

**CONDIÇÃO LABORAL DE COMBATENTES DO FOGO EM
RELAÇÃO AO MONÓXIDO DE CARBONO E MATERIAL
PARTICULADO**

Paola Aires Lócio de Alencar

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

CONDIÇÃO LABORAL DE COMBATENTES DO FOGO EM
RELAÇÃO AO MONÓXIDO DE CARBONO E MATERIAL
PARTICULADO

Paola Aires Lócio de Alencar

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília, como parte
das exigências para obtenção do título de
Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli
Matricardi

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira

Brasília-DF, 29 de novembro de 2018



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade de Tecnologia – FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

**CONDIÇÃO LABORAL DE COMBATENTES DO FOGO EM
RELAÇÃO AO MONÓXIDO DE CARBONO E MATERIAL
PARTICULADO**

Estudante: Paola Aires Lócio de Alencar

Matrícula: 12/0019931

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Menção: SS

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli
Matricardi Universidade de Brasília -UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador (EFL)

Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira
Universidade de Brasília -UnB
Co-orientador (ECO)

Prof. Dr. Ricardo Gaspar de Oliveira
Universidade de Brasília - UnB
Membro da Banca

Brasília – DF, 29 de novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade de Brasília, pela oportunidade de fazer o curso, seu corpo docente, direção e administração que em conjunto trabalham para promover um ambiente tranquilo e amigável.

A todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional. Em especial agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Eraldo A. T. Matricardi, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta monografia, nossas conversas durante e para além dos grupos de estudos foram fundamentais. Também agradecer ao coorientador Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira, que partilhou comigo o broto do que veio a ser este trabalho, deu vida à Sonda SAPHIRA a qual possibilitou a realização desta pesquisa. E agradeço imensamente à Lara Steil do PREVFOGO/IBAMA de Brasília, por ter compartilhado comigo um material de pesquisa internacional, disponibilizado diretamente por um dos representantes do comitê de proteção respiratória da National Fire Protection Association (NFPA).

Agradeço imensamente a minha mãe Susi Aires, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Sem a sua força a realização desse sonho não seria possível. Meu amor por você é o que continua me movendo.

Às minhas amigas que me forneceram todo o suporte emocional, sem as quais seria muito mais difícil terminar essa jornada.

E a todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

RESUMO

CONDIÇÃO LABORAL DE COMBATENTES DO FOGO EM RELAÇÃO AO MONÓXIDO DE CARBONO E MATERIAL PARTICULADO

O presente estudo buscou analisar a exposição dos combatentes de incêndios florestais à concentração de monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP) em condições laborais comumente observadas em áreas naturais para estes trabalhos. Foi utilizada uma sonda SAPHIRA 3 (versão 4b) alocada nas costas de um brigadista do PREVFOGO/IBAMA em duas condições: embarcado em veículo automotor (trajeto até a área de ocorrência do fogo) e caminhando (durante as atividades de manejo integrado do fogo). A sonda adquiriu automaticamente dados de data, horário, número de observações, deslocamento, localização espacial (posição com GPS), altitude, velocidade, temperatura, pressão, concentração de CO, MP (fino, grosso e total), umidade e embarque (caminhando ou em veículo automotor). Os dados coletados em campo foram utilizados para identificar as condições laborais típicas dos combatentes de fogo. Os resultados foram analisados à luz das normas vigentes aplicáveis para o caso de estudo, segundo CONAMA 03/1990, Organização Mundial de Saúde (OMS), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e Conferência Americana de Higienistas Industriais (ACGIH). Foram obtidos registros durante 11 dias descontínuos (entre 07/12/2016 e 05/03/2017) no estado de Roraima, onde o PREVFOGO realizou campanhas de Manejo Integrado do Fogo (MIF). No total foram registradas 20,03 horas de percurso a pé, em velocidade média de 2,18 km/h e 6,24 horas de percurso embarcado em veículo automotor, em velocidade média de 38,38 km/hora. O tempo médio de jornada em MIF foi de 2,6 horas, com um máximo de 5,0 horas. O CO teve uma concentração média de 11,3 ppm, MP2.5 (partículas inaláveis finas, inferiores a 2.5µm) resultou em 53,7 µg/m³, e MP10 (partículas inaláveis grossas, inferiores a 10 µm) teve 111,57 µg/m³. Os resultados deste estudo indicam que os combatentes estiveram expostos a níveis acima ou no limite dos valores de referência das normas das condições de trabalho, expressos para concentrações ao longo de jornadas de oito horas, diárias, ou médias anuais, fato que torna complexa a comparação entre os dados desta pesquisa e as normas em vigor, já que o tempo de MIF é variado e geralmente abaixo de oito horas. Deste modo, recomenda-se cautela para o emprego destes dados para fins de análise dos efeitos das atividades laborais sobre o trabalhador, o que reside no Campo das Ciências da Saúde. Tratam-se de um campo interdisciplinar ou transdisciplinar que demanda mais esforços no âmbito das ciências aplicadas para entender todas as questões relacionadas ao tópico da pesquisa, especialmente quando for comparar tempo de exposição e concentração de CO e MP.

