativamente baixo (Ramya et al., 2021) submetendo diversas pessoas a esse tipo de poluição.

Cozinhar por longos períodos utilizando combustíveis sólidos em fogões pouco eficientes expõe as pessoas a diversos poluentes prejudicando sua saúde. Isso porque a queima ineficiente de lenha emite partículas inaláveis, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), compostos orgânicos voláteis (COV, formaldeído, por exemplo) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). Nesse cenário, o material particulado (MP) merece destaque pelo fato de possuir diversos tamanhos e composição química variada e alta toxicidade. Para fins de estudo e legislação, o MP é classificado em função do seu tamanho aerodinâmico em partículas com diâmetros de até 10 µm (MP₁₀) e

partículas com até 2,5 µm (MP_{2,5}). Diversos estudos chamam atenção para o aumento significativos da concentração de material particulado no interior de cozinhas que utilizam combustíveis sólidos para o preparo de refeições (Alexandra et. al. 2019; Suresh et. al. 2022). Associado ao MP estão alguns HPA altamente cancerígenos, como o benzopireno (Weinstein et al., 2020; INCA, 2021).

Devido a carga elevada de poluentes no ar desses ambientes, cerca de 3,2 milhões de indivíduos morrem prematuramente todo ano (WHO, 2022). Os danos gerados a saúde dos indivíduos devido a esse tipo poluição dependem de indicativos como idade, sexo, tempo de exposição, tipo de fogão e combustível utilizado. A prevalência de mortalidade se deve a doenças cardíacas (32 %), infecções respiratórias (21 %), acidente vascular cerebral (AVC, 23 %), doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC, 19 %) e câncer no pulmão (6 %) (WHO 2022). Os efeitos da poluição do ar doméstica sobre a saúde são profundos e afetam, de forma desproporcional, mulheres e crianças, que passam mais tempo em casa.

A maioria dos estudos e diretrizes sobre qualidade do ar interno concentra-se nos ambientes coletivos, como escolas e hospitais (EPA, 2019; Kumaret al., 2020; IAQM, 2021). Outros estudos fornecem folhetos informativos sobre a qualidade do ar nas cozinhas, como o guia elaborado pelo Centro Global para Pesquisa do Ar Limpo focado na mitigação da exposição às emissões decorrente de práticas poluentes para cocção. A Figura 3 traz resumidamente a dinâmica da prática do cozimento não saudável, que compõe um guia para ocupantes domésticos, construtores e conselhos locais construído pela Universidade de Surrey para mitigação das emissões oriundas do preparo de

alimentos em domicílios de baixa e média renda.



Figura 3. Causas e consequências da poluição do ar doméstico.

Fonte: *Global Centre for Clean Air Research, University of Surrey.*

As principais medidas para melhorias na qualidade do ar doméstico envolve atores em diversas frentes, tais como os consumidores, o poder público e a academia (Kumar et al., 2020). As medidas vão das mais simples, como aberturas de portas e janelas durante o cozimento e instalação de sistemas de exaustão até intervenções mais complexas como na substituição dos fogões e subsídios para compra de combustíveis limpos, como o GLP (McCredidin et al., 2013; Han e Kosonen, , 2019; Sidhu et al., 2017). A Figura 4 resume uma série de intervenções possíveis a fim de ampliar o acesso a formas de cozinha mais limpas.



Figura 4. Resumo das ações recomendadas para melhorias na qualidade do ar doméstico.

Fonte: *Global Centre for Clean Air Research, University of Surrey.*

No Brasil, no entanto, não há documentação normativa relacionada a qualidade do ar doméstico e poucos estudos dedicam-se a compreender esse fenômeno. Existe o Plano Clima Participativo elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (2023) que tem como um dos principais objetivos mitigar as emissões brasileiras de gases de efeito estufa (GEE) e os compromissos firmados pelo governo brasileiro com o cumprimento das agendas internacionais para desenvolvimento sustentável. Porém, nos últimos anos, pouco foi feito para cumprimento desses objetivos, principalmente no contexto do consumo de energia pelo setor residencial.

O *VII Relatório Luz da Sociedade Civil sobre a Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável*, elaborado pelo Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030, destaca os desafios enfrentados pelo Brasil na implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Este relatório evidencia o papel retardatário do consumo de lenha para fins domésticos, ressaltando como essa prática dificulta a transição energética no país. Além disso, o relatório chama a atenção para o limitado progresso do Brasil

em diversas metas da Agenda 2030, sublinhando a necessidade de mudanças profundas nas políticas públicas e no paradigma energético nacional (GT Agenda, 2030).

1.2

Transição energética e Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A transição energética, que visa substituir fontes de energia não renováveis e poluentes por alternativas mais limpas e sustentáveis, está intrinsecamente ligada aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no contexto do uso de lenha como combustível pelo setor residencial. Isso porque o consumo desse tipo de combustível é responsável por diversos impactos negativos a saúde e bem-estar das pessoas e, também, ao meio ambiente.

O uso da lenha é uma prática comum em muitas regiões, principalmente em países em desenvolvimento da América Latina e Caribe, mas seu impacto ambiental e na saúde humana é significativo. A queima de lenha contribui para o desmatamento, a degradação do solo e a emissão de gases de efeito estufa, além de ser uma fonte importante de poluição do ar doméstica, o que afeta negativamente a saúde das populações.

A transição para fontes de energia mais limpas, como energia solar, eólica ou biogás e o aperfeiçoamento dos fogões pode ajudar a atingir vários ODS. A Tabela 1 evidencia a maneira como o aperfeiçoamento dessas tecnologias pode contribuir para o alcance das metas e objetivos da agenda global para o desenvolvimento sustentável.

Tabela 1. Relação entre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e seu cumprimento através da implementação de cozinhas sustentáveis.

Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS)	Impactos da cozinha limpa
ODS 1 – Erradicação da pobreza	Projetos que visam fornecer fontes modernas de energia através de cozinhas melhoradas resultam em economia significativa de tempo e dinheiro, que pode ser utilizado para desenvolvimento pessoal.
ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável	A cozinha limpa pode melhorar a segurança alimentar liberando tempo e dinheiro que pode ser utilizado para obtenção de alimentos mais nutritivos.
ODS 3 – Saúde e Bem-estar	Diversos estudos associam o uso de combustíveis sólidos a efeitos adversos a saúde. O aperfeiçoamento do fogão utilizado resulta na menor emissão de partículas inaláveis e compostos tóxicos. Além de diminuir o risco de queimaduras acidentais em mulheres e crianças devido a câmara de combustão fechada e a base fixa.
ODS 4 – Educação de qualidade	A substituição do fogão demanda qualificação de pessoal técnico e de

	<p>campo responsável pela instalação e manutenção dos fogões melhorados.</p> <p>Além disso, tecnologias mais eficientes resultam na menor necessidade de tempo para obtenção do combustível e preparo dos alimentos, que pode ser utilizado para atividades educacionais das crianças e mulheres.</p>
<p>ODS 5 – Igualdade de gênero</p>	<p>Na maior parte das casas que consomem lenha as mulheres são responsáveis por cozinhar e adquirir o combustível. Isso dificulta esse público a realizar atividades de maior valor e, nesse sentido, contribui para desigualdade de gênero. Com alternativas mais eficientes, a exposição seria menor, seria exigido menos tempo para cozinhar e menos viagem para buscar lenha. Esse tempo poderia ser utilizado em atividades produtivas e educacionais.</p>
<p>ODS 7 – Energia limpa e acessível</p>	<p>A introdução de tecnologias mais eficientes para cocção diminui ou substitui a lenha consumida por</p>

	refeição garantindo melhor aproveitamento energético para o setor residencial.
ODS 8 – Trabalho decente e crescimento econômico.	A implementação dos fogões melhorados requer uma cadeia de produção que cria oportunidades de empregos local em diferentes estágios da produção.
ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima.	O setor residencial contribui significativamente para as emissões de gases do efeito estufa (GEE). A substituição da tecnologia utilizada para cocção resulta em menor volume de biomassa consumido pelas residências e, conseqüentemente, menores taxas de emissão.
ODS 15 – Vida Terrestre	A lenha utilizada para cocção normalmente é obtida nas matas nativas da região contribuindo para o desmatamento e degradação do solo. A melhoria na eficiência do fogão significa menor demanda por biomassa e melhor aproveitamento dos recursos naturais.

Nesse cenário, chama atenção as negligências desses ODS e metas a partir do consumo desse tipo de combustível em fogões rudimentares pois o uso da lenha está diretamente relacionado com a incapacidade das famílias em manter financeiramente suas necessidades energéticas básicas de forma sustentável, como o preparo dos alimentos, aquecimento e iluminação.

As políticas públicas no país têm buscado alternativas para garantir a acessibilidade tanto ao GLP (Ex. Auxílio Gás e Bolsa Família) quanto para a energia elétrica (Tarifa Social de Energia Elétrica e Luz para Todos), ambas as formas de energia estão disponíveis em quase 100 % dos lares. Porém, não significa que todos têm pleno acesso uma vez que os custos afetam a obtenção desses serviços. Sem reduzir as desigualdades sociais dificilmente será reduzida a pobreza energética. Além disso, para regiões mais distantes dos centros urbanos o transporte e distribuição do combustível termina por encarecer o preço do GLP estimulando o consumo de lenha nesse grupo.

Diversos estudos na América Latina avaliaram os benefícios gerados pelo melhoramento dos fogões utilizados para cocção em residências de famílias mais pobres (Pachauri et al., 2018). A transição de fogões rudimentares para fogões ecológicos tem vantagens como aumento da renda familiar pela economia de combustível, empoderamento da mulher e diminuição no tempo de preparo dos alimentos.

A Tabela 2 resume as principais iniciativas de transição para fontes de energia menos poluentes pelo setor residencial em diversos países da América Latina, evidenciando a preocupação constante de atores internacionais sobre o assunto. Esses dados foram obtidos da Organização Panamericana de Saúde

(PAHO,2016) e servem de modelo para países como o Brasil que avançou pouco no tema nos últimos anos.

Tabela 2. Iniciativas de países latinos para transição energética do setor residencial

Fonte: Organização Panamericana de Saúde, 2016.

País	Iniciativas
Peru	<ul style="list-style-type: none">- Lei 29. 852 de 2012 instituiu o Fundo Social de Inclusão Energética (FISE) objetivando promover infraestruturas necessárias a segurança do sistema energético e garantir acesso universal a energia.- O programa “<i>Por um Peru sin humo</i>” distribuiu diversas unidades do fogão melhorado Inkawasi no país.- O governo peruano conta com laboratório de certificação para fogões a lenha aperfeiçoados que medem a eficiência e quantifica as emissões dessas tecnológicas segundo protocolos nacionais e estaduais.

<p style="text-align: center;">Chile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - - Estratégia do Ministério do Meio Ambiente para mitigar os prejuízos causados pelo hábito da queima de biomassa sustenta-se em quatro pilares: I) reduzir as emissões através da substituição de aquecedores ineficientes por versões mais modernas; II) melhorar a qualidade da lenha comercializada; III) melhorar o isolamento térmico das casas e IV) conscientizar a comunidade sobre os impactos gerados pela poluição do ar. - Rotulagem da lenha comercializada de forma sustentável e programas de certificação (Vásquez Lavin et al., 2020; Schueftan et al., 2016).
<p style="text-align: center;">Bolívia</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Programa “Cozinhas para uma vida melhor; 100.000 lares sem fumaça; - Aproximadamente 82 mil famílias e 2,5 mil escolas já foram beneficiadas com o fogão do tipo Malena; - Capacitação de cerca de 800 instaladores locais; - <i>Centro de Pruebas de Cocinas (CPC)</i>, que realiza pesquisas aplicadas ao desenvolvimento de protocolos teste para

	<p>certificação dos fogões melhorados de acordo com as normas do país, além de oferecer assessoria técnica a projetos e instituições dedicadas a construção e divulgação de fogões melhorados</p>
<p>Colômbia</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ministério do Meio Ambiente traçou uma meta de substituir um milhão de fogões a lenha tradicionais utilizados por famílias de área rural por versões mais eficientes, beneficiando 4 milhões de colombianos. - Modelos distribuídos: Estufas leñeras eficientes, Huellas, Lorena, Dos Puestos, Rocket, Híbrido triangular, Híbrido lineal, Triangular con bloques refractarios, Riscaleña, Ecoestuga Catalán, Ecoestufa, Cocinas de Fundación Natura.
<p>El Salvador</p>	<p>- Substituição do fogão pela versão melhorada <i>Ecocina</i> garantiu a redução em 50 % do volume de biomassa consumido e diminuição em cerca de 70 % da carga de poluentes emitidos</p>

El Salvador é considerado o país mais inovador da região latino-americana no tocante a programas de fogões melhorados para queima de lenha. Nesse caso, os fogões melhorados ainda passaram por adaptações para atender as demandas regionais, como a construção de fornos para o preparo de tortilhas e panquecas se mostrando um nicho de mercado bem explorado pelo público feminino e colaborando para geração de empregos e renda.

Importante destacar, no entanto, que a maior eficiência dos fogões melhorados depende do uso correto e manutenção constante e, nesse sentido, se faz imperativo a educação básica dos consumidores ao receber a nova tecnologia. Um estudo realizado no México avaliou a continuidade do uso do fogão melhorado *Patsari* na região de Michoacan, foi observado que após o período de vida útil do fogão (4 anos) mais da metade dos beneficiados deixaram de usar o fogão. Isso sugere que, assim como qualquer tecnologia, o fogão melhorado demanda manutenção e aperfeiçoamento constante a fim de maior sucesso na implementação e uso contínuo.

1.3

Estudos no Brasil

No Brasil poucos estudos dedicam-se ao consumo de lenha pelo setor residencial, as principais pesquisas se concentram nas regiões rurais do Norte, Nordeste e Sul com destaque para o semiárido brasileiro (Borges, 1994; Sgarbi, 2013; Chaves, 2016; Coelho et al., 2018; Gioda, 2018). Os estudos mais recentes avaliaram a pegada de carbono deixada pelo consumo de combustíveis sólidos e as emissões de gases do efeito estufa (GEE) oriundos dessa prática.

Outros trabalhos se concentram nos agravos a saúde gerados pela exposição aos poluentes resultantes da queima de lenha para fins domésticos.

Poucos estudos avaliaram os benefícios gerados pela substituição da tecnologia utilizada para queimar a lenha. Os estudos que existem restringem-se a avaliar questionários socioeconômicos aplicados após o aperfeiçoamento do fogão (Barreto et al., 2016). Esses trabalhos pautaram-se estritamente na diminuição do consumo de lenha e na carga de fumaça eliminada pelos fogões melhorados. A Tabela 3 apresenta os principais modelos de fogão ecoeficientes utilizados no país. Esses modelos substituíram as versões menos eficientes do fogão a lenha tradicional, estruturados com câmaras de combustão bem isoladas e chaminés para exaustão de fumaça. Os fogões ecoeficientes possibilitam menor consumo de lenha e menor acúmulo de fumaça no interior das cozinhas.

Tabela 3. Compilado dos projetos de construção e manutenção de fogões ecoeficientes no Brasil.

Tecnologia de Transição	Implementador	Projeto	Características	Período de realização
Estufa de biogás – Piauí	Care (ACCENTURE DEVELOPMENT PARTNERSHIPS, 2011)	Projeto Energia do Produtor	Biodigestão de dejetos de animais para produção de biogás.	2010

<p>Fogões Agroecológicos – Piauí e Pernambuco</p>	<p>ONG Caatinga (Caatinga, 2016)</p>	<p>Fogões do Araripe: eficiência energética na propriedade familiar</p>	<p>Construção de fogões agroecológicos através da capacitação de colaboradores locais</p>	<p>2012</p>
<p>Fogões Geoagroecológicos – Mesorregião do Xingu</p>	<p>ONG Agendha (Agendha, 2016)</p>	<p>Fogões Geoagroecológicos = Lenha – CO₂ + O₂ + H₂O + Vida</p>	<p>Construção de fogões agroecológicos em comunidades rurais financiado pela Caixa Econômica Federal</p>	<p>2015</p>
<p>Fogões ecoeficientes em áreas suscetíveis à desertificação – Piauí, Ceará e Pernambuco.</p>	<p>Prolenha (PROLENHA, 2015)</p>	<p>Estudo para a formulação de estratégias do fomento aos fogões eficientes no Semiárido</p>	<p>Estudo orientado para avaliação da comunidade sobre o uso de diversos fogões melhorados</p>	<p>2015</p>

Fogões ecológicos – Ceará	IDER e Governo do Ceará (SGARBI, 2013; GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2017)	Fogões ecoeficientes / Programa de Fogões Sustentáveis	Substituição de fogões rústicos por versões melhoradas construídas com chapas de aço ou alvenaria.	2015-2017
Fogões eficientes – Bahia	Instituto Perene (AMBIENTAL PV, 2014)	Programa Recôncavo Sustentável / Fogão do mar	Substituição de fogões ineficientes por versão melhorada denominada fogão ecoeficiente.	2011-2014 2015-2017 2018-2022

Apesar da difusão dos fogões ecoeficientes nos últimos anos, não há estudos no país que avaliem de forma rigorosa através de monitoramento em tempo real a diminuição na carga de poluentes emitidos pela queima da lenha após a substituição de um fogão tradicional. Também não há estudos na literatura que acompanhe a adoção efetiva do fogão melhorado pelas famílias brasileiras após a substituição da versão tradicional. Nesse viés, o presente estudo em parceria com o Instituto Perene buscou avaliar a melhoria na

qualidade do ar doméstico causada pela intervenção direta no fogão utilizado para cocção e, também, a adoção dessa tecnologia no contexto de uma comunidade quilombola localizada no Recôncavo Baiano.

1.4

Parceria com o Instituto Perene

O consumo *per capita* de combustíveis tradicionais nas áreas rurais varia significativamente, dependendo da eficiência dos fogões e do tipo de combustível utilizado. O consumo de lenha ou de resíduos agrícolas na preparação de refeições varia, diariamente, entre 11,5 a 49 MJ *per capita* (WEC, 1999). Por outro lado, em residências que empregam combustíveis modernos, fogões de alta eficiência com preparação de refeições leves, o consumo de energia útil *per capita* para cocção gira em torno de 2-3 MJ por dia (WEC, 1999). O consumo de energia também depende do tipo de alimentos e do número de refeições preparadas diariamente (WEC, 1999). Já o fogão tradicional a lenha consome aproximadamente 4 a 5 vezes mais energia do que o fogão a querosene e a GLP.

O alto índice de mortalidade causado pela queima de combustíveis sólidos tem chamado à atenção das autoridades de saúde mundiais, como no caso da OMS. Iniciativas governamentais e não governamentais têm sido criadas visando solucionar tal problema. No Brasil temos o exemplo do Instituto Perene, que desde 2008 implementa o programa Fogões Ecoeficientes no Recôncavo Baiano. O programa substitui o fogão a lenha tradicional pelo modelo eficiente “Rocketstove”, reduzindo o consumo de lenha e a emissão de gases de efeito estufa em torno de 50 % (Gold Standard Foundation, 2015).

Estudos demonstram que o processo de transição energética é complexo e relacionado não somente a fatores econômicos, como questões políticas, sociais e culturais como estabilidades de regimes democráticos, população rural, densidade demográfica, taxa de desemprego entre outros. Nesse sentido, os programas de transição são uma alternativa até chegar à energia limpa. Por isso, se faz urgente pesquisas e estudos que avaliem o espectro do consumo energético residencial no Brasil, respeitando as singularidades das regiões e comunidades a fim de desenvolver políticas públicas eficazes para transição energética no país. Nesse viés, conhecer o perfil dos lares onde os combustíveis sólidos ainda são utilizados como fonte de energia é fundamental para elaboração de planos de intervenção e políticas públicas direcionadas ao processo de transição energética, que é uma agenda global de desenvolvimento sustentável.

O presente estudo é imperativo à medida que fornece dados de consumo e perfil socioeconômico do uso da lenha para fins domésticos em comunidades quilombolas, respeitando e evidenciando suas matrizes e singularidades. Além de divulgar e incentivar a utilização de tecnologias mais eficientes para obtenção de energia pelo setor residencial, mantendo, concomitantemente a isso, as tradições e costumes desse grupo.

Essas análises são fundamentais para elaboração de planos de transição energética no Brasil para o setor residencial que respeite as peculiaridades de cada região e de cada comunidade. Por fim, destaca-se as consequências indiretas do consumo de lenha como a insegurança alimentar, a diminuição da qualidade de vida, má gestão de recursos, sobrecarga dos sistemas públicos de saúde, diminuição da produtividade humana, diminuição no tempo dedicado a

educação dos indivíduos e aumento das desigualdades - ceifando direitos fundamentais e distanciando o país das metas e objetivos a serem alcançadas até 2030.

O Laboratório de Química Atmosférica da PUC-Rio (LQA/PUC-Rio) é um dos poucos grupos que estuda o uso da lenha no Brasil. Os estudos até agora desenvolvidos envolveram, principalmente, dados secundários. Um dos estudos avaliou o impacto dos combustíveis mais utilizados na cocção no Brasil no aquecimento global (Gioda, 2018). Em outros estudos foram obtidos os índices de produção, consumo e origem da lenha, estimado o consumo *per capita* e avaliado o impacto social (Gioda 2019a, Gioda 2019b). A outra pesquisa aborda os estudos na saúde realizados no Brasil (Gioda et al., 2019).

Com base nessa experiência o LQA e o Instituto Perene firmaram em 2018 um acordo de cooperação técnica. Este acordo teve como objetivo ampliar o conhecimento técnico-científico sobre poluição do ambiente interno decorrente da queima ineficiente de lenha no Brasil e tecnologias melhoradas para cocção domiciliar e usos produtivos. Como parte desse acordo, foi executado o Projeto FOGÃO DO MAR, no âmbito do Programa Petrobrás Socioambiental, que tem como objetivo o desenvolvimento de tecnologias melhoradas para cocção domiciliar. O projeto foi desenvolvido com famílias do Recôncavo Baiano, Bahia. Em um primeiro momento, foi estimado o consumo de lenha usada pelas famílias da região (Gioda et al., 2022). Em uma segunda etapa, foi desenvolvido esse trabalho de dissertação focando na avaliação da poluição do ar em cozinhas destas comunidades baianas.

2

Objetivo

2.1

Objetivo Geral

Este estudo teve como objetivo avaliar a melhoria na qualidade do ar doméstico devido a substituição de fogões a lenha pouco eficientes (fogão tradicional) por uma versão aperfeiçoada (fogão ecoeficiente).

2.2

Objetivos Específicos

- Determinar o consumo médio de lenha por residência durante o uso do fogão tradicional e após a substituição pelo fogão ecoeficiente;
- Monitorar os poluentes gerados durante a queima de lenha tanto no fogão tradicional quanto no fogão ecoeficiente usando sensores portáteis;
- Determinar os níveis de HPA presente no material particulado (MP_{2,5}) coletado durante a queima da lenha no fogão tradicional através da técnica de cromatografia em fase gasosa acoplada ao espectrômetro de massas (CG/EM);
- Comparar os níveis de poluentes com os sugeridos pela OMS para entender os possíveis impactos na saúde das pessoas expostas, com foco nas mulheres e crianças;
- Comparar os níveis de poluentes com os gerados pelo uso de GLP;
- Utilizar modelos e ferramentas estatísticas para avaliar as diferenças e similaridades entre os níveis encontrados para os dois tipos de fogões;
- Avaliar o perfil socioeconômico dos moradores.

3 .

Parte experimental

Neste capítulo será evidenciada a área de estudo e a apresentação da comunidade quilombola do Calolé e os tipos de fogão utilizados nas residências. Também serão apresentados os sensores de monitoramento utilizados e as análises químicas realizadas. Serão apontados ainda os testes estatísticos utilizados e as principais metodologias de busca.

3.1

Local de amostragem

A área de estudo foi a do entorno da Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape (RESEX) localizada na porção centro-leste do estado da Bahia. A comunidade escolhida foi a do Quilombo do Calolé (Figura 5) por ainda utilizar fogões construídos de maneira rudimentar para a queima de lenha. A comunidade quilombola Calolé está localizada na zona rural do município de Cachoeira, BA, e faz parte dos quilombos da Cabia e Vale do Iguape (Oliveira, 2020). Devido ao seu relevo, ela é dividida pelos moradores em dois subgrupos: o Alto do Calolé e o Calolé.

A agricultura familiar é a principal fonte de renda do quilombo. A comunidade cultiva mandioca, aipim, mangalô, feijão de corda, abóbora, batata, feijão, milho, quiabo, jenipapo, cajá, jaca, banana e hortaliças. Os quilombolas também realizam atividades de pesca e trabalham no extrativismo de ostra, sururu, siri e caranguejo. Todos esses produtos, além de serem consumidos pela

própria comunidade, são comercializados nos municípios vizinhos (Oliveira, 2020). A energia elétrica e o abastecimento de água potável foram disponibilizados em 2005.



Figura 5. Região de estudo em Cachoeira, BA, Recôncavo Baiano.

Os dados de GLP foram coletados no município de São Gonçalo, no estado do Rio de Janeiro. As residências monitoradas fazem parte de um conjunto habitacional formado por diversas residências estruturadas de forma similar (dois quartos, sala, cozinha e banheiro) com aproximadamente 100 m² e cozinha com 40 m². Esses dados serviram apenas como parâmetro de comparação para combustível limpo, uma vez que o foco principal desse estudo é a queima da lenha.

3.2

Monitoramento

A amostragem ficou definida em 8 h por dia, entre 8 h e 16 h, pois é o período em que o fogo permaneceu aceso e o ocupante ficou exposto a maior carga de poluentes. Tão logo o fogo foi aceso pela manhã, deu-se início a coleta de dados e às medidas de qualidade do ar. As portas e janelas ficaram abertas durante toda a coleta.

A primeira fase do monitoramento aconteceu durante o mês de julho de 2022 e a segunda fase aconteceu em julho de 2023. Cinco das oito casas

monitoradas foram as mesmas nas duas fases do estudo. Outros três núcleos familiares foram substituídos na segunda fase devido à indisponibilidade dos moradores. No entanto, buscou-se preservar as principais características daquelas casas da primeira fase, como localização do fogão (interno ou externo), número de moradores e hábitos alimentares.

O sensor TESTO 440 mediu em tempo real a cada 1 minuto as concentrações de CO₂, temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR). Esse modelo funciona conectado via *bluetooth* (Figura 6a). O sensor TEMTOP M2000 mediu em tempo real as concentrações de formaldeído, MP_{2,5}, MP₁₀, além de também medir as concentrações de CO₂, T e UR a cada 1 minuto (Figura 6b).



Figura 6. . a) Sensor TESTO para medidas em tempo real de CO₂, temperatura e umidade relativa do ar. b) Sensor TEMPTOP para medidas em tempo real de CO₂, formaldeído, MP₁₀, MP_{2,5}, temperatura e umidade relativa do ar.

O sensor TESTO 440 mede CO₂ na faixa de 0 a 10.000 ppm, com precisão de ± 50 ppm (+2 % do valor medido), temperatura entre -20 e +60 °C, com precisão de $\pm 0,5$ °C, e umidade de 0 a 100 % UR, com precisão de ± 2 % UR. Já o sensor Temtop M2000 apresenta uma faixa de medição de CO₂ de 0 a 1.000 ppm, com precisão de ± 50 ppm (+5 % do valor medido), além de medir MP₁₀ e MP_{2,5} de 0 a 999 $\mu\text{g m}^{-3}$, com precisão de ± 10 $\mu\text{g m}^{-3}$ (0-100 $\mu\text{g m}^{-3}$) e ± 10 % (100-500 $\mu\text{g m}^{-3}$). O HCHO é medido de 0 a 1,999 mg m^{-3} , com precisão

de $\pm 5\%$, e a temperatura varia de -20 a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, com precisão de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto a umidade é medida de 0 a 99,9 % UR, com precisão de $\pm 2\%$ UR.

A amostragem aconteceu em três etapas, a saber: 1º) medições com os sensores instalados nas cozinhas que utilizavam o fogão tradicional, 2º) medição com os sensores instalados nas cozinhas que utilizavam o fogão de transição (ecoeficiente), 3º) medição em residências que utilizam fogão a gás (GLP). A amostragem foi acompanhada pelo pesquisador para anotar as observações do entorno para serem usadas na interpretação dos resultados.

De início foram coletadas as informações acerca da quantidade de lenha consumida, número de residentes, características das residências e localização da fonte poluidora, o fogão (interno ou externo). Essas informações estão descritas nas Tabelas 4 e 5 para os fogões tradicional e ecoeficiente, respectivamente.

Tabela 4. Consumo de lenha e características das residências da comunidade quilombola Calolé e Alto Calolé (BA, 2022) que utilizam o fogão tradicional.

Casa	Cozinha	Quantidade de lenha utilizada no dia (kg)	Número de ocupantes	Características da casa
1	Externa	17,1	4	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos e bem arejada.
2	Interna	12,4	2	Parede de tijolos sem laje, 7 cômodos, pouco arejada; Fogão com chaminé
3	Interna	15,3	1	Parede de tijolos sem laje, 6 cômodos e pouco arejada; Fogão com chaminé.
4	Interna	9	4	Parede de tijolos sem laje, 6 cômodos e pouco arejada;
5	Interna	5,5	5	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos e pouco arejada.

6	Externa	14	3	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos e pouco arejada.
7	Externa	12	8	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos e bem arejada.
8	Externa	17	4	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos e bem arejada.

Tabela 5. Consumo de lenha e características das residências da comunidade quilombola Calolé e Alto Calolé (BA, 2023) que utilizam o fogão ecoeficiente.

Casa	Cozinha	Quantidade de lenha utilizada no dia (kg)	Número de ocupantes	Características da casa
1	Interna	6,2	5	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos e bem arejada.
2	Interna	5,9	3	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos, bem arejada; Fogão com chaminé
3	Interna	6,8	5	Parede de tijolos sem laje, 6 cômodos e pouco arejada; Fogão com chaminé.
4	Interna	7,1	5	Parede de tijolos sem laje, 6 cômodos e pouco arejada;
5	Interna	6,3	4	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos e pouco arejada.
6	Externa	6,1	5	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos e pouco arejada.
7	Externa	4,8	8	Parede de tijolos sem laje, 5 cômodos e bem arejada.

As Figuras 7, 8 e 9 exemplificam os fogões usados no estudo: tradicional (rudimentar), construídos muitas vezes de forma improvisada, com tijolos e concreto com ou sem chaminés; fogões ecoeficientes (transição) construído pelo Instituto Perene com material isolante e chaminés alongadas a fim de proporcionar melhor queima do combustível e diminuir a emissão de poluentes; e fogões a GLP (moderno).



Figura 7. Exemplo de fogões tradicionais utilizados pela comunidade quilombola do Calolé (BA, 2022). Imagem dos autores.



Figura 8. Exemplo de fogões ecológicos utilizados pela comunidade quilombola do Calolé (BA, 2023). Imagem dos autores.



Figura 9. Fogão a GLP. Imagem dos autores.

O monitoramento foi realizado seguindo recomendações da literatura, a altura de 1,5 m em relação ao solo e distância de 1 m em relação a fonte poluidora. Amostras externas também foram tomadas para avaliar a fonte de poluição. Durante o monitoramento, as portas e janelas permaneceram abertas e todas as bocas do fogão foram utilizadas. Esse padrão foi observado em todas as casas monitoradas.

3.3

Análises Químicas

O material particulado (MP_{2,5}) foi coletado utilizando uma bomba tipo Airlite® SKC/110 - 100 com vazão de 1 - 3 L min⁻¹ e filtros de celulose de 25 mm (Figura 10). O amostrador foi colocado a uma distância de 0,90 m e altura 1,45 m do fogão. Após a coleta, os filtros foram recolhidos para serem pesados e analisados futuramente. Os filtros foram pesados antes e após a coleta para determinar a massa de material particulado. Após, os filtros foram extraídos com diclorometano e analisados por cromatografia em fase gasosa (GC/MS) para determinação dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA).



Figura 10. Bomba e filtro usados para a coleta de material particulado (MP_{2,5}).

Para a análise de HPA em amostras de material particulado (MP_{2,5}) coletadas em filtros de celulose, uma adaptação cuidadosa do Método 8270D da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) foi usada. O filtro de celulose foi adicionado aos tubos e submetido à extração assistida por ultrassom durante 30 minutos. Após a extração, realizou-se uma limpeza do extrato para remover possíveis interferentes, como compostos derivados do próprio filtro de celulose ou de outras substâncias coletadas junto ao material particulado. Para essa etapa, foi empregada a extração em fase sólida (SPE), utilizando cartuchos específicos para a purificação dos HPA. Esse procedimento assegura que o extrato final seja adequado para a análise subsequente, minimizando interferências que possam comprometer a precisão da detecção.

A análise dos HPA foi realizada através de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC/MS), conforme descrito no Método 8270D. A GC/MS permite a separação e identificação dos diferentes HPA presentes no extrato, com ajustes nos parâmetros de temperatura da coluna e tempos de retenção para otimizar a separação dos compostos específicos de interesse. A quantificação foi feita utilizando padrões internos e externos, que asseguram a exatidão dos resultados obtidos. O método inclui o uso de padrões de surrogado durante todo o processo analítico para avaliar a eficiência da extração e limpeza dos HPA. A recuperação dos padrões de surrogado é comparada com os valores esperados, permitindo ajustes nos resultados finais para compensar possíveis perdas durante as etapas de extração e purificação.

A quantificação incluiu os seguintes compostos HPA: naftaleno (N), acenaftileno (Acen), acenafteno (Ace), fluoreno (F), fenantreno (Ph), antraceno (A), fluoranteno (Fl), criseno (Ch), pireno (Py), benzo(a)pireno (BaPy), benzo(e)pireno (BePy), benz(a)antraceno (BaA), benzo(b)fluoranteno (BbFl), benzo(k)fluoranteno (BkFl), indeno(1,2,3-cd)pireno (IP), dibenz(a,h)antraceno (DBahA), benzo(ghi)perileno (BghiPe), perileno (Pe), dibenzotiofeno (DBT), naftalenos alquilados (C1, C2, C3 e C4), fluorenos (C1, C2 e C3), fenantrenos (C1, C2, C3 e C4), dibenzotiofenos (C1, C2 e C3), crisenos (C1 e C2) e pirenos (C1 e C2). Somente as curvas analíticas com coeficientes de correlação linear superiores a 0,990 foram aceitas. Para cada grupo de 10 amostras analisadas foi injetada uma solução padrão para verificar as condições de calibração instrumental.

3.4

Dados socioeconômicos

Para o levantamento de dados socioeconômicos aplicou-se um questionário que com perguntas sobre o padrão de consumo energético, tipo de fogão, quantidade de combustível consumido, número de residentes e renda familiar, além de indagações a respeito dos incômodos e praticidade gerados pelo tipo de combustível e fogão utilizado para cocção. Os questionários aplicados aos moradores do quilombo e os termos de consentimentos estão disposto nos anexos I e II, respectivamente. Esse questionário, juntamente com todo o projeto, foi aprovado pelo Comitê de Ética da PUC-Rio (51-2022 – Protocolo 43-2022) e atende a todos os requisitos da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, Lei nº 13.709/2018.

3.5

Análises estatísticas

O teste de Shapiro-Wilk, utilizando a função `shapiro.test` no R (Crawley, M. J., 2012), foi empregado para verificar a normalidade dos dados. Um valor p superior a 0,05 indica que os dados seguem uma distribuição normal, permitindo o uso do teste t . O teste t pareado, realizado com a função `t-test` no R, foi aplicado para comparar as médias entre os grupos de dados das residências monitoradas. Um valor p inferior a 0,05 indicou diferenças estatisticamente significativas entre as médias comparadas.

4

Resultados e discussão

Neste capítulo, serão discutidos os dados obtidos do monitoramento da qualidade do ar em cozinhas que utilizam fogões a lenha, tanto tradicionais quanto ecoeficientes. Além disso, serão apresentados dados comparativos referentes à queima de GLP em fogões modernos.

4.2.1

Emissões da queima de lenha no fogão tradicional

As Figuras 11 e 12 mostram o perfil das concentrações de $MP_{2,5}$ e MP_{10} no interior das oito cozinhas monitoradas ao longo desse estudo. A linha horizontal em vermelho representa os valores de exposição recomendados para $MP_{2,5}$ e MP_{10} em média de 24 horas, respectivamente, $15 \mu\text{g m}^{-3}$ e $45 \mu\text{g m}^{-3}$ de acordo com a última resolução da OMS (2021).

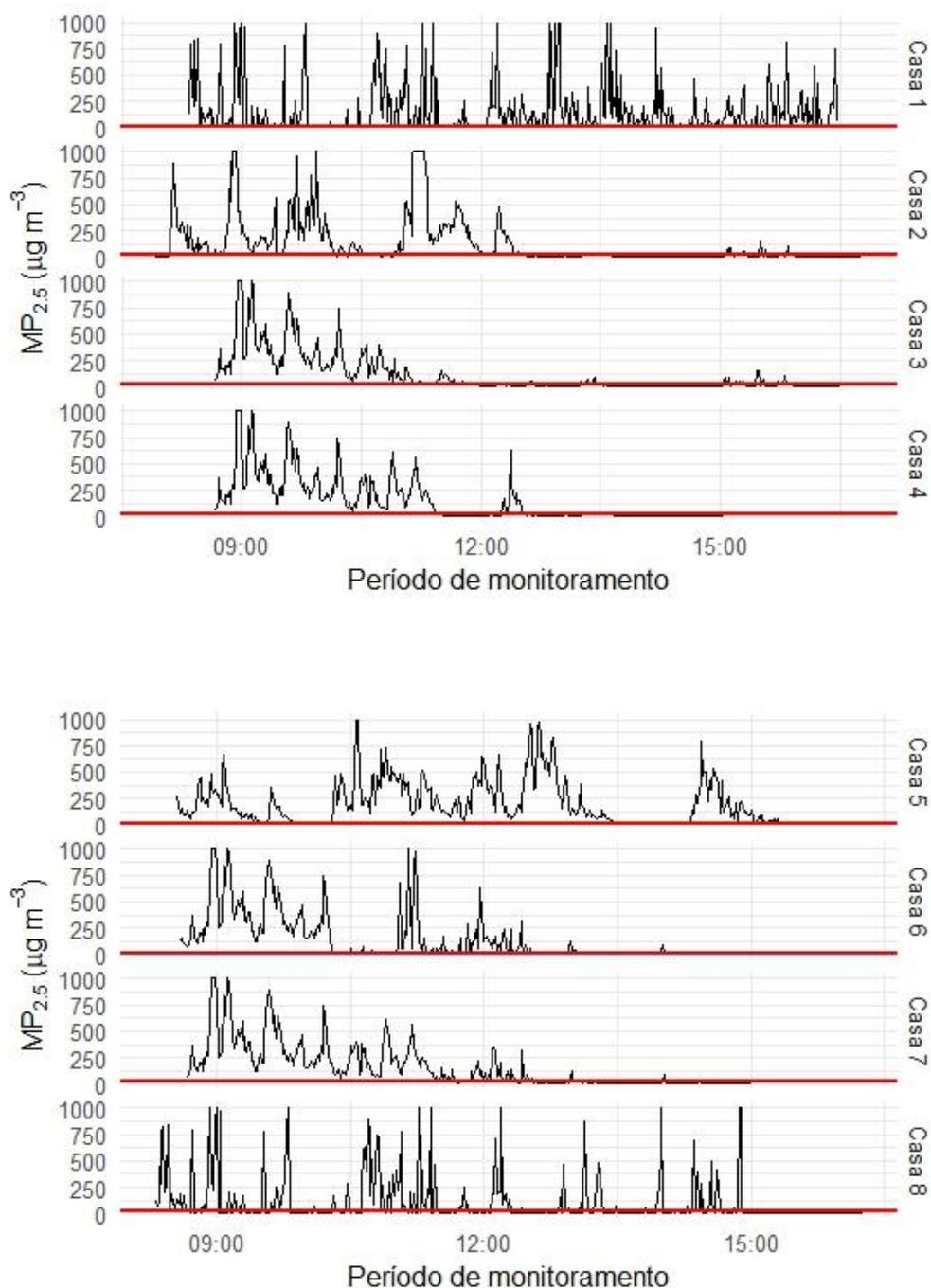


Figura 11. Perfil temporal da concentração de $MP_{2,5}$ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões tradicionais e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência ($15 \mu g m^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).

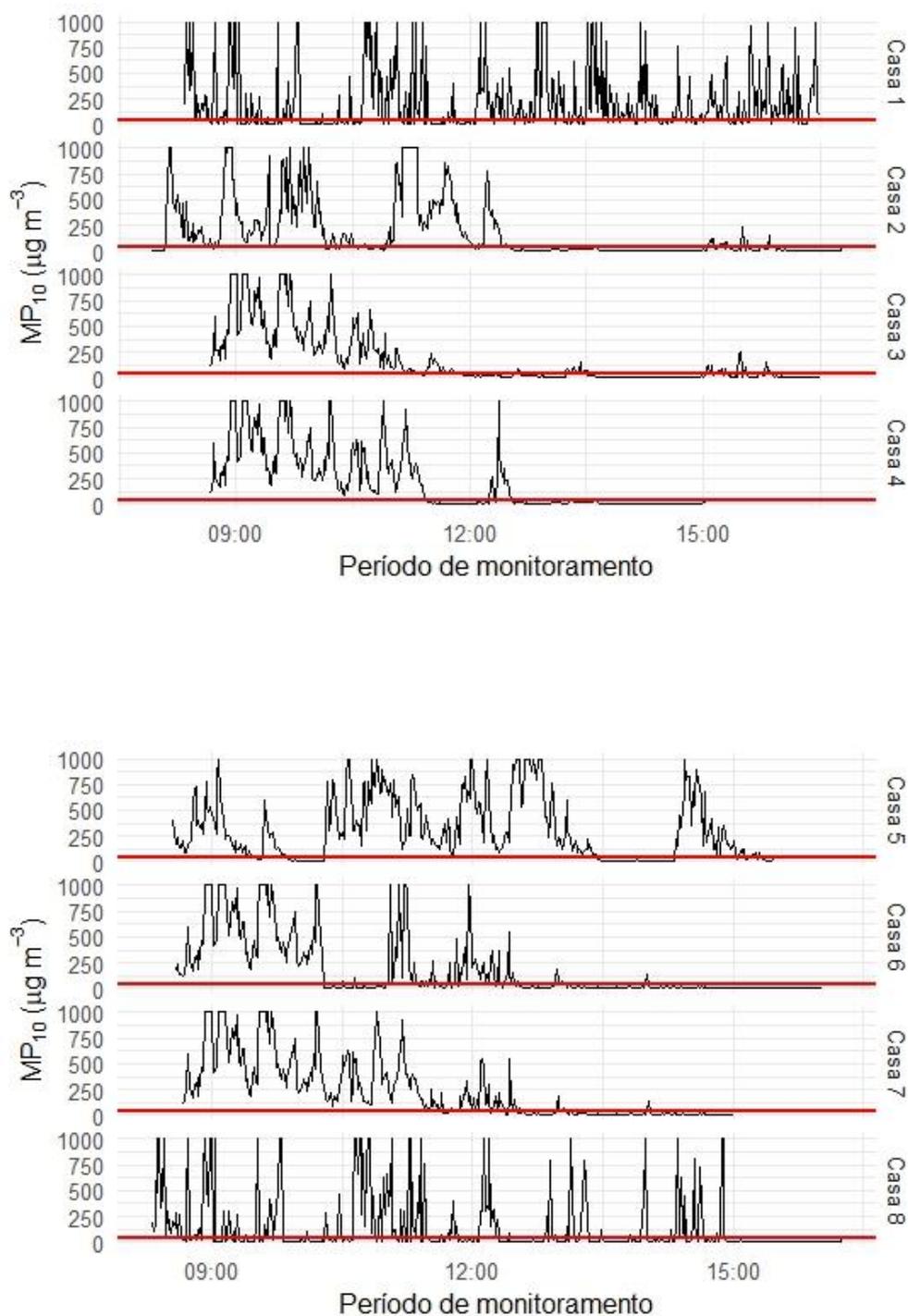


Figura 12. Perfil temporal da concentração de PM_{10} durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões tradicionais e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência ($45 \mu g m^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).

De forma análoga o CO₂ e o formaldeído foram monitorados durante a queima da lenha no fogão tradicional, conforme descrito nas figuras 13 e 14. A linha em vermelho para o formaldeído representa o valor recomendado para a exposição média de 8 horas de 100 µg m⁻³.

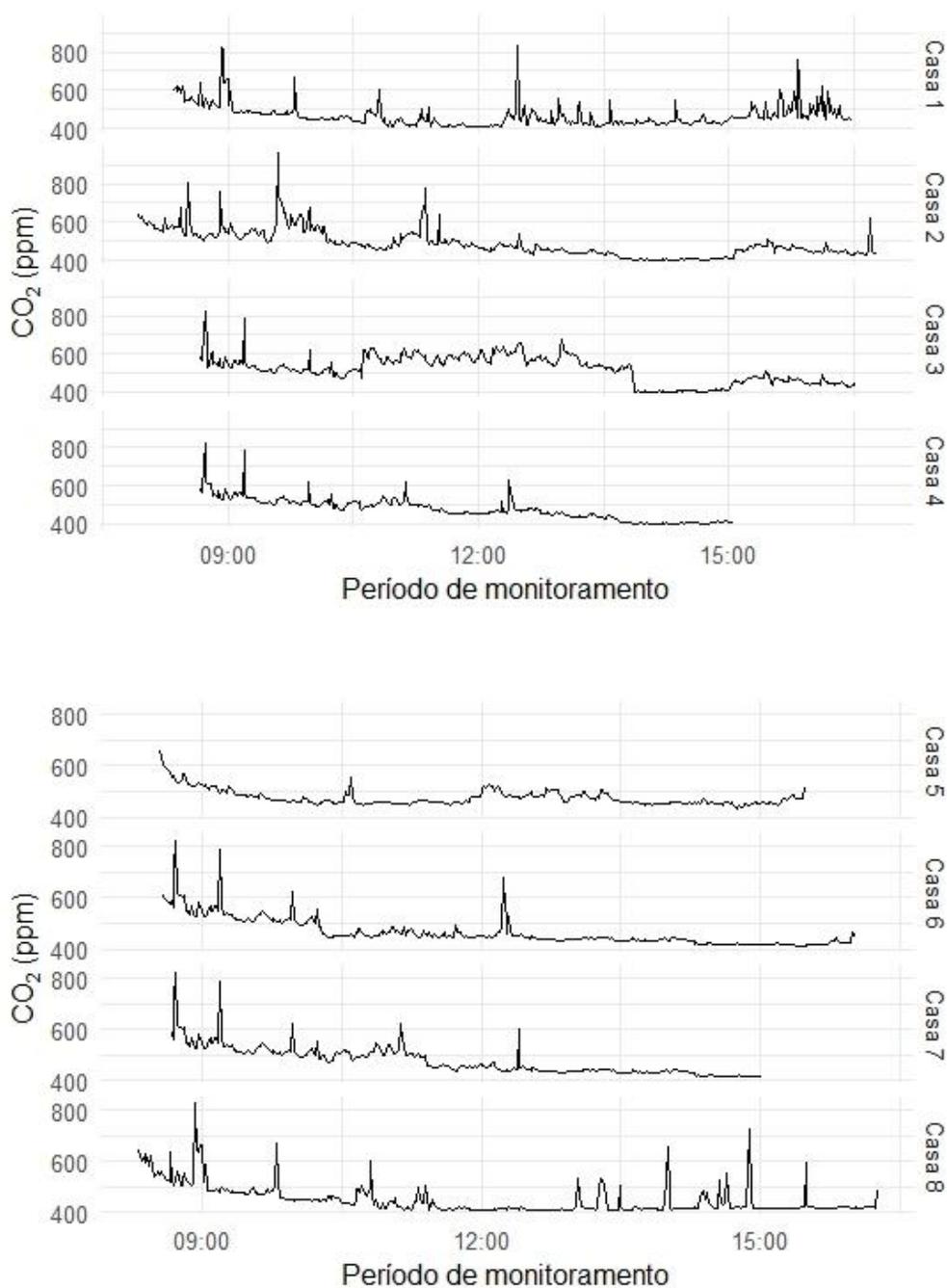


Figura 13. Perfil temporal da concentração de CO₂ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões tradicionais e lenha para cocção.

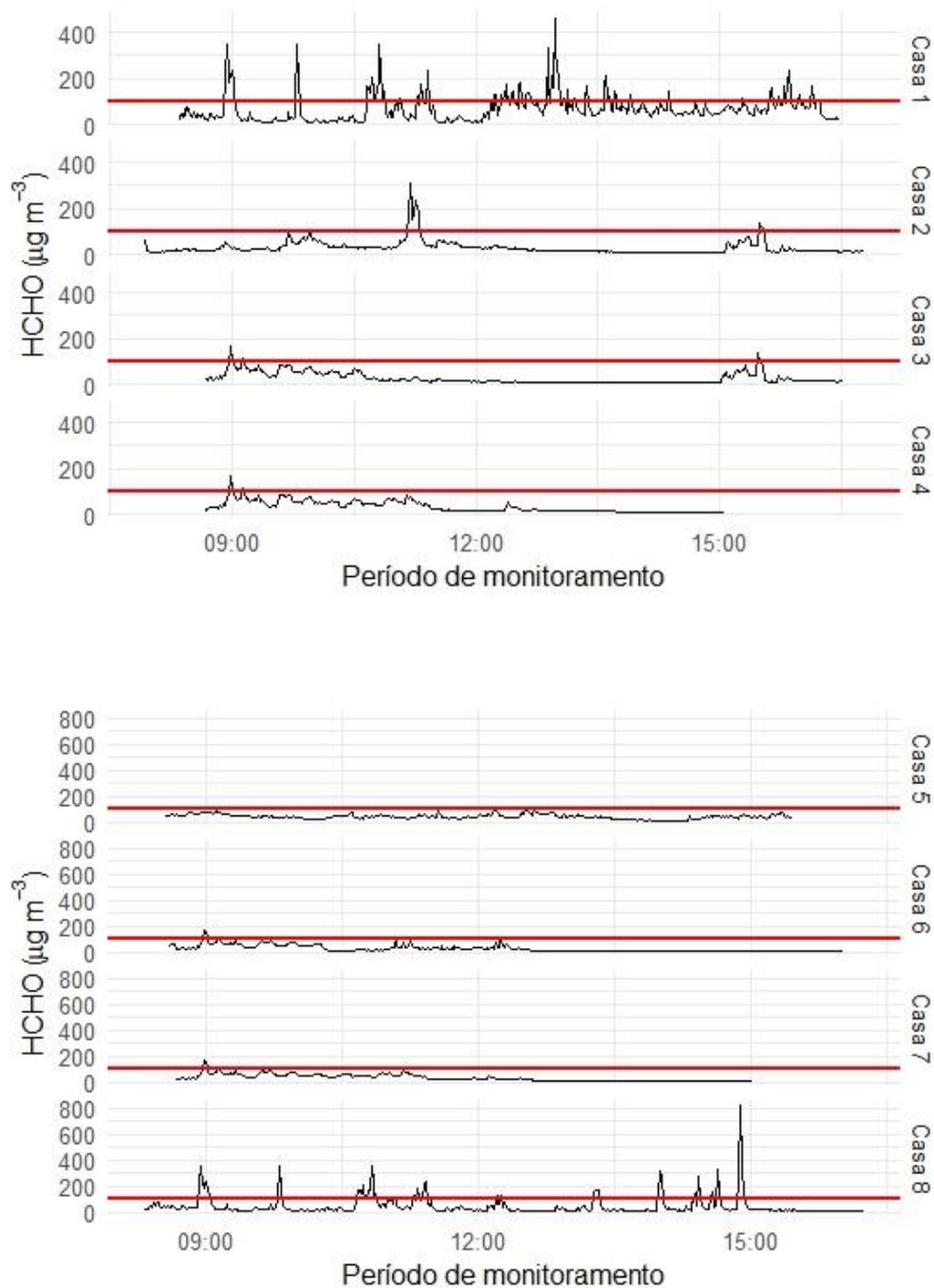


Figura 14. Perfil temporal da concentração de HCHO durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões tradicionais e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência ($100 \mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).

As Figuras 15 e 16 ilustram o perfil de temperatura e umidade relativa nas cozinhas.

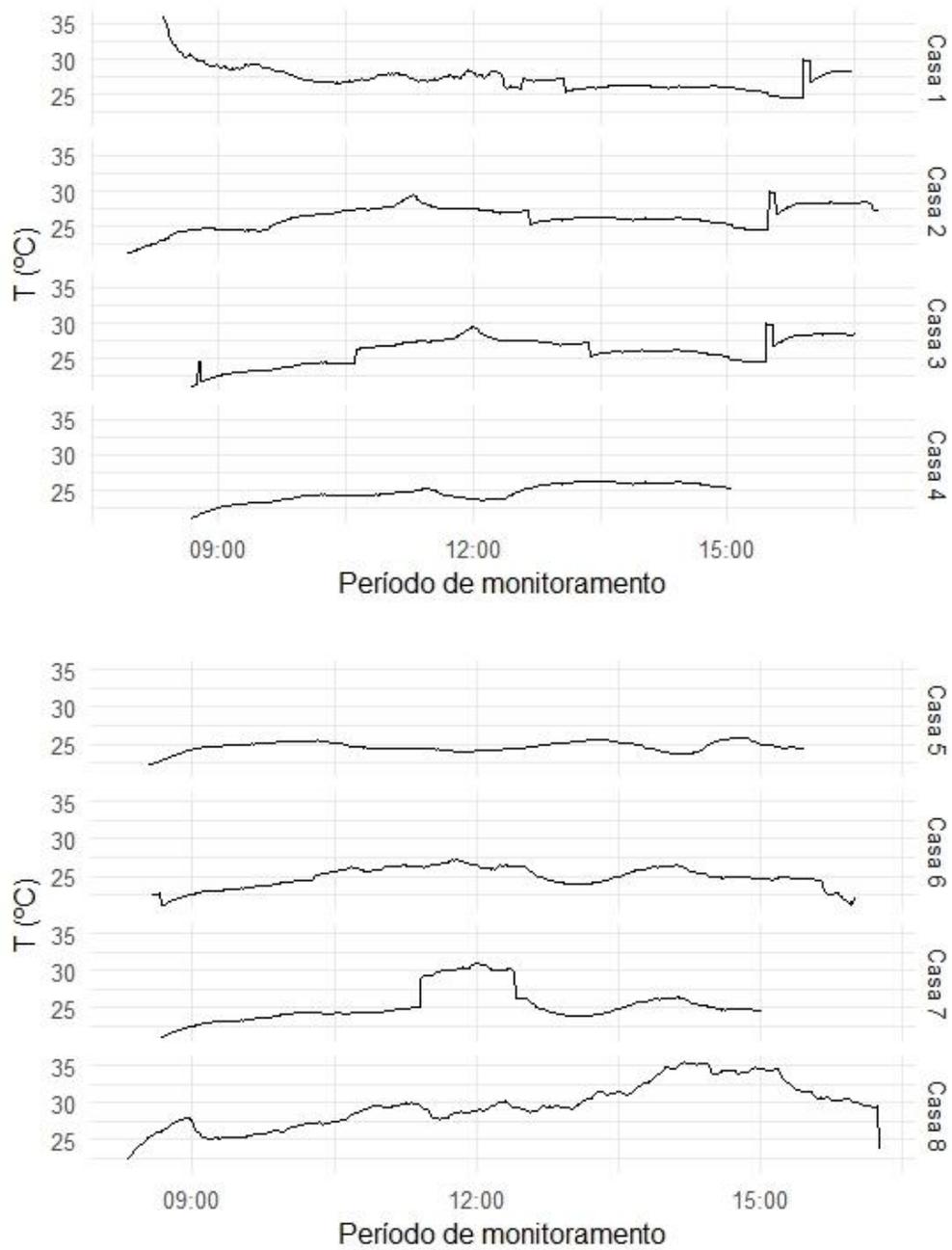


Figura 15. Perfil temporal para temperatura no interior da cozinha durante a queima da lenha no fogão tradicional.

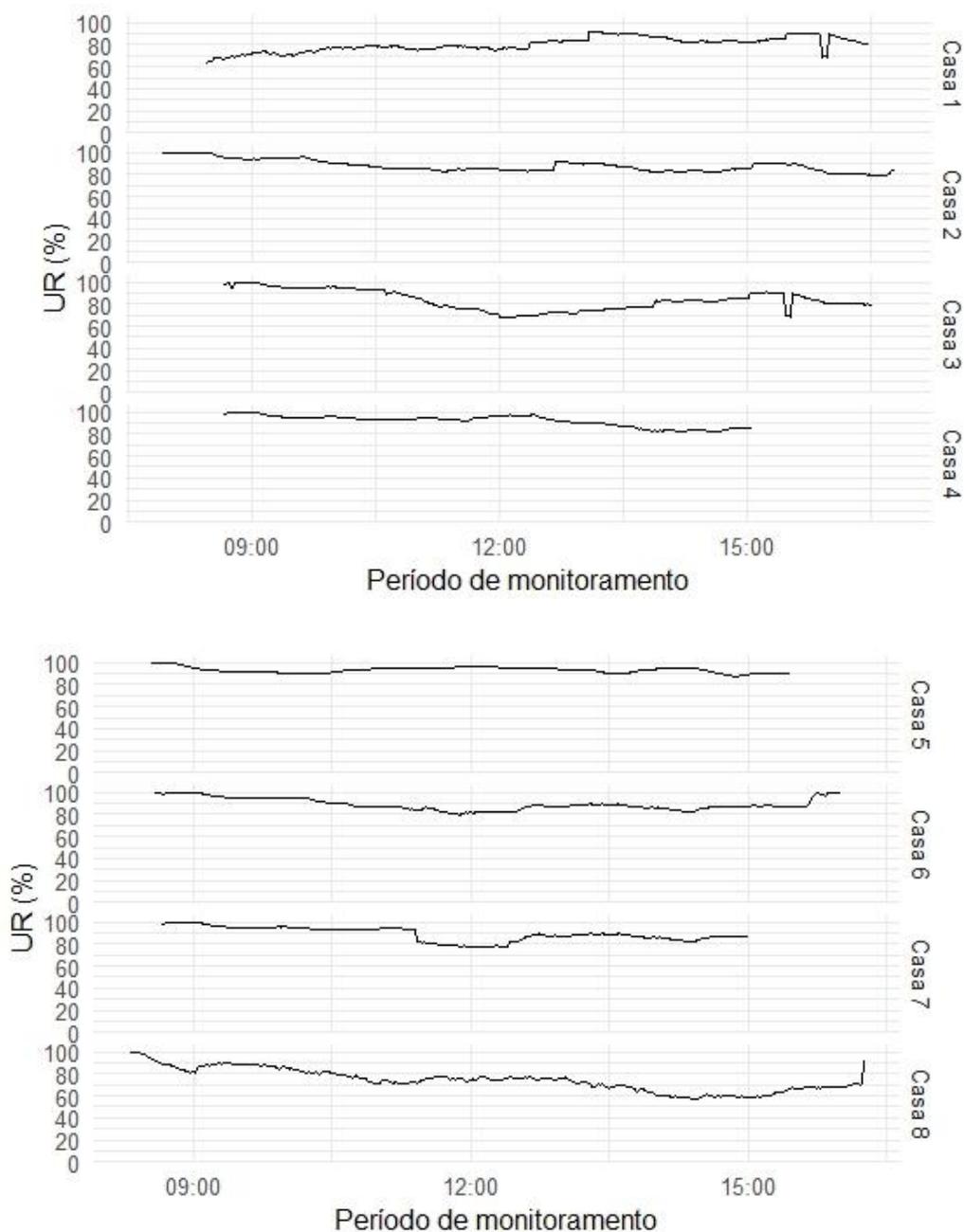


Figura 16. Perfil temporal para umidade relativa do ar no interior da cozinha durante a queima da lenha no fogão tradicional.

Durante o monitoramento em tempo real, observou-se que em várias ocasiões as concentrações de material particulado ultrapassaram a capacidade dos sensores, especialmente em residências onde foi utilizada lenha úmida ou madeira deteriorada, como caibros, em cozinhas com ventilação inadequada. Essa saturação foi particularmente evidente nas casas 1, 5 e 7, onde os níveis de material particulado excederam bastante o limite de exposição recomendado

pela Organização Mundial da Saúde (OMS), representado pela linha vermelha horizontal nos gráficos. Os valores médios de concentração para $MP_{2,5}$ e MP_{10} foram registrados da seguinte forma: na casa 1, as concentrações médias foram $151 \pm 232 \mu\text{g m}^{-3}$ para $MP_{2,5}$ e $213 \pm 289 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} ; na casa 5, foram $203 \pm 210 \mu\text{g m}^{-3}$ para $MP_{2,5}$ e $310 \pm 174 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} ; e na casa 7, os valores foram $159 \pm 212 \mu\text{g m}^{-3}$ para $MP_{2,5}$ e $237 \pm 290 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} . Pelo fato das concentrações atingirem o limite do sensor, essas médias estão subestimadas.

A análise do perfil temporal das concentrações desses poluentes nas residências monitoradas mostrou altos níveis de emissão, especialmente durante o preparo das refeições, entre 11 h e 13 h. Nas casas C1, C5 e C7, o monitoramento revelou picos de emissão e acúmulo de material particulado durante várias horas ao longo do dia. Nesses casos, os fogões eram construídos de maneira rudimentar com tijolos e barro, instalados em ambientes fechados de aproximadamente 15 m^2 , com uma porta e uma janela. Na Casa 1, o fogão contava com uma estrutura de exaustão, mas de eficiência limitada. O consumo de lenha nessas residências também foi maior, totalizando 17 kg na casa 1, 15 kg na casa 5 e 17 kg na casa 7.

Os valores médios de concentração para CO_2 e formaldeído foram registrados da seguinte forma: na casa 1, as concentrações médias foram $466 \pm 58 \text{ ppm}$ para CO_2 e $0,068 \pm 0,050 \mu\text{g m}^{-3}$ para formaldeído; na casa 5, foram $476 \pm 31 \text{ ppm}$ para CO_2 e $0,043 \pm 0,017 \mu\text{g m}^{-3}$ para formaldeído; e na casa 7, os valores foram $476 \pm 53 \text{ ppm}$ para CO_2 e $0,033 \pm 0,025 \mu\text{g m}^{-3}$ para formaldeído.

De modo geral, as concentrações de CO_2 durante a queima da lenha no fogão tradicional variaram entre 400 e 750 ppm, com uma média de 476 ± 20

ppm, enquanto a faixa externa variou entre 420 e 520 ppm, com média de 465 ± 37 ppm.

Os níveis de formaldeído (HCHO) nas cozinhas apresentaram uma variação significativa, com concentrações oscilando entre 5 e $350 \mu\text{g m}^{-3}$. Essa ampla faixa reflete a diversidade de fatores que influenciam a presença desse poluente, como o tipo de combustível, a ventilação disponível e os métodos de cozimento. A exposição prolongada ao formaldeído, especialmente em concentrações elevadas, é preocupante devido aos seus efeitos adversos à saúde, incluindo irritação das vias respiratórias e olhos, além de ser considerado carcinógeno para humanos. Portanto, é essencial compreender e controlar os fatores que contribuem para esses níveis elevados para melhorar a qualidade do ar nas cozinhas e mitigar os riscos à saúde.

Os parâmetros físicos de temperatura e umidade relativa nas cozinhas variaram entre 25 e 30 °C e 75 % a 93 %, respectivamente. Em contraste, a temperatura externa variou entre 21 °C e a umidade relativa esteve em torno de 90 %, valores que não estão dentro da faixa considerada confortável.

A Tabela 6 apresenta as concentrações médias e o desvio padrão de material particulado fino ($\text{MP}_{2,5}$), material particulado grosso (MP_{10}), dióxido de carbono (CO_2) e formaldeído (HCHO) medidas nas oito residências durante o monitoramento em tempo real. Os valores estão expressos em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g m}^{-3}$), com o desvio padrão indicado ao lado de cada média. As concentrações internas quando comparadas com as externas refletem a poluição do ar interno associada ao uso de fogões a lenha e à ventilação das cozinhas.

Tabela 6.Concentrações médias e desvio padrão para MP_{2,5}, MP₁₀, CO₂ e HCHO durante a queima da lenha no fogão tradicional.

CASA	MP_{2,5} (µg m⁻³)	MP₁₀ (µg m⁻³)	CO₂ (ppm)	HCHO (µg m⁻³)
1	151 ± 232	213 ± 289	466 ± 58	0,068 ± 0,059
2	124± 215	175 ± 270	487 ± 71	0,030 ± 0,029
3	113± 192	167 ± 260	517± 72	0,027±0,025
4	151± 216	223 ± 298	476 ± 31	0,033 ± 0,025
5	203± 210	310± 174	476 ± 31	0,043 ±0,017
6	120 ± 213	174± 285	463± 53	0,027 ± 0,025
7	159± 212	237± 290	476± 53	0,033 ± 0,025
8	101 ± 217	141 ± 271	451± 58	0,041 ± 0,06
Externo (faixa)	8 ± 1	10 ± 1	424-523	0,019 ± 0,076

Os valores médios de concentração de MP_{2,5} e MP₁₀ emitidos por fogões tradicionais foram de 140 µg m⁻³ e 204 µg m⁻³, respectivamente. As concentrações externas foram muito mais baixas que nas cozinhas para todos os poluentes, indicando que a principal fonte desses componentes é o fogão a lenha.

Estudos reportam concentrações similares a esse. Um estudo realizado em comunidades rurais da Índia mediu concentrações médias de 223 ± 12 µg m⁻³ para MP_{2,5} e 394 ± 21 µg m⁻³ para MP₁₀ em cozinhas que utilizavam lenha em fogões rústicos (Chakraborty et al., 2021). Outro estudo realizado no México observou concentrações de MP_{2,5} variando entre 92,8 µg m⁻³ e 155,2 µg m⁻³ em cozinhas com práticas similares de queima de lenha, mesmo após a implementação de fogões melhorados (Estévez-García et al., 2020). Chakraborty et al. (2021) relataram concentrações de MP_{2,5} e MP₁₀ superiores a 200 µg m⁻³ em cozinhas de comunidades rurais na Índia, indicando que as

condições de ventilação, construção do fogão e hábitos alimentares desempenham um papel crucial nas concentrações de material particulado. No estudo de Estévez-García et al. (2020) as concentrações de $MP_{2,5}$ estiveram um pouco mais altas do que as observadas em nosso estudo, mas ainda dentro da mesma ordem de magnitude, sugerindo que práticas de queima e ventilação similares podem resultar em níveis elevados de material particulado em diferentes contextos geográficos. No Peru foram registradas concentrações de $MP_{2,5}$ entre 120 e 230 $\mu\text{g m}^{-3}$, dependendo da estação do ano e das condições de ventilação das cozinhas. Na Colômbia, um estudo de 2022 relatou concentrações médias de $MP_{2,5}$ e MP_{10} de 180 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 270 $\mu\text{g m}^{-3}$, respectivamente, em residências que utilizavam lenha como principal fonte de combustível. No Chile foram encontradas concentrações de $MP_{2,5}$ variando entre 150 e 210 $\mu\text{g m}^{-3}$ em cozinhas que utilizavam lenha como principal fonte de energia. Comparando esses dados com os valores médios de $MP_{2,5}$ de 101 a 203 $\mu\text{g m}^{-3}$ encontrados em nosso estudo, evidencia-se que a poluição por material particulado em cozinhas que utilizam lenha é uma questão significativa em várias regiões da América Latina. Esses resultados reforçam a necessidade de medidas mitigadoras para reduzir a exposição ao material particulado em ambientes internos.

Análises HPA no MP_{2,5} para o fogão tradicional

Os HPA são uma classe de compostos produzidos na combustão incompleta de materiais orgânicos, como a lenha. Dos 38 compostos testados verificou-se a presença de 6 HPA comuns a todas as residências amostradas: naftaleno, fluoranteno, pireno, C1-pireno, C2-pireno e benzo[a]antraceno. (Figura 17).

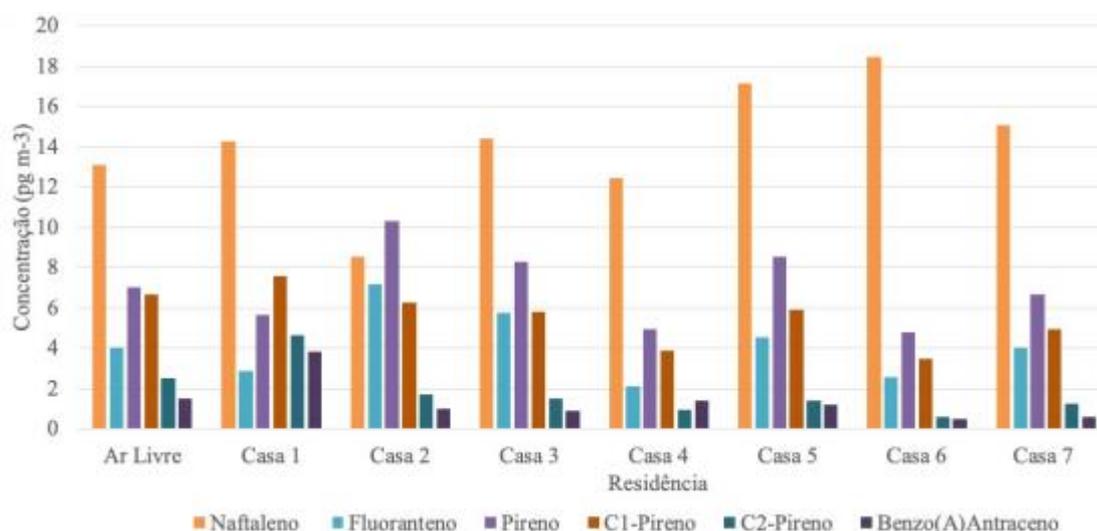


Figura 17. Concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) presentes nas amostras de MP_{2,5} coletadas em filtros durante as 8 h de uso do fogão a lenha em cada residência.

Diversos estudos classificam esses compostos como altamente tóxicos e potencialmente carcinogênicos (Chen et al., 2021; Alvarez-Ospina et al., 2021; Vega et al., 2021; Zhang et al., 2021) sendo responsáveis pelo desencadeamento de diversos distúrbios à saúde humana, enfaticamente sobre mulheres e crianças. Como os níveis encontrados foram muito baixos, na ordem de picogramas (10^{-12} gramas), não é possível inferir sobre efeitos na saúde sem fazer testes toxicológicos. Essas consequências estão resumidas na Tabela 7.

Tabela 7. Relação entre HPA e problemas a saúde reportados na literatura.

HPA	Impactos à saúde
Naftaleno	Frequentemente associado a problemas respiratórios e irritações na pele. Estudos indicam que a exposição prolongada pode levar a problemas mais graves, como anemia hemolítica e danos aos glóbulos vermelhos, devido ao seu efeito tóxico sobre as células sanguíneas (Kang et al., 2021).
Fluoranteno	Relacionado com efeitos adversos no sistema imunológico e alterações na função pulmonar (Li et al., 2023)
Pireno	Reconhecido por sua toxicidade e potencial para causar efeitos adversos no desenvolvimento e na reprodução, além de ser um possível carcinógeno (IARC, 2021).
C1-pireno e C2-pireno	Isômeros do pireno, cuja presença e toxicidade ainda são objeto de estudo, mas que se acredita compartilharem propriedades carcinogênicas

	<p>semelhantes ao pireno. Eles são formados pela adição de grupos metila ao esqueleto do pireno, o que pode alterar suas características químicas e biológicas (Huang et al., 2022)</p>
<p>Benzo[a]antraceno</p>	<p>Um dos HPA mais preocupantes devido ao seu forte potencial carcinogênico. A exposição a esse composto tem sido amplamente associada a vários tipos de câncer, incluindo câncer de pulmão e de pele (IARC, 2022). Este composto é altamente carcinogênico e suas propriedades foram detalhadas em vários estudos, que destacam sua capacidade de induzir mutações genéticas e promover o desenvolvimento de tumores (Kumar et al., 2023).</p>

A presença desses HPA em ambientes residenciais é preocupante, dado que a exposição crônica a essas substâncias pode ter efeitos à saúde. Estudos recentes reforçam a necessidade de medidas rigorosas para monitorar e reduzir a emissão de HPA, a fim de proteger a saúde pública e garantir ambientes de

vida mais seguros (Caoet al., 2023; Gao et al., 2023; Li et al., 2023; Wanget al., 2024; Xu et al., 2024). São necessários estudos com um número maior de casas monitoradas a fim de avaliar a real exposição a essa classe de poluente em decorrência da queima de lenha.

4.2.2

Emissões da queima de lenha no fogão ecoeficiente

Os fogões a lenha ecológicos, também conhecidos como fogões a lenha ecoeficientes, têm chamado atenção como uma alternativa mais sustentável aos fogões tradicionais, especialmente no contexto das emissões de poluentes. Outro benefício do fogão ecológico é a contribuição para o uso mais eficiente dos recursos naturais. Esse estudo verificou reduções tanto na carga de poluentes, quanto no consumo de biomassa pelo fogão ecológico comparado ao fogão tradicional.

As Figuras 18 a 19 mostram o perfil temporal das concentrações de material particulado no interior das residências após a substituição do fogão tradicional, confirmando que os níveis de exposição ao material particulado foram, de fato, menores durante o uso da nova tecnologia.

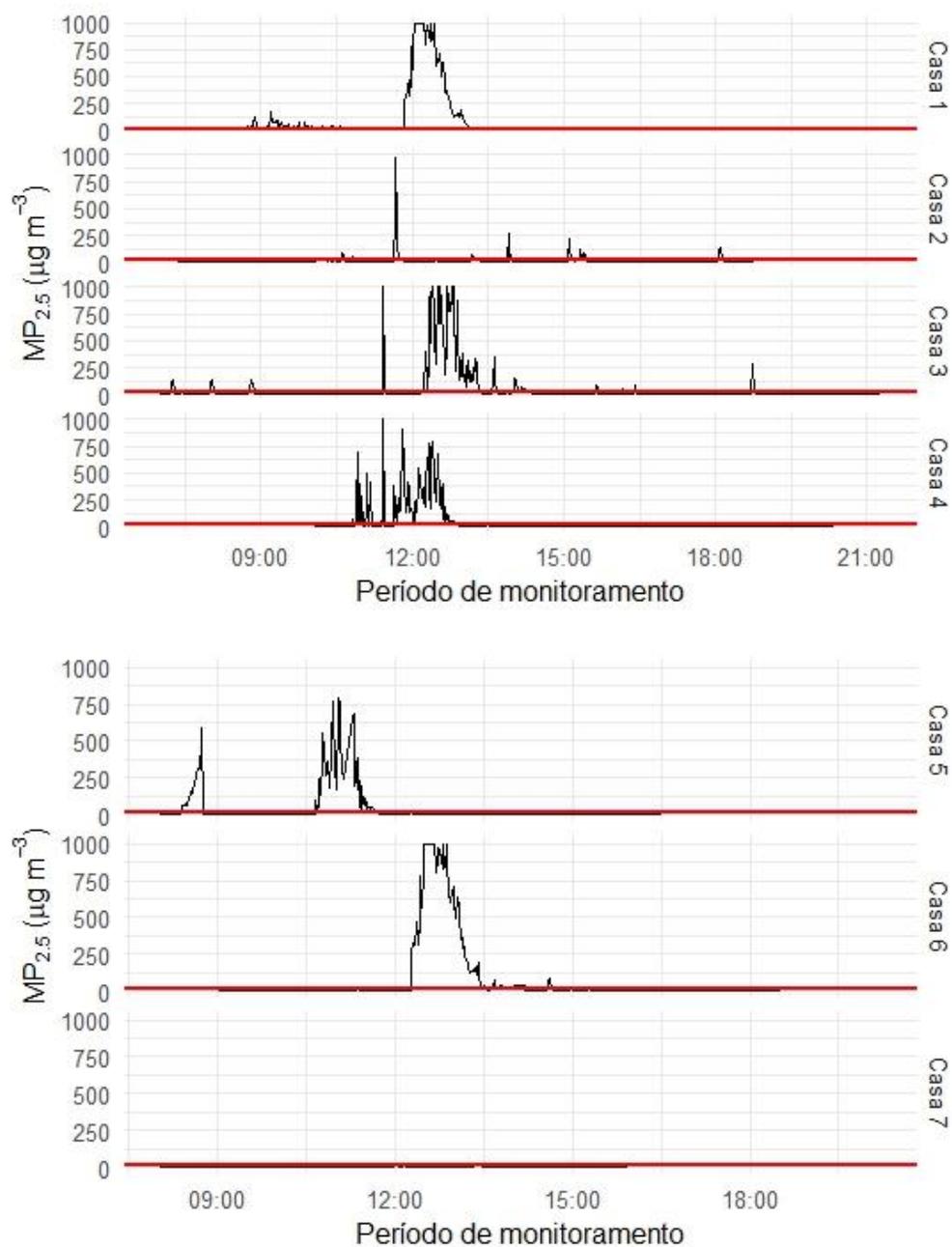


Figura 18. Perfil temporal da concentração de $MP_{2,5}$ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões ecoeficientes e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência ($15 \mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).

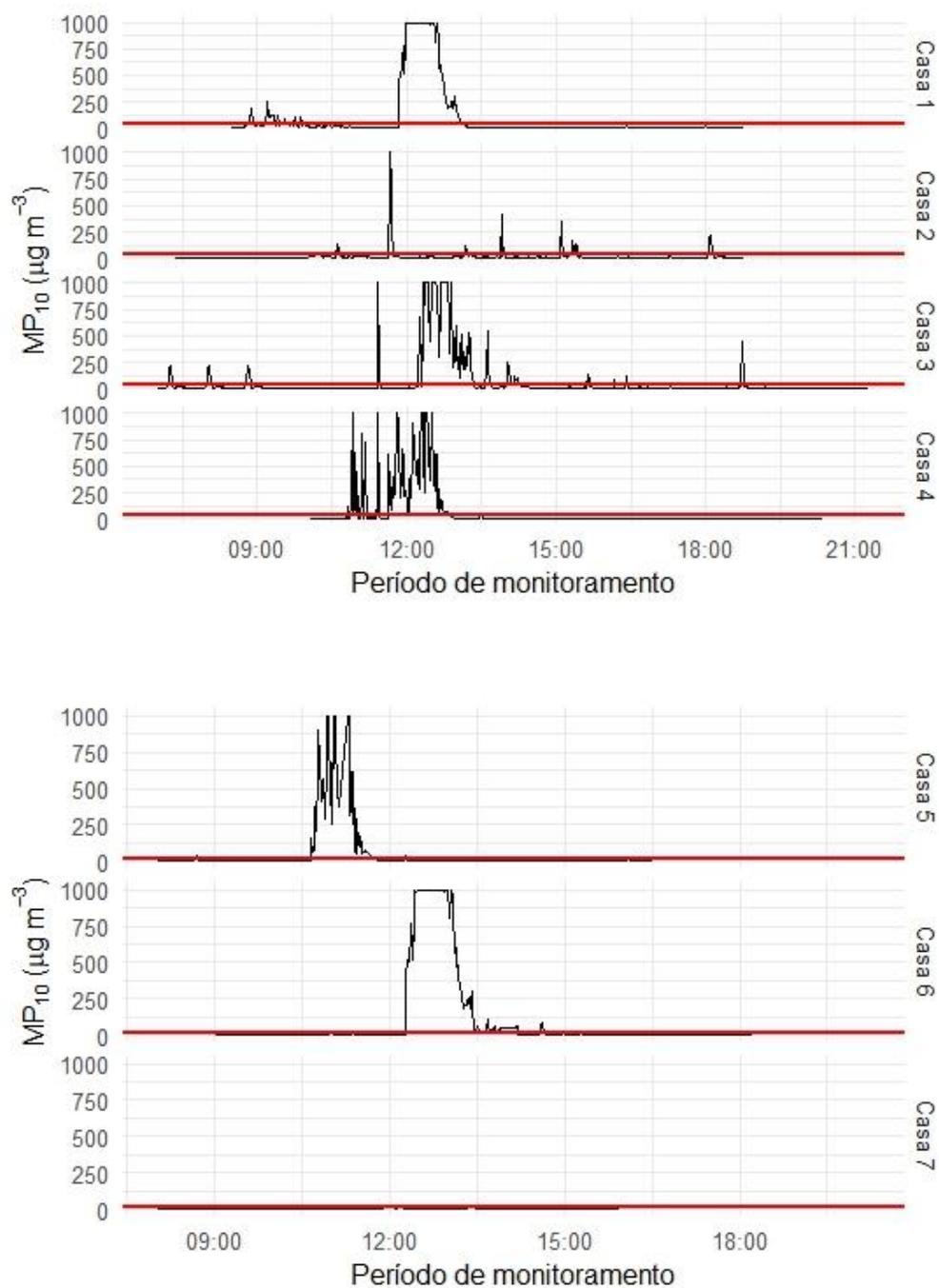


Figura 19. Perfil temporal da concentração de MP_{10} durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões ecoeficientes e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência ($45 \mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).

Esse mesmo perfil de concentração também foi registrado para o CO₂ e HCHO durante o uso do fogão ecoeficiente, conforme as Figuras 20 e 21. Além disso, o perfil da T e UR também estão apresentados nas Figuras 22 e 23.

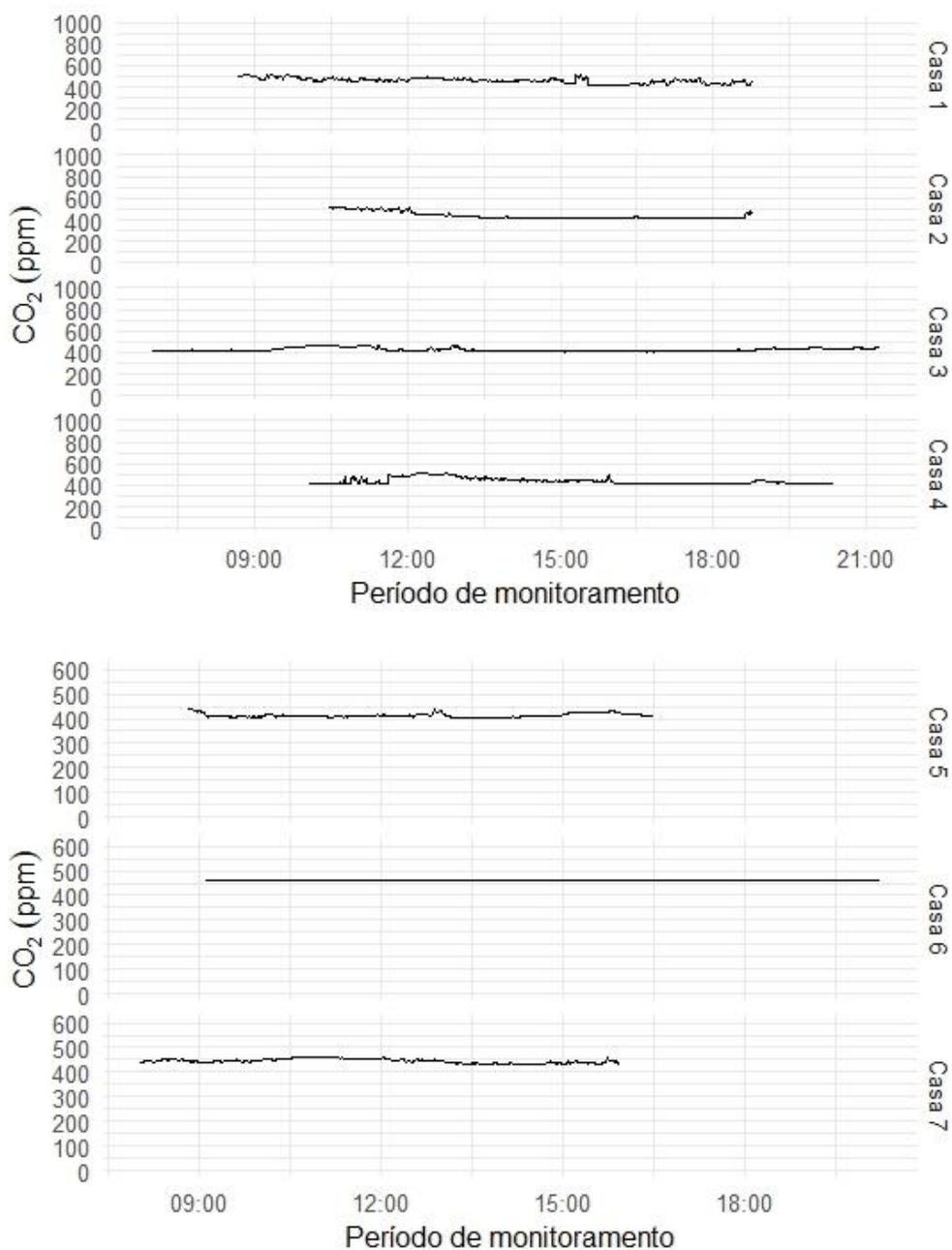


Figura 20. Perfil temporal da concentração de CO₂ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões ecoeficientes e lenha para cocção.

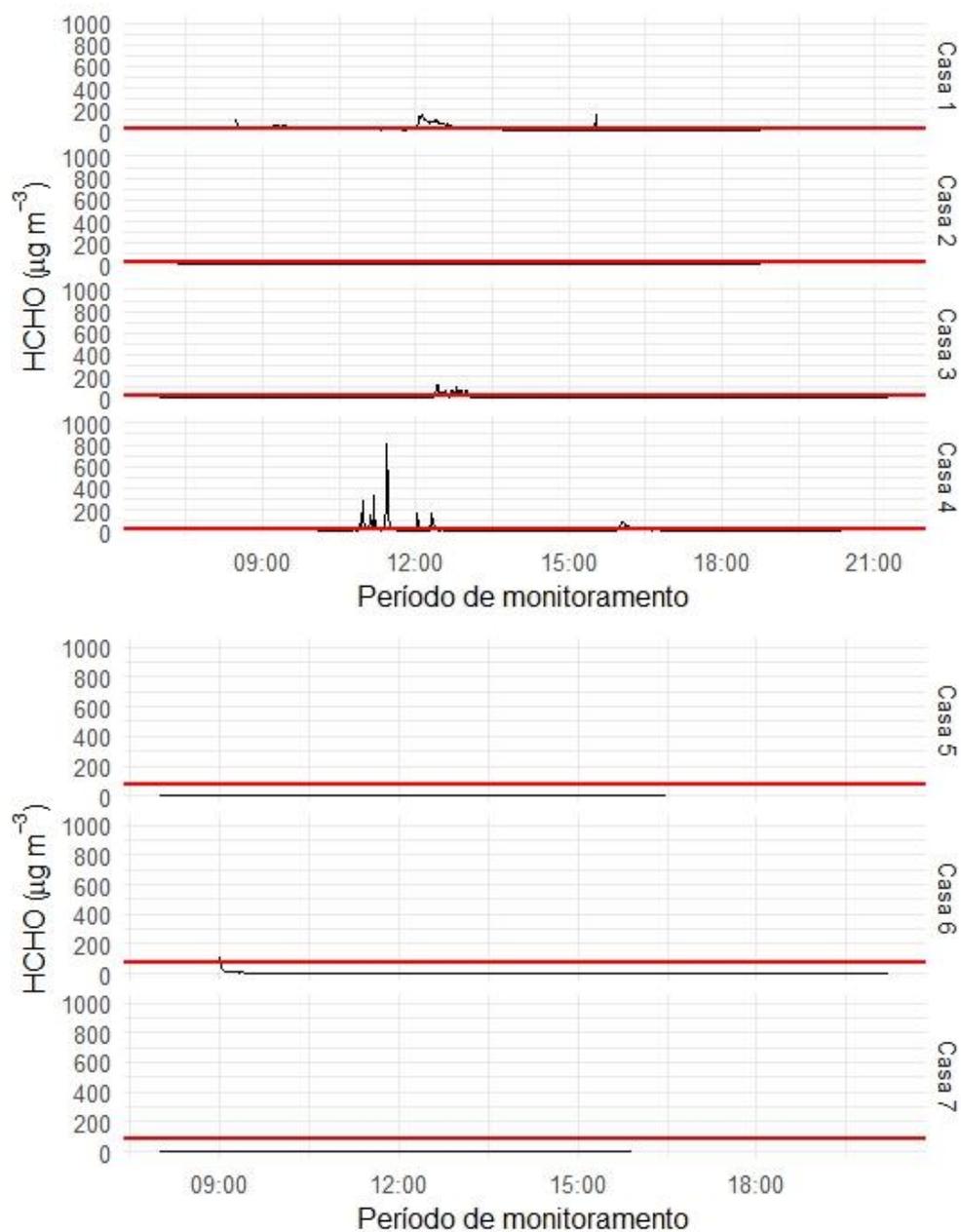


Figura 21. Perfil temporal da concentração de HCHO durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões ecoeficientes e lenha para cocção. A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência ($100 \mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).

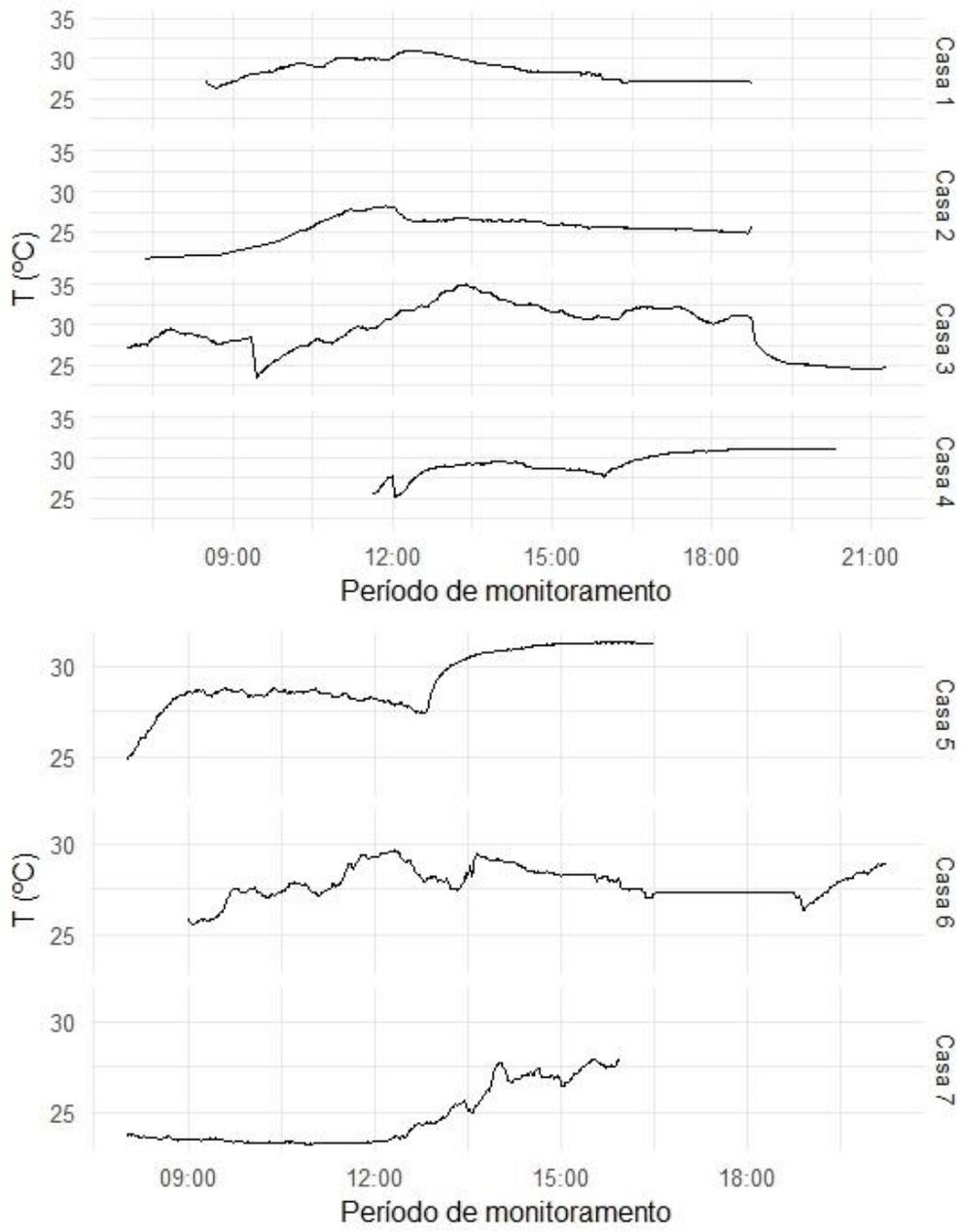


Figura 22. Perfil temporal para temperatura no interior da cozinha durante a queima da lenha no fogão ecoeficiente.

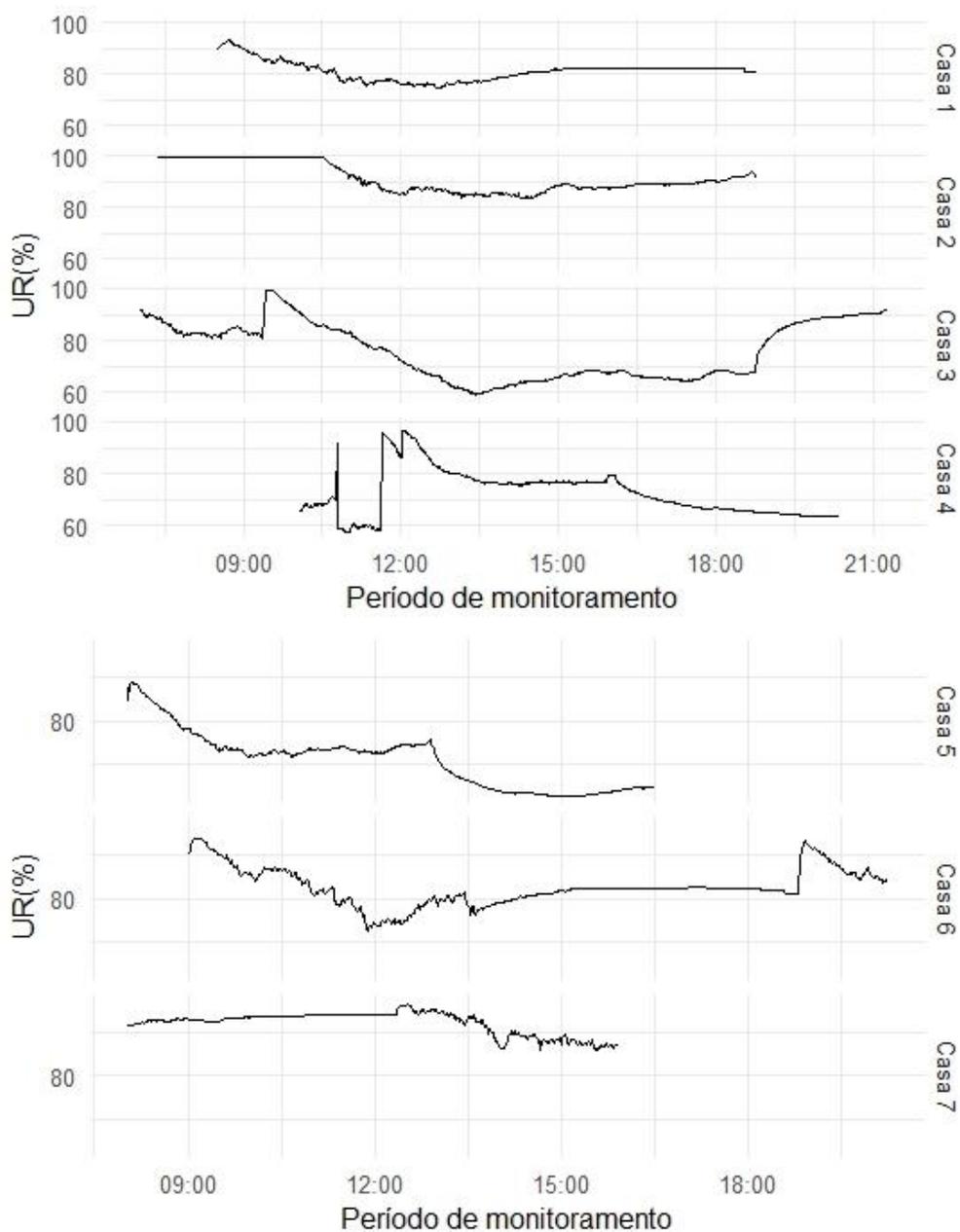


Figura 23. Perfil temporal para umidade relativa do ar no interior da cozinha durante a queima da lenha no fogão eficiente.

A concentração das partículas mostra que, próximo ao horário do almoço, quando o fogão é alimentado com mais lenha, as concentrações atingem seus picos. A estrutura vedada do fogão ecológico e o menor consumo de lenha contribuem significativamente para a melhoria da qualidade do ar nas cozinhas. Durante todo o período de monitoramento, a exposição ao material particulado

foi reduzida. Mesmo durante os picos de alimentação do fogo, os valores médios desses poluentes foram mais baixos após a substituição do fogão.

A Tabela 8 mostra as concentrações médias dos principais poluentes emitidos durante a queima de lenha em fogões ecoeficientes. Os valores são apresentados em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g m}^{-3}$) para o material particulado e em partes por milhão (ppm) para o dióxido de carbono, acompanhados dos respectivos desvios padrões. As concentrações externas foram muito mais baixas que nas cozinhas, entre 4 e 8 $\mu\text{g m}^{-3}$.

Tabela 8. Concentração média e desvio padrão para $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} , CO_2 , e HCHO registradas durante a queima de lenha no fogão ecológico

CASA	$\text{MP}_{2,5}$ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	MP_{10} ($\mu\text{g m}^{-3}$)	CO_2 (ppm)	HCHO ($\mu\text{g m}^{-3}$)
1	76 ± 213	98 ± 255	464 ± 35	0,021 ± 0,024
2	17 ± 66	25 ± 81	448 ± 55	0,001 ± 0,001
3	48 ± 161	64 ± 193	429 ± 22	0,004 ± 0,013
4	45 ± 138	65 ± 193	442 ± 37	0,001 ± 0,045
5	39 ± 119	47 ± 166	418 ± 18	0,001 ± 0,000
6	67 ± 204	86 ± 245	455 ± 10	0,002 ± 0,006
7	3 ± 2	4 ± 3	445 ± 8	0,001 ± 0,000
Externo (faixa)	4 ± 1	8 ± 1	440 ± 520	0,001 ± 0,002

Na Casa 1, as concentrações de material particulado foram reduzidas de $151 \pm 232 \mu\text{g m}^{-3}$ para $76 \pm 213 \mu\text{g m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$, e de $213 \pm 287 \mu\text{g m}^{-3}$ para $98 \pm 255 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} após a substituição do fogão. As concentrações de CO_2 variaram de 466 para 464 ppm e formaldeído de 0,068 para $0,021 \mu\text{g m}^{-3}$. Na Casa 5, as concentrações de material particulado foram reduzidas de $203 \pm 210 \mu\text{g m}^{-3}$ para $39 \pm 119 \mu\text{g m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$, e de $310 \pm 174 \mu\text{g m}^{-3}$ para $47 \pm$

166 $\mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} após a substituição do fogão. As concentrações de CO_2 variaram de 476 ± 31 para 418 ± 18 ppm e formaldeído de $0,043 \pm 0,017$ para $0,001 \pm 0$. Na Casa 7, as concentrações de material particulado foram reduzidas de $159 \pm 212 \mu\text{g m}^{-3}$ para $3 \pm 2 \mu\text{g m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$, e de $237 \pm 290 \mu\text{g m}^{-3}$ para $4 \pm 3 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} após a substituição do fogão. As concentrações de CO_2 variaram de 476 ± 53 de para 445 ± 8 ppm e formaldeído de $0,033 \pm 0,127$ para $0,001 \pm 0,000$. Essas residências foram similares durante a primeira e segunda fase do estudo.

Essa significativa redução na concentração de material particulado detectada na Casa 7 após a substituição do fogão está relacionada à manutenção da estrutura base do fogão e ao uso adequado da nova tecnologia. Entre as residências revisadas, a Casa 7 foi uma das poucas que preservou a estrutura original do fogão, enquanto nas outras residências constatou-se alargamento na entrada de lenha do fogão e retirada da chapa de aquecimento.

Em relação aos parâmetros físicos, a temperatura variou de 25 a 39 °C e a umidade relativa de 71 % a 92 % nas cozinhas. A temperatura externa esteve na faixa de 26 °C, com umidade relativa em torno de 90 %.

4.3

Emissões da queima de GLP

Realizou-se o monitoramento da qualidade do ar em cozinhas que utilizam somente o GLP como combustível a fim de dimensionar a exposição causada por combustíveis considerados não poluentes pela OMS. O perfil temporal dos parâmetros investigados está representado nas Figuras 24 a 29.

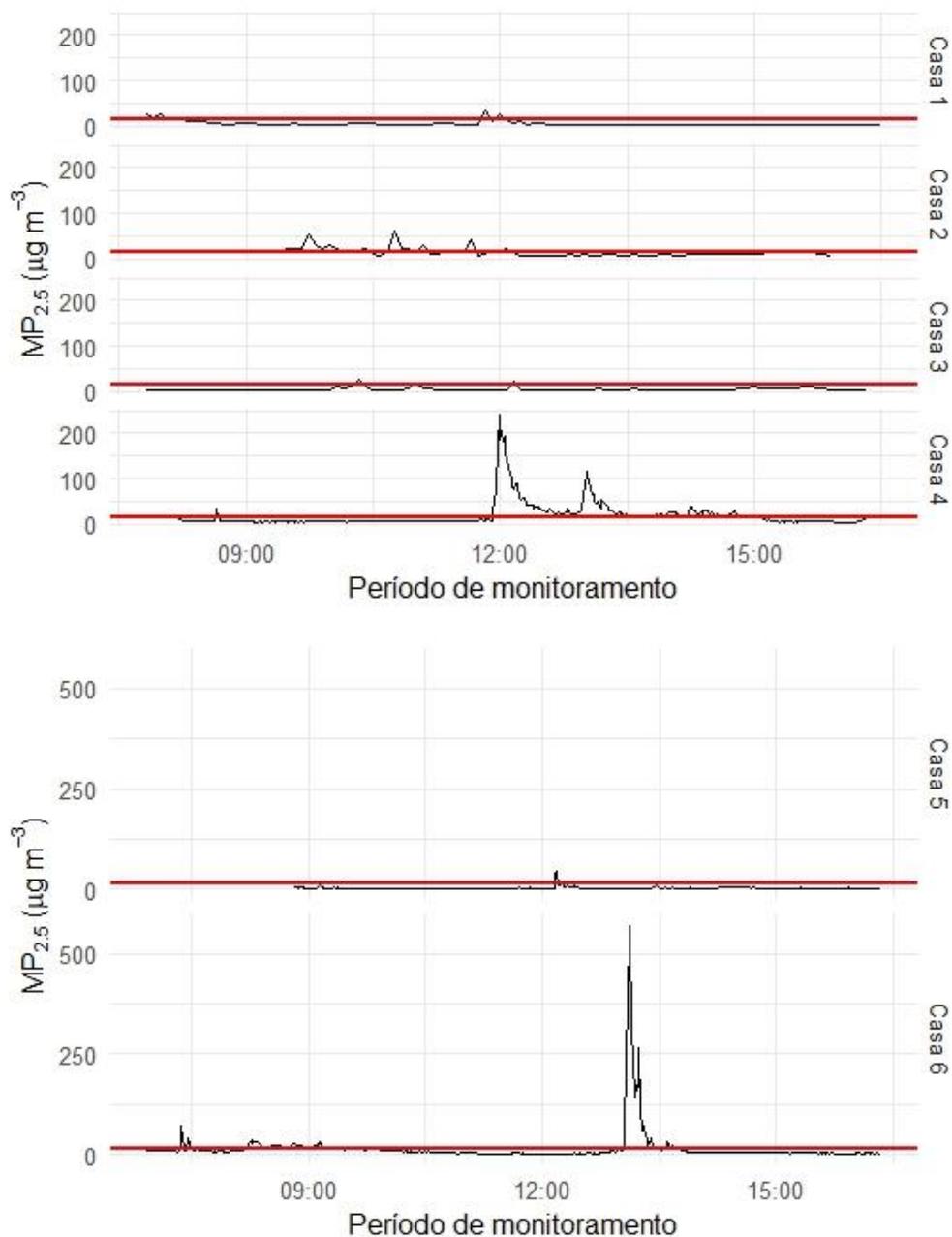


Figura 24. Perfil temporal da concentração de $MP_{2,5}$ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo

(GLP). A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência ($15 \mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).

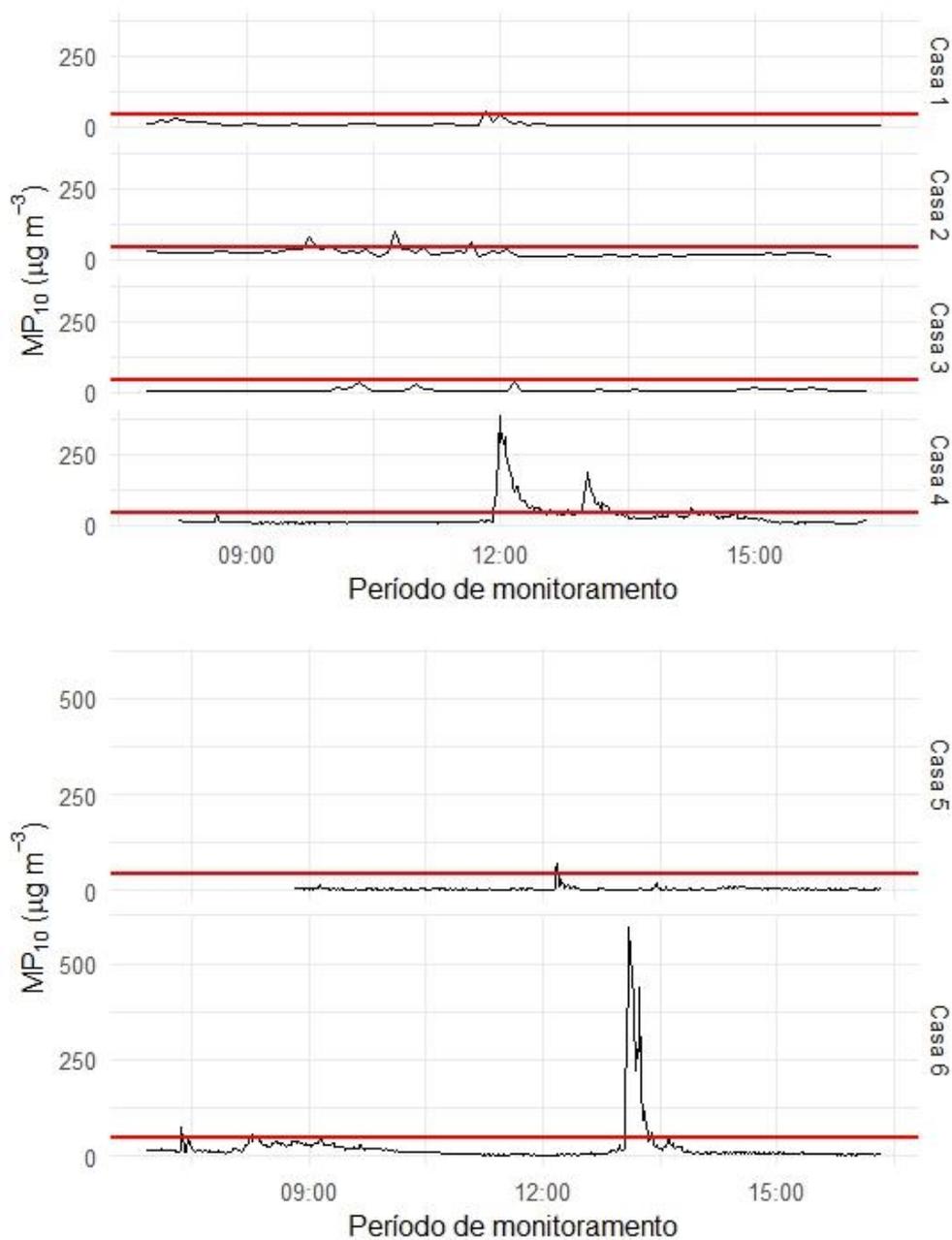


Figura 25. Perfil temporal da concentração de MP_{10} durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP). A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência ($45 \mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021).

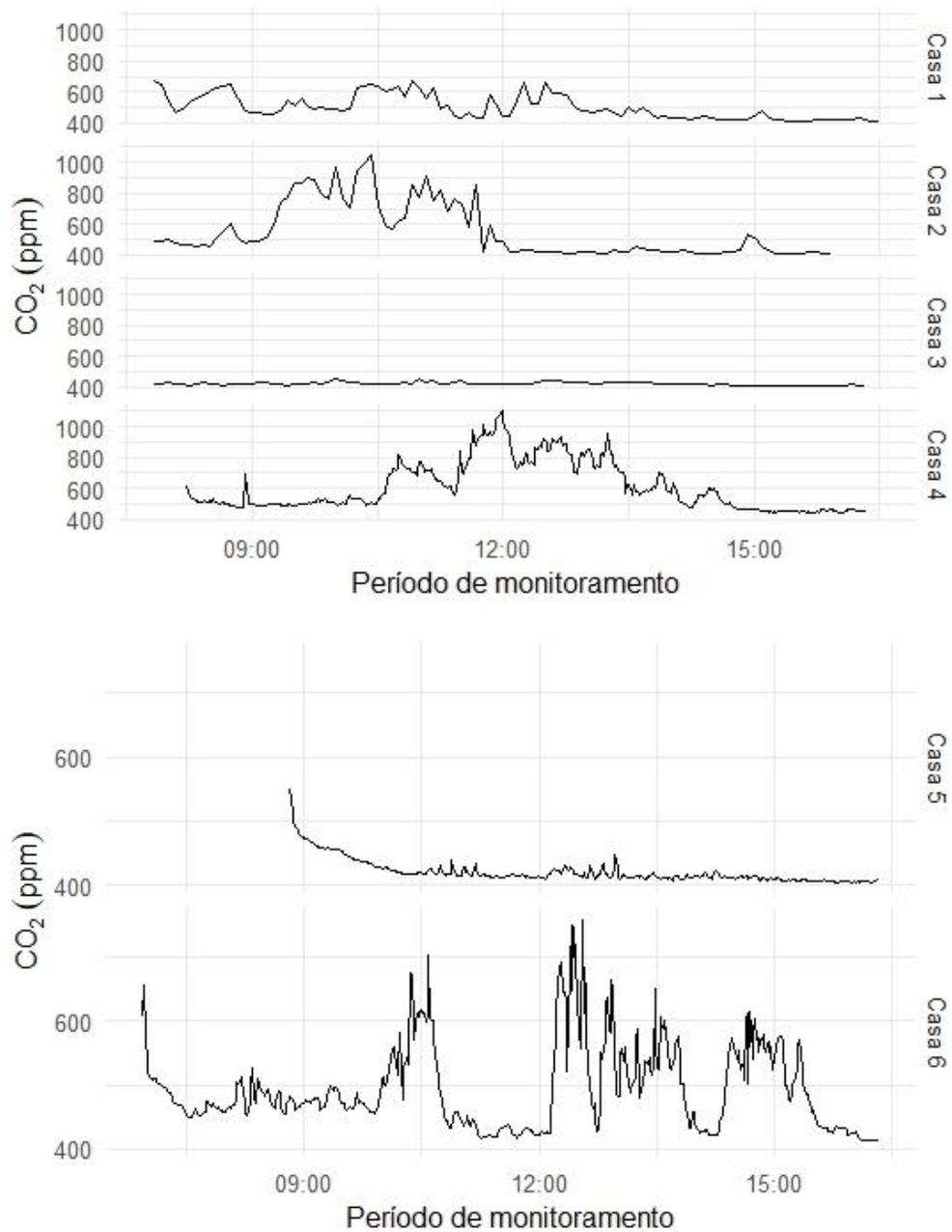


Figura 26. Perfil temporal da concentração de CO₂ durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP).

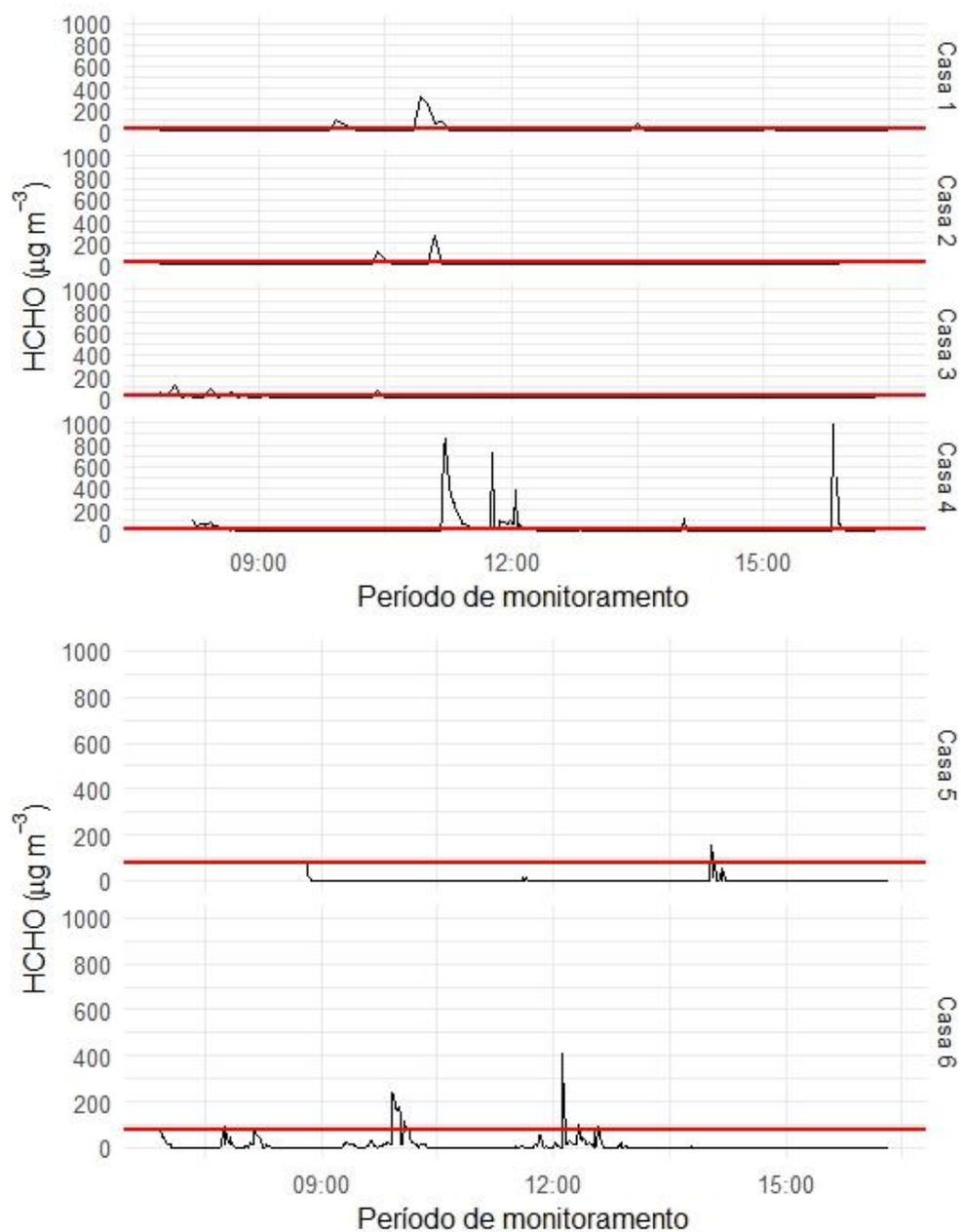


Figura 27. Perfil temporal da concentração de HCHO durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP). A linha horizontal em vermelho representa o valor de referência ($100 \mu\text{g m}^{-3}$) segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).

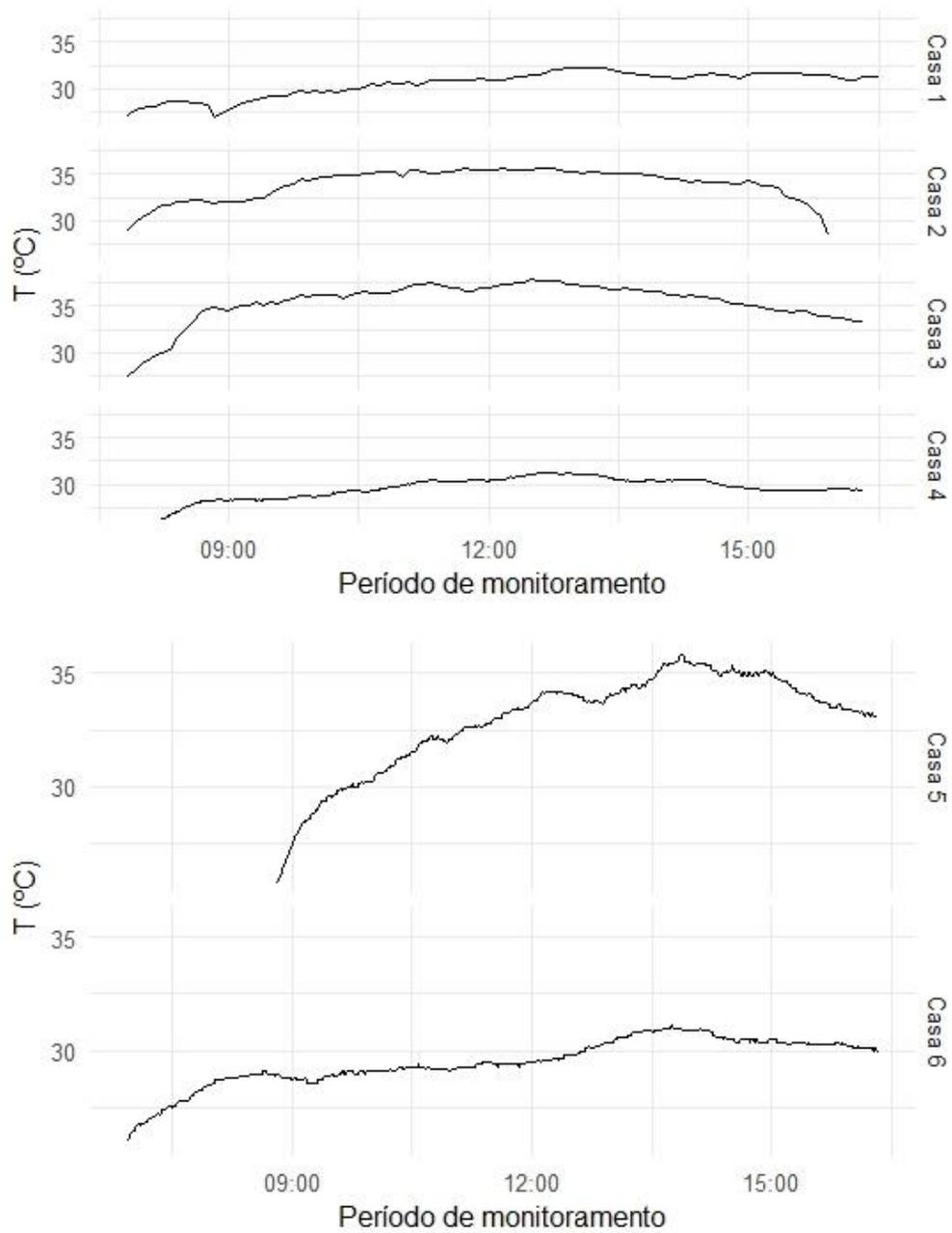


Figura 28. Perfil temporal da temperatura interna durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP).

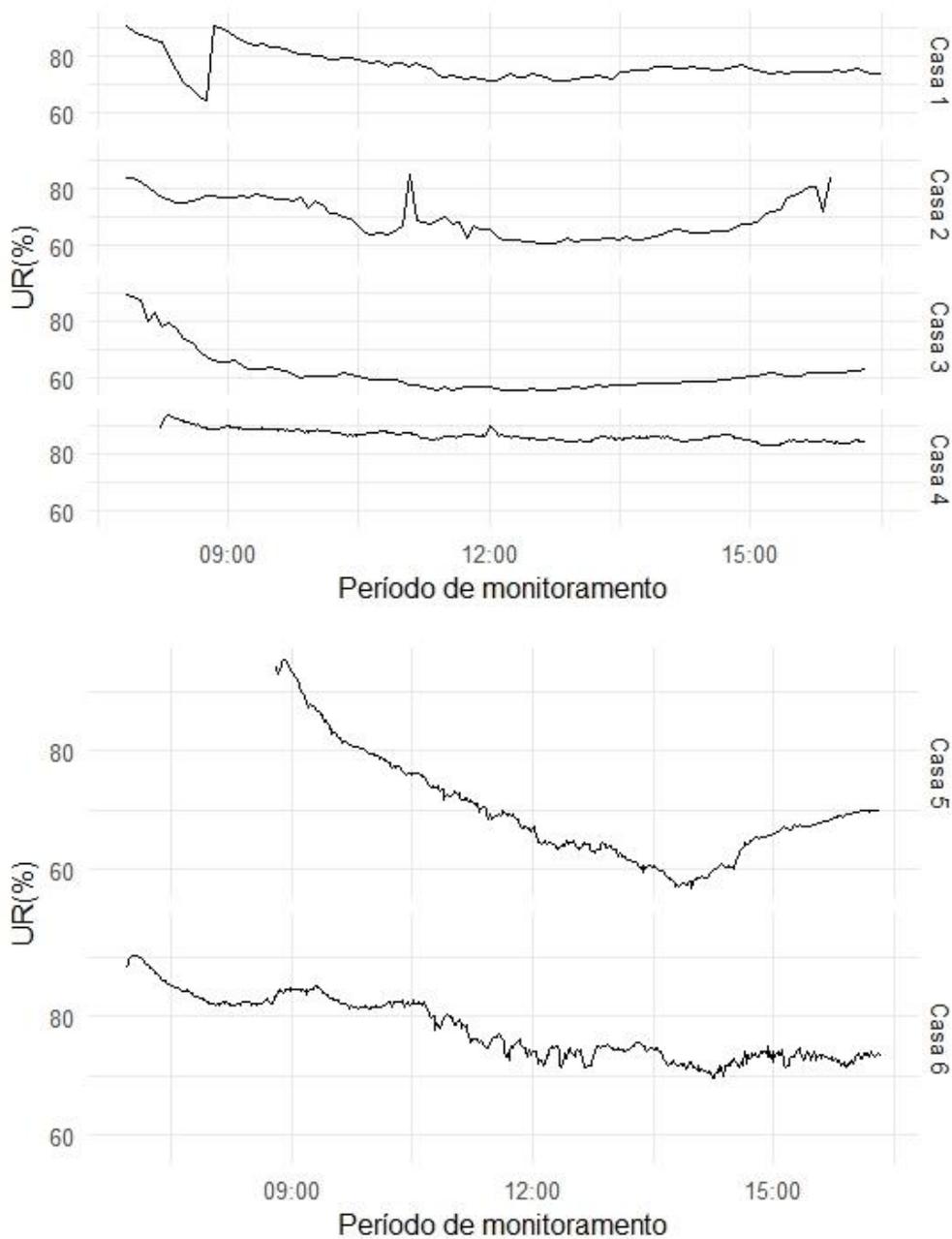


Figura 29. Perfil temporal da umidade relativa do ar durante o período de monitoramento nas residências que utilizavam fogões modernos movidos a gás liquefeito de petróleo (GLP).

Os valores médios de concentração e seus respectivos desvios padrão para os poluentes analisados estão descritos na Tabela 9, referente à queima de GLP em fogões modernos. Esses dados serão utilizados para a análise comparativa das emissões de poluentes de acordo com o tipo de combustível utilizado. Embora o foco principal deste estudo seja a queima de lenha, os

resultados obtidos para o GLP ajudarão a dimensionar a carga de poluentes a que as pessoas estão expostas devido ao uso de lenha para fins domésticos.

Tabela 9. Concentrações médias e desvio padrão durante a queima de gás liquefeito de petróleo (GLP) em fogões modernos.

CASA	MP_{2,5} (µg m⁻³)	MP₁₀ (µg m⁻³)	CO₂ (ppm)	HCHO (µg m⁻³)
1	6 ± 6	8 ± 8	501 ± 79	0,012 ± 0,043
2	15 ± 8	23 ± 14	550 ± 173	0,007 ± 0,029
3	5 ± 4	7 ± 6	423 ± 10	0,006 ± 0,017
4	18 ± 28	29 ± 45	610 ± 160	0,030 ± 0,127
5	3 ± 3	4 ± 5	420 ± 19	0,002 ± 0,01
6	15 ± 42	22 ± 57	493 ± 65	0,010 ± 0,031
Externo (faixa)	5 ± 1	10 ± 1	450 ± 560	0,002 ± 0,007

Ressalta-se que, durante esta fase do estudo, as casas monitoradas mantiveram suas atividades cotidianas inalteradas. Nas Casas 2, 4 e 5, por exemplo, era comum que os moradores varressem o chão e limpassem os móveis em diversos momentos, o que pode explicar os valores elevados de material particulado detectados pelos equipamentos durante o monitoramento. Os pesquisadores decidiram não interferir nas atividades diárias das residências para obter um perfil de concentração mais representativo da realidade.

4.4

Comparação do fogão a lenha tradicional x fogão a lenha ecoeficiente

As Figuras 30 a 33 demonstram a média e desvio padrão para o $MP_{2,5}$, MP_{10} , CO_2 e $HCHO$ para o fogão ecoeficiente e fogão tradicional.

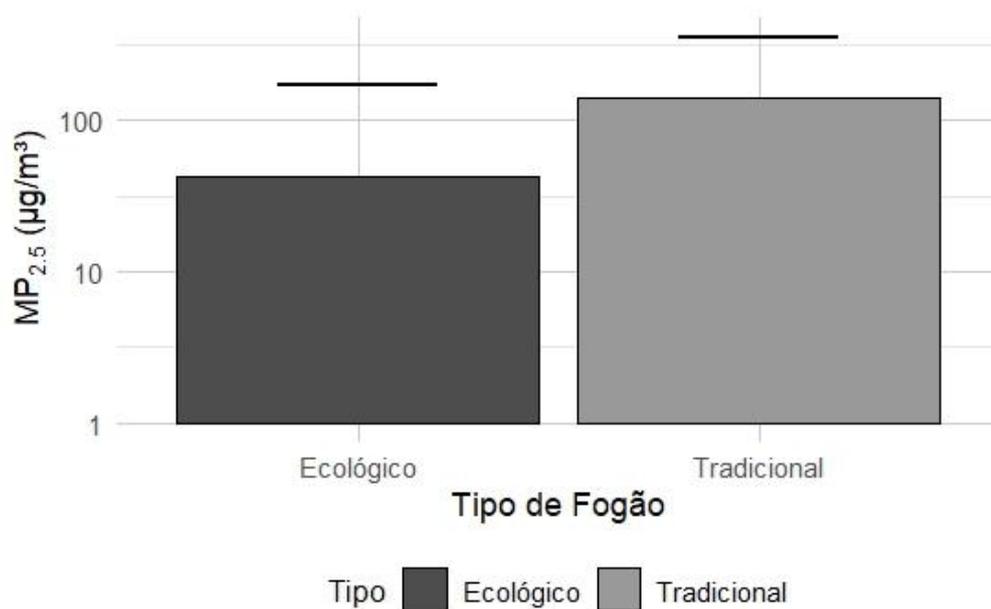


Figura 30. Concentração média e desvio padrão de $MP_{2,5}$ para o fogão ecoeficiente e tradicional.

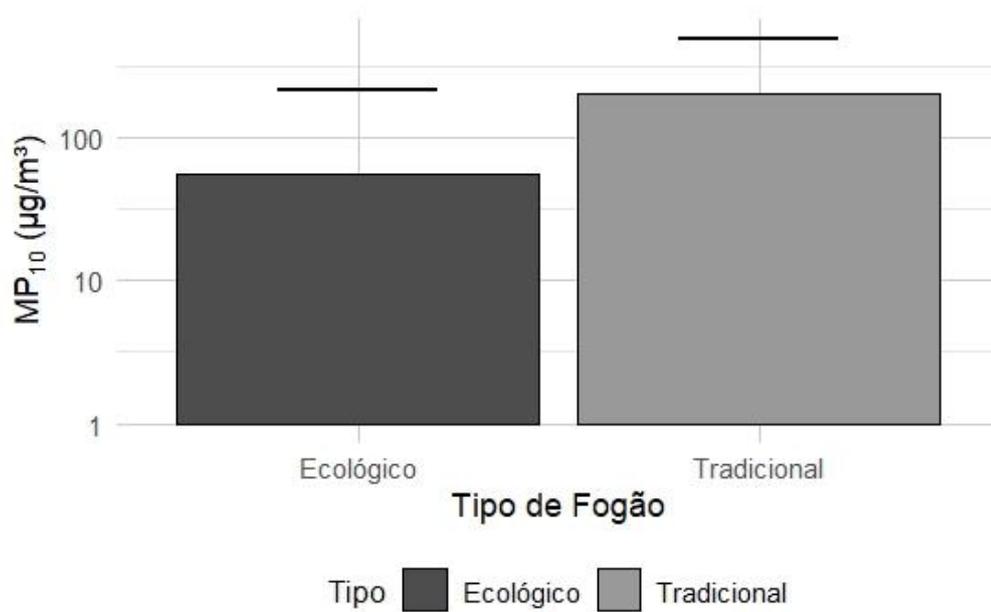


Figura 31. Concentração média e desvio padrão de MP_{10} para o fogão ecoeficiente e tradicional.

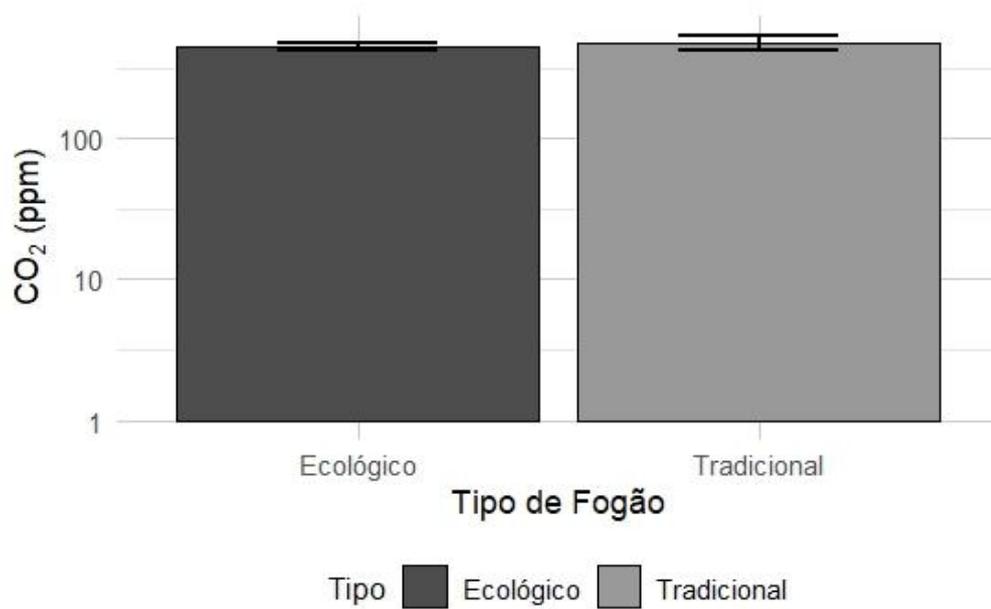


Figura 32. Concentração média e desvio padrão de CO_2 para o fogão ecoeficiente e tradicional.

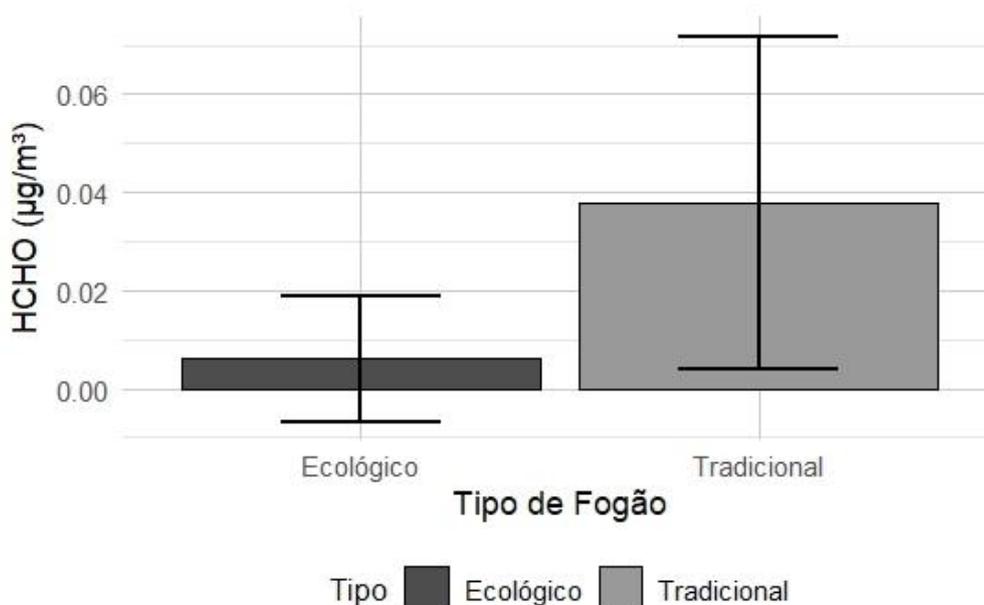


Figura 33. Concentração média e desvio padrão de HCHO para o fogão ecoeficiente e tradicional.

A substituição do fogão tradicional pelo fogão ecológico resultou em uma redução na carga de poluentes no interior das cozinhas monitoradas. As concentrações médias de poluentes foram comparadas entre os dois tipos de fogão. Para o material particulado $MP_{2,5}$, as concentrações médias passaram de $138 \pm 216 \mu\text{g m}^{-3}$ para $45 \pm 154 \mu\text{g m}^{-3}$, e para o MP_{10} , de $202 \pm 287 \mu\text{g m}^{-3}$ para $59 \pm 191 \mu\text{g m}^{-3}$. As concentrações médias de CO_2 diminuíram de $477 \pm 62 \text{ ppm}$ para $443 \pm 36 \text{ ppm}$, e de HCHO de $0,04 \pm 0,04 \text{ mg m}^{-3}$ para $0,006 \pm 0,002 \text{ mg m}^{-3}$. Os valores de concentração de cada poluente foram analisados estatisticamente utilizando o teste t de Student. A diferença foi altamente significativa, com uma estatística t de -21,784 e um valor de p inferior a $2,2 \times 10^{-16}$, indicando uma probabilidade extremamente baixa de que essa diferença tenha ocorrido por acaso. Os resultados estão representados nos boxplots a

seguir para os poluentes $MP_{2,5}$, MP_{10} , CO_2 e $HCHO$ (Figuras 34 a 37).

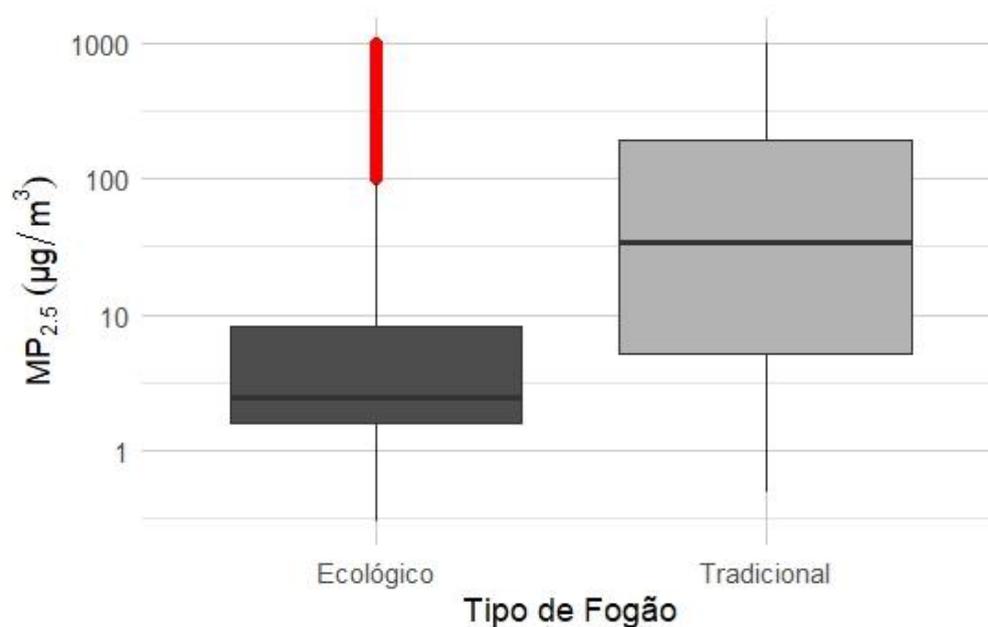


Figura 34. Boxplot das concentrações médias de $MP_{2,5}$ para fogões ecoeficientes e tradicionais. As caixas representam o intervalo interquartil (IQR), a linha dentro de cada caixa indica a mediana, e os "whiskers" mostram a variação dos dados dentro de 1,5 vezes o IQR. Pontos fora dos "whiskers" são considerados outliers.

A Figura 34 ilustra que a concentração média de $MP_{2,5}$ é significativamente menor nos fogões ecoeficientes em comparação com os fogões tradicionais, com um valor de p menor que $2.2e^{-16}$.

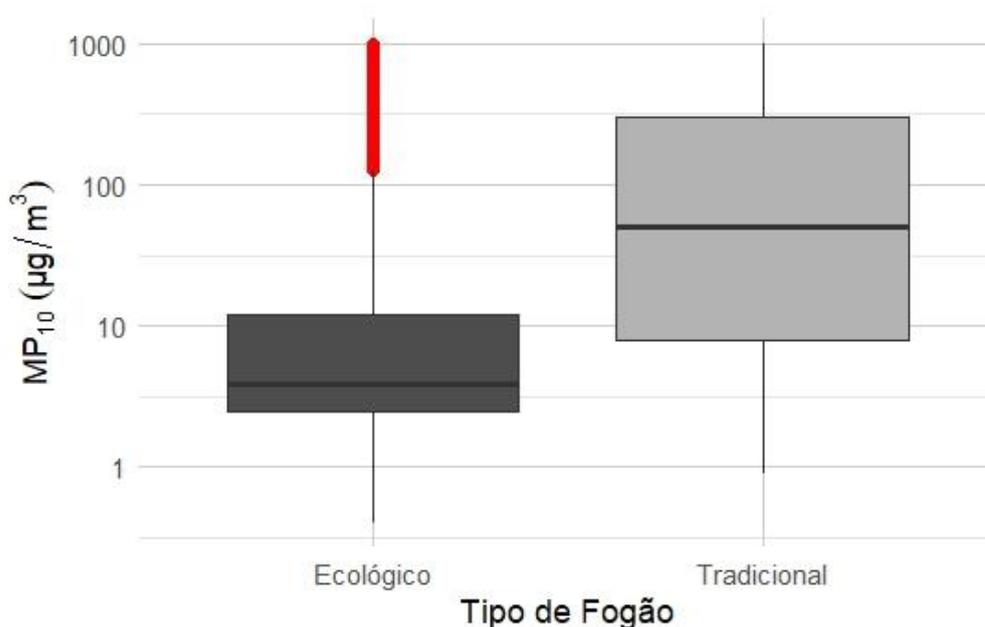


Figura 35. Boxplot das concentrações médias de MP_{10} para fogões ecoeficientes e tradicionais. As caixas mostram o intervalo interquartil (IQR), a linha dentro da caixa representa a mediana, e os "whiskers" indicam a variação dos dados dentro de 1,5 vezes o IQR. Outliers são exibidos como pontos fora dos "whiskers".

A Figura 35 ilustra que a concentração média de MP_{10} é significativamente menor nos fogões ecoeficientes em comparação com os fogões tradicionais, com um valor de p menor que $2.2e^{-16}$.

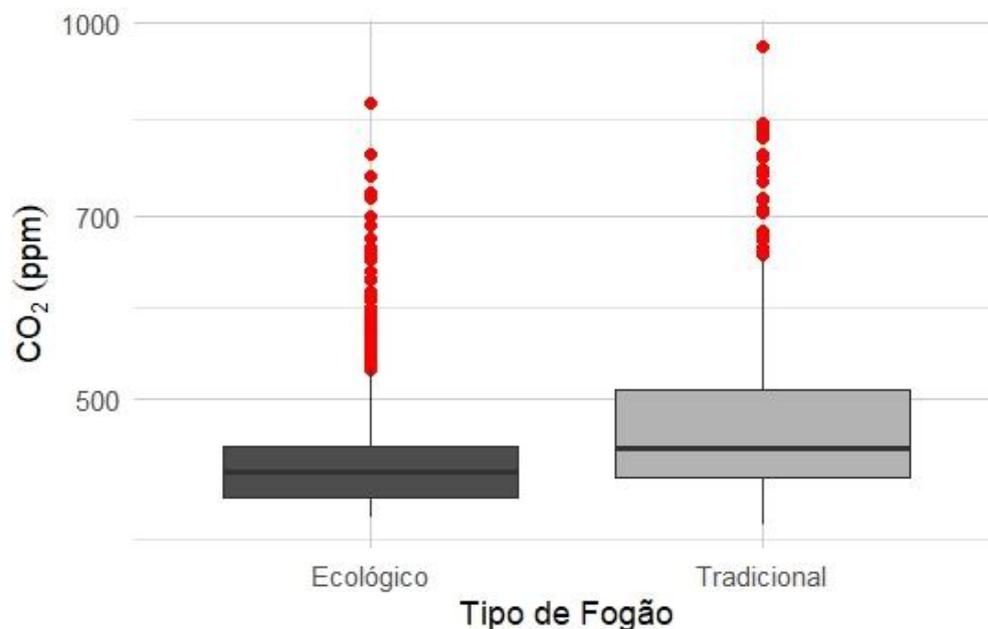


Figura 36. .Boxplot das concentrações médias de CO₂ para fogões ecoeficientes e tradicionais. As caixas representam o intervalo interquartil (IQR), a linha dentro da caixa indica a mediana, e os "whiskers" mostram a variação dos dados dentro de 1,5 vezes o IQR. Outliers são destacados como pontos fora dos "whiskers"

A Figura 37 demonstra que a concentração média de CO₂ é menor nos fogões ecológicos em comparação com os tradicionais, embora a diferença seja menor em termos absolutos. Isso indica que, apesar da diferença estatisticamente significativa na concentração de CO₂ entre os tipos de fogões, a redução na emissão desse poluente é menos pronunciada em comparação com a redução observada para outros poluentes. Assim, embora o uso de fogões

ecológicos resulte em uma diminuição da concentração de CO₂, essa redução não é tão acentuada quanto a redução de outros poluentes.

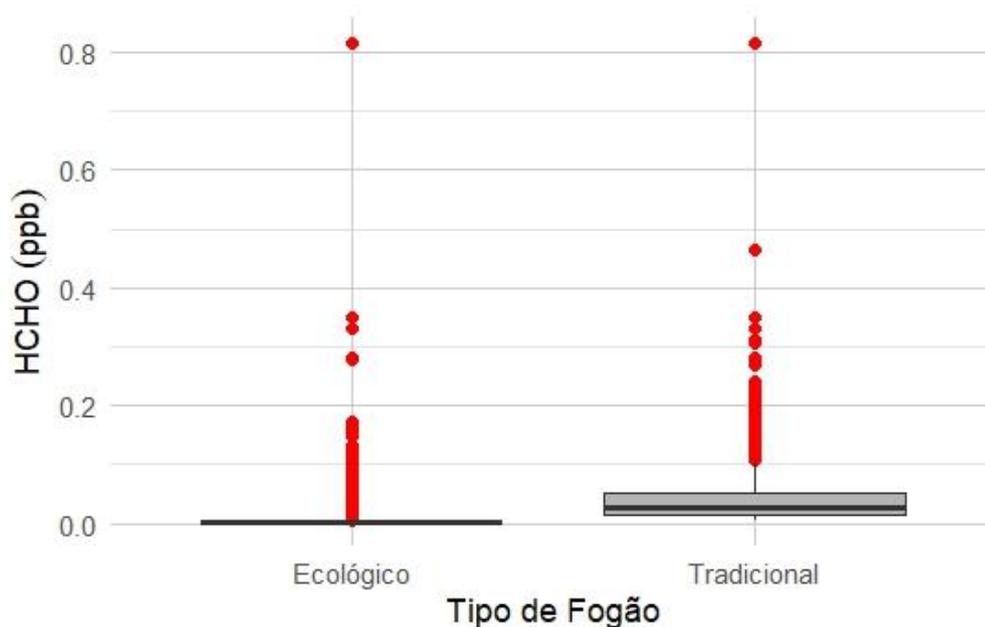


Figura 37. Boxplot das concentrações médias de HCHO para fogões ecoeficientes e tradicionais. As caixas mostram o intervalo interquartil (IQR), a linha dentro da caixa indica a mediana, e os "whiskers" refletem a variação dos dados dentro de 1,5 vezes o IQR. Outliers são representados como pontos fora dos "whiskers"

A Figura 37 evidencia uma redução substancial na concentração média de HCHO nos fogões ecoeficientes em comparação com os tradicionais, com um valor de p menor que $2.2e^{-16}$.

A análise estatística dos dados revelou que as concentrações médias para o material particulado foram estatisticamente menores nos fogões ecoeficientes quando comparados aos fogões tradicionais. Para o MP_{2,5} houve uma redução robusta confirmada pelo intervalo de confiança de -102,30 a -85,41 $\mu\text{g m}^{-3}$, já pra o MP₁₀, a variação foi de -153,63 a -131,63 $\mu\text{g m}^{-3}$, destacando a eficiência do fogão ecoeficiente na diminuição desses poluentes.

A análise das concentrações de CO₂ e formaldeído também demonstrou diferenças estatisticamente relevantes entre os fogões tradicionais e ecoeficientes. Para o CO₂, a concentração média nos fogões tradicionais foi de 477 ppm, enquanto nos fogões ecológicos a concentração média foi de 443 ppm. O intervalo de confiança de 95 %, de -36,02 a -31,52 ppm, indica que, apesar

de menor em termos absolutos, é estatisticamente significativa, confirmando uma redução na emissão de CO₂ para o fogão ecoeficiente. Todavia, é necessário aumentar o número de casas monitoradas para obtenção de dados mais próximos da realidade.

Em relação ao HCHO, a concentração média para o fogão tradicionais foi de 0,038 µg m⁻³ contra 0,006 µg m⁻³ nos fogões ecoeficientes, com intervalo de confiança de -0,0332 a -0,0303 µg m⁻³ sugere uma redução robusta na concentração de HCHO com a substituição do fogão.

Houve uma redução de 69 % e 72 % nas concentrações de MP_{2,5} e MP₁₀, respectivamente, nas residências que substituíram o fogão tradicional pela tecnologia desenvolvida pelo Instituto Perene. Além disso, houve uma redução de aproximadamente 52 % no consumo de biomassa, o que resultou em menor emissão e acúmulo de fumaça nas cozinhas.

A análise estatística dos dados de concentração revelou que os valores de mínimo, máximo, média, 1º e 2º quartil foram numericamente menores após a substituição do fogão tradicional pelo fogão ecoeficiente. A tecnologia empregada na cocção é crucial para a qualidade do ar interno. Estruturas rústicas, sem isolamento adequado e sistemas de exaustão ineficazes facilitam a emissão e dificultam a dispersão de partículas inaláveis.

Os hábitos alimentares semelhantes nas residências monitoradas permitiram uma análise comparativa da carga de poluentes emitidos por tipo de fogão, independentemente de serem as mesmas residências da primeira parte do estudo. A substituição da fonte poluidora, ou seja, do fogão, evidenciou uma melhoria significativa na qualidade do ar.

Chakraborty e Monda (2022) realizaram estudo semelhante e também encontraram concentrações menores após a troca de fogão. Neste estudo a concentração média de MP_{2,5} foi de 223 µg m⁻³ e 394 µg m⁻³ para MP₁₀ em cozinhas de comunidades rurais que utilizavam fogões a lenha rústicos. Após a instalação de fogões melhorados, essas concentrações baixaram para 64 µg m⁻³ e 102 µg m⁻³ para MP_{2,5} e MP₁₀, respectivamente. De forma semelhante, Armendáriz-arnez et al. (2010) relataram uma redução de 60 % na concentração de MP_{2,5} com a melhoria das tecnologias de cocção. Outros estudos também confirmam os benefícios da transição para fontes de energia menos poluentes (Embiale et al., 2020; Ajieh et al., 2023).

Ressalta-se que a maior eficiência energética é alcançada quando os usuários dos fogões ecoeficientes recebem orientação adequada sobre o uso e os benefícios dessas tecnologias. Em algumas casas visitadas durante a segunda fase do estudo, observou-se alterações na estrutura do fogão, o que pode explicar os picos de concentração de material particulado presentes no perfil de concentração temporal e uma concentração média maior que o esperado.

Assim como observado em outros estudos similares, o aperfeiçoamento do fogão mostrou-se um aliado no processo de transição energética no setor residencial, especialmente em se tratando de povos tradicionais como as comunidades quilombolas e indígenas (Armendáriz-Arnez et al.,2010). Tendências semelhantes na diminuição da carga de poluentes emitida após a substituição do fogão por outras versões mais eficientes também foi observado por Taye et al., 2020.

Dessa maneira, observou-se que a construção de tecnologias mais eficientes para cocção, como o fogão ecológico construído pelo Instituto Perene, além de demandar menor quantidade de combustível por refeição, também reduz significativamente a emissão de material particulado e outros poluentes, além de oferecer um sistema de exaustão mais eficiente. Essas características garantem melhor aproveitamento energético durante a cocção com combustíveis sólidos e contribuem para redução da pobreza energética no país, especialmente em áreas rurais onde o consumo de biomassa para fins domésticos é comum.

4.5

Comparação das emissões da lenha x GLP

A nível de comparação, as Figuras 38 até 41 e a Tabela 10 trazem um paralelo entre as concentrações médias para MP_{2,5}, MP₁₀, CO₂ e HCHO para o fogão tradicional, fogão ecoeficiente e fogão moderno movido a GLP.

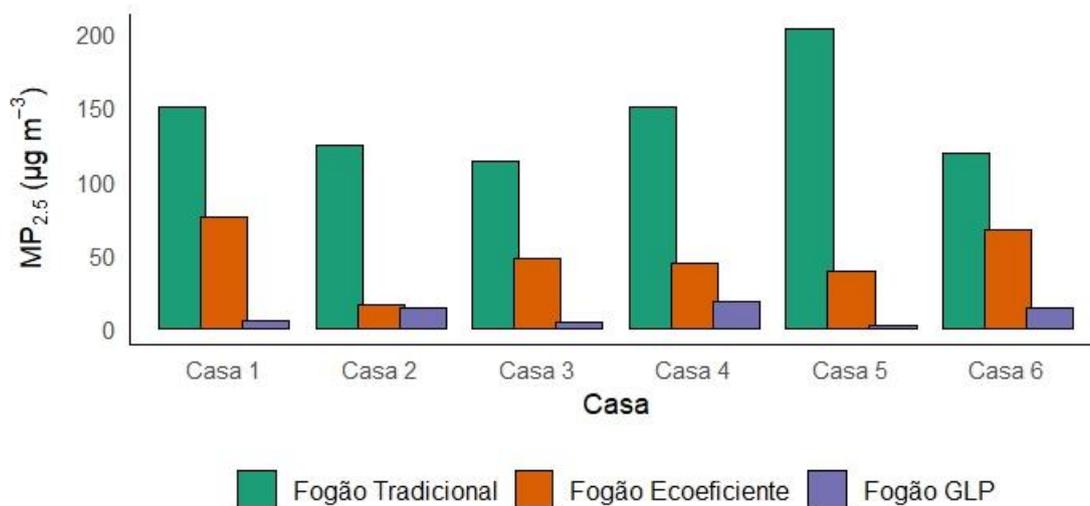


Figura 38. Concentrações médias de $MP_{2.5}$ conforme o tipo de fogão utilizado.

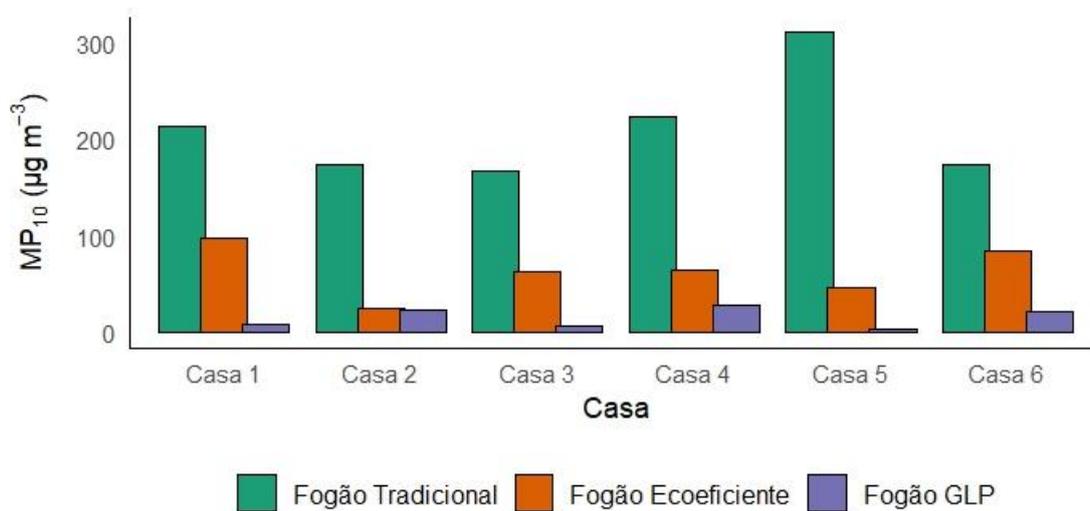


Figura 39. Concentrações médias de MP_{10} conforme o tipo de fogão utilizado.

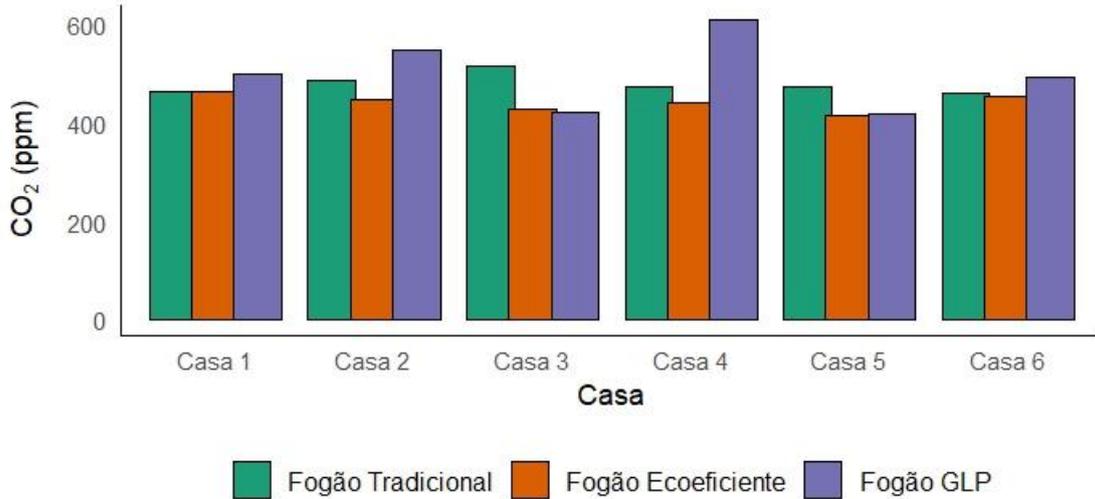


Figura 40. Concentrações médias de CO₂ conforme o tipo de fogão utilizado.

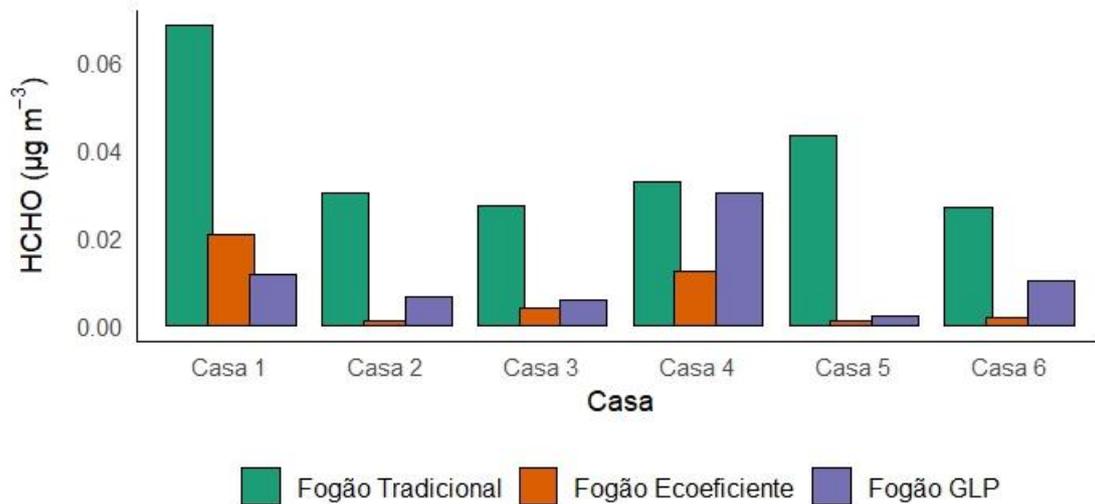


Figura 41. Concentrações médias de HCHO conforme o tipo de fogão utilizado.

A comparação das concentrações médias de poluentes entre diferentes tipos de fogão revelou informações significativas, sendo importante destacar que este comparativo não constitui o objetivo principal do trabalho. Esse comparativo ilustra as diferenças na eficiência e no impacto dos distintos tipos de fogão na qualidade do ar interno, destacando as vantagens do fogão ecoeficiente quando comparado ao fogão tradicional.

Tabela 10. Comparativo da concentração média e desvio padrão para MP_{2,5}, MP₁₀, CO₂ e HCHO para os três tipos de fogão: Tradicional (TRAD), Ecoeficiente (ECO) e moderno à gás (GLP).

Casa	MP _{2,5} (µg m ⁻³)			MP ₁₀ (µg m ⁻³)			CO ₂ (ppm)			HCHO (mg m ⁻³)		
	TRAD	ECO	GLP	TRAD	ECO	GLP	TRAD	ECO	GLP	TRAD	ECO	GLP
1	151	76	6	213	98	8	466	464	501	0,068	0,021	0,012
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	232	213	6	289	255	8	58	35	79	0,059	0,024	0,043
2	124	17	15	175	25	23	487	448	550	0,03	0,001	0,007
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	215	66	8	270	80	14	71	55	173	0,029	0,001	0,029
3	113	48	5	167	64	7	517	429	423	0,027	0,004	0,006
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	192	161	4	260	193	6	72	22	10	0,025	0,013	0,017
4	151	45	15	223	65	23	476	442	570	0,033	0,001	0,03
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	216	138	25	298	193	39	57	37	151	0,025	0,045	0,127
5	198	44	3	310	47	4	476	418	418	0,043	0,001	0,002
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	± 0	±
	210	119	3	304	166	4	31	18	18	0,017		0,01
6	120	67	13	174	86	20	463	455	484	0,027	0,002	0,01
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	213	204	40	285	86	53	52	10	66	0,025	0,006	0,031
WHO guidel ines	15			45			1000			0,100		

A comparação das emissões de poluentes entre os fogões tradicional, ecoeficiente e GLP mostra reduções significativas ao se adotar os modelos mais eficientes, conforme a tabela 10. Para o MP_{2,5}, o fogão ecoeficiente reduziu as

concentrações em aproximadamente 50 % a 85 % em relação ao fogão tradicional, enquanto o GLP conseguiu reduções de 88 % a 96 %. Em relação ao MP_{10} , as reduções com o fogão ecoeficiente variaram entre 40 % e 86 %, e com o GLP, entre 90 % e 96 %. As concentrações de CO_2 diminuíram em média de 5 % a 20 % com o fogão ecoeficiente e entre 4 % e 17 % com o GLP, comparado ao fogão tradicional. As concentrações de HCHO foram reduzidas em 50 % a 95 % com o fogão ecoeficiente e entre 60 % e 99 % com o fogão GLP. Esses resultados indicam que a substituição de fogões tradicionais por ecoeficientes ou GLP proporciona melhorias significativas na qualidade do ar interno, particularmente em termos de material particulado e formaldeído.

4.5

Questionários Socioeconômicos

As famílias que participaram do estudo concordaram previamente em responder ao questionário socioeconômico a respeito do uso doméstico de combustíveis sólidos. Os núcleos familiares são compostos em média de 5 pessoas. Cerca de 80 % das famílias entrevistadas disseram utilizar lenha e GLP como combustíveis para cocção (Figura 42). No entanto, todas afirmaram que a lenha é o principal combustível utilizado.

Qual combustível é utilizado para cocção em sua residência?
8 respostas

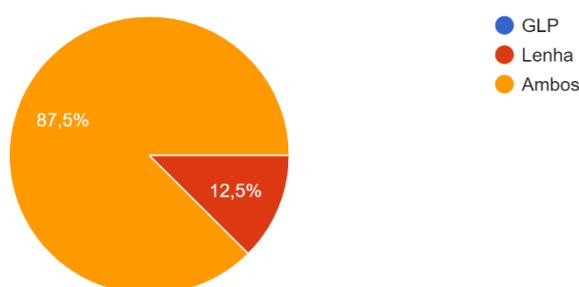


Figura 42. Tipo de combustível utilizado pelas residências.

Embora o fogão a GLP esteja disponível, muitos residentes continuam a utilizar lenha devido ao alto custo dos botijões de 13 kg, a distância entre a comunidade e a cidade de Cachoeiras, resulta em custos de frete elevados. Além disso, conforme observado em estudos sobre comunidades da América Latina,

o uso de lenha está profundamente enraizado em questões culturais (Arderiusa et al., 2023; Ravillard et al., 2023), dificultando a substituição completa por fontes de energia mais limpas, como o GLP.

A escolha entre lenha e GLP também está vinculada ao tipo de alimento a ser preparado, ao tempo disponível para o preparo, à disponibilidade de lenha e às variações no preço do GLP. A Figura 54 ilustra que 37,5 % dos entrevistados preferem usar lenha, enquanto 12,5 % optam pelo GLP, refletindo a importância cultural do fogão a lenha. Estudos adicionais confirmam essa tendência, apoiando a hipótese de que a escolha do combustível está associada aos costumes tradicionais, como observado em comunidades indígenas do Amazonas (Mazzone et al., 2023).

Você prefere cozinhar com lenha ou gás ?

8 respostas

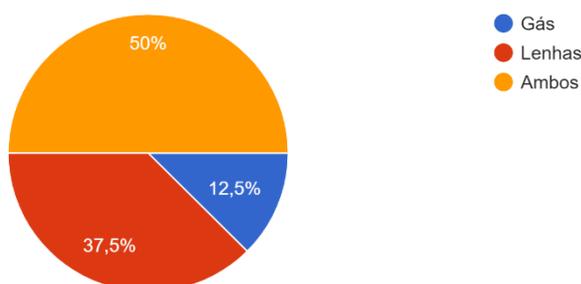


Figura 43. Combustíveis preferidos pelos entrevistados.

A coleta e o preparo da lenha para uso no fogão são realizados exclusivamente por mulheres e crianças. A lenha é geralmente recolhida em áreas nativas da região, localizadas a uma distância de até 5 km das residências. Esses grupos acabam expostos aos poluentes gerados pela queima da lenha. Estudos destacam os problemas de saúde enfrentados por mulheres e crianças devido à poluição interna, especialmente em países em desenvolvimento da América Latina, África e Ásia (Nardocci et al., 2023; Isara, 2021). Nesse contexto, o uso de combustíveis sólidos para fins domésticos intensifica as desigualdades sociais entre os gêneros nessas comunidades.

Durante a visita, os moradores foram questionados sobre os incômodos causados pela queima da lenha nos fogões tradicionais. Muitos relataram problemas como o acúmulo de fumaça nas cozinhas, a deposição de cinzas e

fuligem nas paredes e utensílios, e o odor persistente da fumaça. Foi solicitado aos moradores que avaliassem o desconforto geral causado pela fumaça em uma escala de 0 a 5. Os resultados estão apresentados na Figura 44.

Numa escala de 0 a 5, qual grau de incômodo gerado pela fumaça?

8 respostas

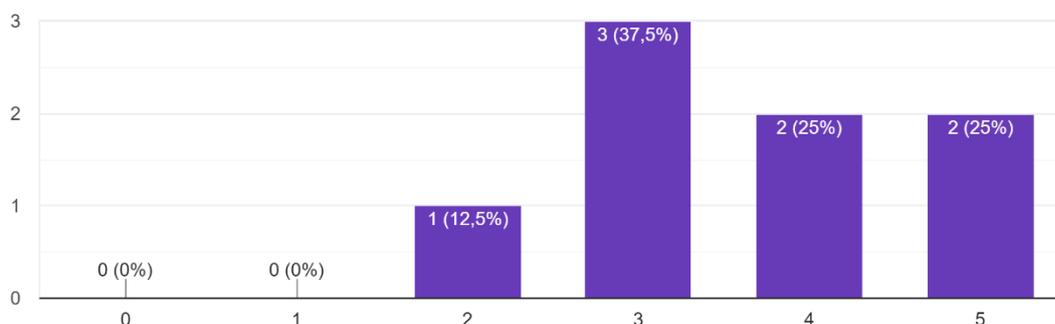


Figura 44. Grau de incômodo geral pelo fogão tradicional.

Os resultados indicam que a queima de lenha em fogões tradicionais é ineficiente e resulta em uma maior emissão de poluentes dentro das cozinhas, manifestando-se na forma de fumaça. Na pesquisa, metade dos entrevistados relatou a ocorrência de crises alérgicas entre membros de suas famílias, conforme ilustrado na Figura 45.

Há relatos de crises alérgicas em sua residência?

8 respostas

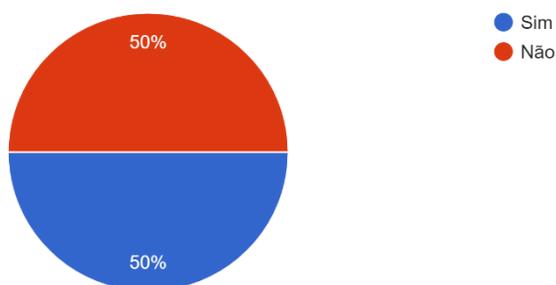


Figura 45. Relatos de crises alérgicas.

Após a substituição do fogão tradicional pelo fogão ecoeficiente desenvolvido pelo Instituto Perene, todos os participantes relataram melhorias na qualidade de vida durante as atividades cotidianas, atribuídas à redução dos

impactos causados pela queima de lenha dentro de suas residências. Essa melhoria foi evidenciada pela diminuição do incômodo associado a essa tecnologia, conforme mostrado na Figura 46. A evolução na estrutura dos fogões proporcionou uma melhor exaustão dos produtos gerados durante a queima da lenha, resultando na redução da fumaça dispersa nas cozinhas.

Numa escala de 0 a 5, qual grau de incomodo gerado pela fumaça?

7 respostas



Figura 46. Grau de incômodo geral pelo fogão ecoeficiente.

O uso da lenha, além de ser economicamente mais viável, está atrelado a questões culturais da comunidade quilombola e, dessa maneira, a introdução de novos hábitos deve ser acompanhada de conversa contínua com a comunidade e de educação ambiental capaz de sensibilizar os indivíduos quanto seu papel para com o meio ambiente.

4.6

Dificuldades e projeções

Dentre as limitações encontradas no estudo, destaca-se a dificuldade de acesso à comunidade quilombola para a realização do trabalho de campo, o que exigiu o internamento dos pesquisadores durante o período de amostragem. Além disso, alguns participantes não se sentiram à vontade com a presença dos pesquisadores dentro dos cômodos da casa durante o monitoramento.

O tempo restrito para o trabalho de campo também limitou a coleta de dados e informações, assim como o número de residências monitoradas. Estudos futuros podem contribuir expandindo essa análise para um número maior de residências, além de incluir a coleta de material particulado e análises químicas de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e *black carbon* para os diferentes tipos de fogões, bem como a realização de testes toxicológicos.

Fatores como a qualidade da lenha e os hábitos alimentares também podem ser mais bem explorados em estudos subsequentes, visando uma compreensão mais ampla de seus impactos na qualidade do ar doméstico em residências que utilizam lenha para cocção.

Além disso, observou-se a necessidade de acompanhamento das residências que adotam novas tecnologias, a fim de garantir educação suficiente sobre os benefícios do uso de tecnologias menos poluentes, evitando a alteração na estrutura dos fogões e assegurando seu funcionamento adequado. Isso pode permitir, em estudos futuros, a quantificação da redução na emissão de gases de efeito estufa (GEE) a partir da substituição por tecnologias mais eficientes.

Por fim, estudos futuros devem considerar as características estruturais das residências e a capacidade de renovação do ar no interior das cozinhas, fatores que podem influenciar significativamente a qualidade do ar interno.

Conclusão

O uso de lenha como combustível sólido para cocção é agravado pela baixa eficiência dos fogões a lenha tradicionais. Esses fogões não apenas demandam uma grande quantidade de biomassa, o que exige mais esforço ou tempo dos indivíduos para obtenção do combustível, mas também emitem altos níveis de poluentes, como $MP_{2,5}$, MP_{10} , CO_2 , HCHO e HPA. Essa exposição a elevados níveis de poluentes tóxicos contribui para a poluição do ar doméstico, agravando as condições de saúde dos moradores. Esse cenário contraria as metas globais de desenvolvimento sustentável e contribui para o aumento da pobreza energética no Brasil.

Este estudo avaliou os impactos do tipo de combustível e das tecnologias de cocção, focando na queima de lenha em fogões tradicionais *versus* ecológicos, no contexto das alternativas para a transição energética no setor residencial. A substituição pelo fogão ecoeficiente resultou em uma redução significativa de 50-60 % nos níveis de material particulado emitido durante a queima da lenha, quando utilizado de forma adequada. No entanto, mesmo com a redução, as concentrações de poluentes permanecem acima dos limites recomendados pela OMS. Além disso, houve uma diminuição de cerca de 50 % na quantidade de lenha consumida e uma menor acumulação de fumaça no interior das residências. As concentrações de HCHO também apresentaram reduções significativas após a substituição do fogão.

Observou-se uma redução de 69 % nas concentrações de $MP_{2,5}$ e de 72 % nas de MP_{10} nas residências que adotaram a tecnologia de fogão ecoeficiente desenvolvida pelo Instituto Perene, em substituição ao fogão tradicional. A redução no $MP_{2,5}$ foi expressiva, com um intervalo de confiança entre -102,30 e -85,41 $\mu g m^{-3}$. Para o MP_{10} , a variação foi de -153,63 a -131,63 $\mu g m^{-3}$, evidenciando a eficácia do fogão ecológico na mitigação desses poluentes.

A análise das concentrações médias de poluentes mostrou diferenças significativas entre os tipos de fogões avaliados. A troca do fogão tradicional pelo fogão ecoeficiente resultou em uma redução notável na emissão de poluentes. As concentrações médias de $MP_{2,5}$ diminuíram de $138 \pm 216 \mu g m^{-3}$ para $45 \pm 154 \mu g m^{-3}$, enquanto as de MP_{10} reduziram de $202 \pm 287 \mu g m^{-3}$ para 59 ± 191

$\mu\text{g m}^{-3}$. As médias de CO_2 caíram de 477 ± 62 ppm para 443 ± 34 ppm, e as de formaldeído (HCHO) foram reduzidas de $0,004 \pm 0,002$ mg m^{-3} para $0,006 \pm 0,001$ mg m^{-3} . Já o fogão a GLP apresentou concentrações médias de 12 ± 29 $\mu\text{g m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$, 18 ± 41 $\mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} , 506 ± 125 ppm para CO_2 e $0,013 \pm 0,010$ mg m^{-3} para HCHO. Esses dados demonstram a eficácia do fogão ecoeficiente na redução de poluentes, com o GLP também apresentando menores emissões, embora não tenha sido o principal foco do estudo.

A análise dos questionários aplicados aos usuários dos fogões tradicional e ecológico indica possível adaptação à nova tecnologia. Após a substituição do fogão, os usuários relataram uma diminuição no consumo de lenha e na acumulação de fumaça dentro das residências. Contudo, um ano após a troca, foram observadas alterações na estrutura dos fogões em várias casas, como o alargamento da entrada de lenha e a abertura das chapas metálicas, resultando em fogo aberto. Isso ressalta a importância de associar a substituição das tecnologias poluentes a uma preparação adequada dos usuários para o uso correto das novas tecnologias.

Adicionalmente, a comparação das emissões de poluentes entre as três tecnologias confirmou que o GLP emite menos partículas durante a combustão, sendo, por isso, considerado um combustível limpo pela OMS.

Este estudo contribui para a avaliação da qualidade do ar no interior das residências e avança na direção do cumprimento da agenda internacional de desenvolvimento sustentável.

Referências

ADALAI, Thiago Nogueira; PIAI, Kamila de Almeida; CAVENDISH, Thais Araújo; KUMAR, Prashant. **Indoor environment exposure and children's health**. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, v. 32, 2023, p. 100449. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100449>.

ALTA do gás de cozinha em 2022 elevou consumo de lenha no Brasil ao maior volume em 13 anos. Uol, 2023. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2023/06/29/alta-do-gas-de-cozinha-em-2022-elevou-consumo-de-lenha-no-brasil-ao-maior-volume-em-13-anos.htm>. Acesso em: 26 out. 2023.

ANTONELLA, Talita Cruz; BEZERRA, Paula. **Firewood in the forest: Social practices, culture, and energy transitions in a remote village of the Brazilian Amazon**. *Energy Research & Social Science*, v. 74, 2021, p. 101980.

AQ, Isara A.R. **Household air pollution and respiratory symptoms of women and children in a suburban community in Nigeria**. *Turk Thorac J.*, v. 22, n. 6, 2021, p. 466-472.

BENNITT, F.B.; WOZNIAK, S.S.; CAUSEY, K.; BURKART, K.; BRAUER, M. **Estimating disease burden attributable to household air pollution: new methods within the Global Burden of Disease Study**. *Lancet Global Health*, v. 9, 2021, p. S18. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00126-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00126-1).

CONSUMO de gás de cozinha no País chega à pior marca em 9 anos, aponta estudo. Carta Capital, 2022. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/sociedade/consumo-de-gas-de-cozinha-no-pais-chega-a-pior-marca-em-9-anos-aponta-estudo/>. Acesso em: 26 out. 2023.

CHAKRABORTY, N.K.; MONDAL, N. **Reduction in household air pollution and associated health risk: a pilot study with an improved cookstove in rural households**. Clean Technologies and Environmental Policy, v. 23, 2021, p. 1993-2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02098-9>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional, 2024**. Séries Históricas. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Acesso em: jan. 2024.

ESTÉVEZ-GARCÍA, J.A.; schilman, a.; riojas-rodríguez, h.; berrueta, v.; blanco, s.; villaseñor-lozano, c.g.; flores-ramírez, r.; cortez-lugo, m.; pérez-padilla, r. **Women exposure to household air pollution after an improved cookstove program in rural San Luis Potosi, Mexico**. Science of The Total Environment, v. 702, 2020, p. 134456. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134456>.

ESMAP. **The State of Access to Modern Energy Cooking Services (English)**. Washington, D.C.: World Bank Group, 2020. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/937141600195758792/The-State-of-Access-to-Modern-Energy-Cooking-Services>.

FULLER, r.; landrigan, p.j.; balakrishnan, k.; bathan, g.; bose-o'reilly, s.; brauer, m.; yan, c. **Pollution and health: a progress update**. The Lancet Planetary Health, 2022.

GIODA, A. **Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global**. Química Nova, v. 41, n. 8, 2018, p. 839-848. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170260>.

GTA2030. **Brazil's 2024 Voluntary National Review on the SDGs**. GT Agenda 2030, 2024. Disponível em: <https://gtagenda2030.org.br/wp-content/uploads/2024/07/rl-2024-english.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de Amostra de Domicílio (PNAD), 2023.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html>. Acesso em: jan. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, 2023.** Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/>. Acesso em: nov. 2023.

MAPA da pobreza FGV. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/e1e4a97d-8eba-4364-89ca-e3a9e91e3fae>.

MARTÍNEZ vallejo, I.a.; hernández pardo, m.a.; benavides piraçón, J.A.; et al. **Exposure levels to PM2.5 and black carbon for people with disabilities in rural homes of Colombia.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 193, 2021, p. 37. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08803-3>.

MITRA, p.; chakraborty, d.; mondal, n.k. **Assessment of household air pollution exposure of tribal women.** Science of The Total Environment, v. 817, 2022, p. 152869. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152869>.

POBREZA energética: por que a queda no consumo de GLP no país importa. Exame, 2023. Disponível em: <https://exame.com/exame-in/pobreza-energetica-por-que-a-queda-no-consumo-de-glp-no-pais-importa/>. Acesso em: 26 out. 2023.

Rajkumar, s.; clark, m.l.; young, b.n.; et al. **Exposure to household air pollution from biomass-burning cookstoves and HbA1c and diabetic status among Honduran women.** Indoor Air, v. 28, 2018, p. 768-776. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ina.12484>.

Siddique, s.; ray, m.r.; lahiri, T. **Effects of air pollution on the respiratory health of children: a study in the capital city of India.** Air Quality, Atmosphere

& Health, v. 4, 2011, p. 95-102. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0079-2>.

Taye, a.; chandravanshi, b.; zewge, f.; sahle-demessie, e. **Indoor air pollution from cook-stoves during Injera baking in Ethiopia, exposure, and health risk assessment.** Archives of Environmental & Occupational Health, v. 76, 2020, p. 1-13. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19338244.2020.1787317>.

WORLD Health Organization. **What are the WHO air quality guidelines?** Disponível em: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>.

WORLD Health Organization (WHO). **Household air pollution attributable DALYs.** Disponível em: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/household-air-pollution-attributable-dalys>. Acesso em: maio 2023.

7.

Anexo I

Lista de interessados em participar do projeto

“Este projeto é uma parceria da PUC-Rio com o Instituto Perene e a Petrobrás. Nós queremos conhecer como as famílias da comunidade cozinham, o que usam para preparar a comida, se gás, lenha, restos de madeira ou carvão. As famílias que aceitarem participar, nós iremos conhecer a casa e colocar algumas plantas e filtros que fazem a coleta de ar. Também vamos fazer umas perguntas (questionário). Vamos conhecer se o ar da sua casa está bom ou ruim. Porque o ar poluído causa muitos problemas de saúde. Se o ar de sua casa estiver ruim, vamos dar algumas dicas de como melhorar. Todas as informações que nos derem serão utilizadas exclusivamente para os fins da pesquisa. O nome de vocês não será divulgado. Então, você/senhor gostaria de participar da nossa pesquisa?”

(.) SIM

(..) NÃO

Nome completo:

Nome como é conhecida a pessoa na comunidade:

Comunidade:

Município:

Local e data:

Nome do pesquisador:

8.

Anexo II

Termo de consentimento

Eu(nome do sujeito de pesquisa, idade, estado civil, profissão, endereço), estou sendo convidado a participar de um estudo denominado “Avaliação dos níveis de poluentes em cozinhas localizadas no Recôncavo Baiano que utilizam dois tipos de combustíveis para cocção: lenha e Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)”, cujo objetivo é entender como a queima de GLP e lenha afetam a

qualidade do ar e de vida dos ocupantes do domicílio. A minha participação no referido estudo será no sentido de informar as características de minha família e minha casa e permitir que sejam coletadas amostras de ar no meu domicílio. Fui informado de que a pesquisa me trará como benefícios orientações que ajudam a minimizar a poluição do ar e com isso evite danos à saúde de minha família. Tive esclarecimentos de como funciona os equipamentos de coleta e os cuidados que devo ter. Além disso, fui informado da necessidade de usar energia elétrica durante as coletas. Estou ciente que as informações que dei podem ser usadas para fins acadêmicos e científicos, desde que meu nome ou de meus familiares não sejam mencionados. Também fui informado de que posso me recusar a participar do estudo, ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e, se desejar sair da pesquisa, não sofrerei qualquer prejuízo à assistência que venho recebendo pelo Instituto Perene. Caso o respondente se sinta constrangido ou com algum desconforto diante das perguntas ou da visita ao domicílio, deve informar aos pesquisadores e a entrevista e a visita serão imediatamente interrompidas. Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são: Profa. Adriana Gioda (agioda@puc-rio.br e celular: (21) 98336-8230) e Dr. Alex Rubén Huaman De La Cruz (alebut2@hotmail.com, cel. (+51 986834982) e com eles poderei manter contato. Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor do aqui mencionado e compreendido a natureza e objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum

valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação. Estou ciente que as informações que dei podem ser usadas para fins acadêmicos e científicos, desde que meu nome ou de meus familiares não sejam mencionados.

No entanto, caso eu tenha qualquer despesa decorrente da participação na pesquisa, haverá ressarcimento na forma de depósito em conta corrente. De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente da minha participação no estudo, serei devidamente indenizado, conforme determina a lei. A Câmara de Ética em Pesquisa da PUC-Rio poderá ser consultada sobre dúvidas éticas sobre o projeto em qualquer momento. Rua Marquês de São Vicente 225, Edifício Kennedy, 2o. andar - Gávea- CEP 22453-900, Rio de Janeiro, RJ. Tel. (21) 35261816.

Esse documento será assinado em duas vias, uma permanecendo com o participante e a outra com o pesquisador

Local e data:

Assinatura do Participante da Pesquisa

Assinatura do Pesquisador

9.

Anexo III

Termo de compromisso para utilização de dados

Os pesquisadores do projeto de pesquisa Profa. Dra. Adriana Gioda e Dr. Alex Rubén Huaman De La Cruz intitulado “Avaliação dos níveis de poluentes em cozinhas localizadas no Recôncavo Baiano que utilizam dois tipos de combustíveis para cocção: lenha e Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)”, comprometem-se a preservar a privacidade dos participantes cujos dados serão coletados no domicílio e colocados em bases de dados do Laboratório de Química Atmosférica do Departamento de Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (LQA/DQ/PUC Rio). Concordam, e assumem a responsabilidade, de que estas informações serão utilizadas para execução do presente projeto e publicações científicas e acadêmicas. Comprometem-se ainda a fazer divulgação das informações coletadas somente de forma anônima

Local e data:

10.

Anexo IV

Questionário

Nome completo:

Idade:

Sexo:

Apelido:

Município/comunidade:

Renda:

Profissão:

Grau de instrução:

Número de dependentes:

Lenha é o principal combustível utilizado em sua residência para cozinhar?

No caso de utilizar lenha, qual a origem? (Coletada ou comprada)

Se for coletada, qual a distância da casa?

Quem costuma coletar a lenha?

Quanto tempo é gasto nesta coleta?

A coleta é feita nas matas nativas da região?

Qual tipo de árvore é preferencial?

Se for comprada, qual o preço do saco/kilo?

Qual consumo mensal de lenha?

Qual tipo de fogão é utilizado em sua residência? (Ex. Tradicional ou ecoeficiente)

O fogão está localizado dentro ou fora da residência?

O fogão a lenha possui chaminé?

Numa escala de 0 a 5, qual grau de incomodo gerado pela fumaça?

Há casos de problemas respiratórias na residência? Se sim, quais?

Há relatos de crises alérgicas em sua residência? Se sim, com qual frequência?

Quais outros problemas relacionados a lenha?

A lenha também é usada para outros fins? (ferver mariscos, fogueira, aquecimento?)

O fogão a gás é também usado?

Qual consumo mensal de gás?

Que alimentos são preparados no fogão a gás?

11.

Anexo V

Apresentações em congressos

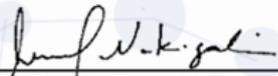


46ª Reunião Anual da SBQ

28 a 31 de Maio de 2023

Águas de Lindóia · SP

Atestamos que o trabalho "**Black carbon and particulate matter mass concentrations in the metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil**", autoria de **Alex Ruben Huamán De La Cruz, Luiz Felipe, Luis Fhernando Mendonça da Silva, Ricardo Henrique Moreton Godoi, Vanesa Abelaira dos Anjos e Adriana Gioda**, foi apresentado na forma de pôster durante a 46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química.



Shirley Nakagaki Bastos
Presidente da SBQ



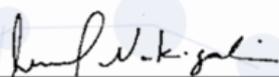
Luiz Gonzaga de França Lopes
Secretário Geral da SBQ

46ª Reunião Anual da SBQ

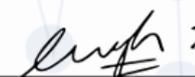
28 a 31 de Maio de 2023

Águas de Lindóia · SP

Atestamos que o trabalho "**Study of air quality in homes that use rudimentary wood-burning stoves for cooking.**", autoria de **Luiz Felipe, Adriana Gioda e Alex Ruben Huamán De La Cruz**, foi apresentado na forma de pôster durante a 46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química.



Shirley Nakagaki Bastos
Presidente da SBQ



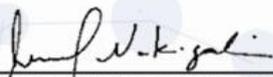
Luiz Gonzaga de França Lopes
Secretário Geral da SBQ

46ª Reunião Anual da SBQ

28 a 31 de Maio de 2023

Águas de Lindóia · SP

Em nome da Comissão Organizadora da 46ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, agradecemos a participação de **Luiz Felipe de M. C. Da Silvana Sessão Coordenada: Química Ambiental I**, realizada no dia **29/05/2023**, apresentando o trabalho **Study of air quality in homes that use rudimentary wood-burning stoves for cooking.**



Shirley Nakagaki Bastos
Presidente da SBQ



Luiz Gonzaga de França Lopes
Secretário Geral da SBQ

Verifique o código de autenticidade 72952467-655276-540917-3-8675028773887163088 em <https://www.event3.com.br/documentos>

Panorama Ambiental:
retrocessos,
avanços e
perspectivas

XV LASEAC
LATIN AMERICAN SYMPOSIUM ON
ENVIRONMENTAL ANALYTICAL CHEMISTRY

X ENQAmb
Encontro Nacional de
Química Ambiental

March 18-21, 2024 • Ouro Preto, MG - Brazil



CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho intitulado **Avaliação dos níveis de material particulado (MP10 e MP2,5) em cozinhas que utilizam lenha para cocção em fogões rudimentares e em tecnologias de transição no Recôncavo Baiano**, de autoria de LUIZ FELIPE DE MENEZES CORREIA DA SILVA, Profa. Dra. Adriana Gioda e Alex De La Cruz, foi apresentado no evento **XV LASEAC - X ENQAmb 2024**, realizado em 18/03/2024 a 21/03/2024, na cidade de Ouro Preto, contabilizando carga horária total de 33 horas.

Ouro Preto, 18/03/2024 a 21/03/2024

Prof. Dra. Roberta E. S. Froes
Organizadora





Certificate

CHALLENGES OF TOXICOLOGY
FACING ENVIRONMENTAL RISKS
AND HUMAN HEALTH

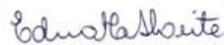
III Latin American Congress of Environmental, Experimental
and Nanomaterials Toxicology

SEPTEMBER 26TH - 29TH
BELO HORIZONTE
MINAS GERAIS - BRAZIL

We hereby certify that the abstract
CASE STUDY: TOXICOLOGICAL ANALYSIS OF SOOT FROM A LABORATORY CAUGHT FIRE

submitted by
JOSÉ RODRIGUES FERNANDES DO NASCIMENTO SANTOS, LUIZ FELIPE DE MENEZES CORREIA DA SILVA, ALLAN VINICIUS ALMEIDA DO AMARAL, LUIS FHERNANDO MENDONÇA DA SILVA, CARLOS LEONNY RAIMUNDO FRAGOSO, PEDRO RODRIGUES SAMPAIO, ADRIANA GIODA, PIERRE MOTHÉ ESTEVES

was presented in **poster form** at the III Latin American Congress of Environmental, Experimental and Nanomaterials Toxicology held during September 26 to 29 2023 in Federal University of Minas Gerais, Brazil.
Belo Horizonte, September 29, 2023.


Edna Maria Alvarez Leite
President of Scientific Committee


Leiliane Coelho André
President of ToxiLatin 2023 Congress

<https://www.Mabtools.com.br/Certificados/Validar?V=www.WN20v/WN0W/2R0N4S2V/R0WVW0V8>



XVIII Encontro Regional
da Sociedade Brasileira
de Química - SBQ-RJ

4 a 7 de outubro de 2022
Centro Cultural Professor Horácio Macedo
CCMN - UFRJ

Certificado



PARTICIPAÇÃO

Certifico que **LUIZ FELIPE DE MENEZES** participou XVIII Encontro Regional da SBQ-Rio,
realizado no CCMN-UFRJ dos dias 4 a 7 de outubro de 2022.

Rio de Janeiro, 07/10/2022

Melissa C. Romão
Profª Dra. Melissa Carmo Romão
Presidente da Comissão Organizadora -
Secretaria Regional da SBQ-Rio (UFRJ)



Anexo VI

Artigo publicado

ARTIGO

Avaliação da qualidade do ar de interiores (QAI) em ambientes de uma instituição de ensino superior (IES)

Luiz Felipe de M. C. Da Silva¹

Pedro Emanuel Tosato¹

Robson Petroni²

Leonardo Cozac²

Nelzair Vianna³

Adriana Gioda^{1*}