Palavras-chave: Ecologia laboral, Atmosfera, Poluição, Fogo, Incêndio.

ABSTRACT

LABOR CONDITION OF FIRE COMBATERS IN RELATION TO CARBON MONOXIDE AND PARTICULAR MATERIAL

The present study aimed to analyze the exposure of forest firefighters to the concentration of carbon monoxide (CO) and particulate matter (PM) under working conditions commonly observed in natural areas for these works. An SAPHIRA 3 (version 4b) probe was used on the back of a PREVFOGO / IBAMA brigade in two conditions: on board a motor vehicle (route to the fire area) and walking (during the integrated fire management activities). The probe automatically acquired data of date, time, number of observations, displacement, spatial location (GPS position), altitude, speed, temperature, pressure, CO concentration, MP (fine, coarse and total), humidity and or motor vehicle). The data collected in the field were used to identify the typical working conditions of fire fighters. The results were analyzed according to the current norms applicable to the case study, according to CONAMA 03/1990, World Health Organization (WHO), US Environmental Protection Agency (EPA) and American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH). Records were obtained during 11 discontinuous days (between 07/12/2016 and 05/03/2017) in the state of Roraima, where PREVFOGO conducted Integrated Fire Management (MIF) campaigns. In total, 20.03 hours of walking were recorded, with an average speed of 2.18 km / h and 6.24 hours of travel on a motor vehicle, at an average speed of 38.38 km / h. The average journey time in MIF was 2.6 hours, with a maximum of 5.0 hours. The CO had an average concentration of 11.3 ppm, MP2.5 (fine inhalable particles, less than 2.5 μm) resulted in 53.7 $\mu\text{g} / \text{m}^3$, and MP10 (thick inhalable particles, less than 10 μm) had 111.57 $\mu\text{g} / \text{m}^3$. This study results indicate that firefighters were exposed to levels above or within the limits of the reference values of the working conditions standards expressed for concentrations over eight-hour, daily, or annual averages, which makes difficult a comparison between this research datasets and current regulations, since the MIF time is variable and generally is below eight hours. Therefore, it's recommended caution when using these datasets to analyze the effects of work activities on the worker, which is closely related to the field of Health Sciences. We believe that we deal in an interdisciplinary or transdisciplinary field, which demands further efforts to better understand all related questions of this research , especially those related to time exposure and concentration of CO and PM.

Keywords: Labor Ecology, Atmosphere, Pollution, Fire, Burning.

SUMÁRIO

I.	INTRODUÇÃO	14
II.	OBJETIVOS	16
2.1.	Objetivo geral	16
2.2.	Objetivos específicos	16
III.	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1.	Localização e caracterização da área de estudo	17
3.2.	Equipamento de Amostragem	17
3.3.	Padrões Nacionais e Internacionais de Qualidade Ambiental do Ar	19
IV.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1.	Resultados Gerais	24
4.2.	Análise Comparativa de acordo com as Normas Nacionais e Internacionais	26
4.3.	Representações Gráficas	30
4.4.	Medidas Preventivas e Recomendações	35
V.	CONCLUSÃO	36
VI.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela I: Níveis máximos de poluição atmosférica estabelecida em distintas normas para monóxido de carbono e material particulado, nos tamanhos aerodinâmicos 2.5 e 10 µm.</i>	20
<i>Tabela II: Carboxihemoglobina (COHb) e os sinais e sintomas relatados.</i>	20
<i>Tabela III: Padrões de Exposição Ocupacional</i>	23
<i>Tabela IV: Valores Limites para CO no Canadá</i>	23
<i>Tabela V: Síntese dos resultados obtidos. Valores expressam médias, salvo quando indicado outra forma de apresentação dos dados. Valores entre parêntesis indicam valores máximos, mínimos e desvio padrão.</i>	25

LISTA DE FIGURAS

- Figura I:** Sonda Saphira 3 (versão 4b) colocada sobre as costas do combatente do PREVFOGO/IBAMA. A posição mais próxima possível à cabeça buscou o máximo de correspondência à atmosfera inalada pelo trabalhador..... 18
- Figura II:** Sonda Saphira 3 (versão 4b) fixada sobre as costas de um combatente do PREVFOGO/IBAMA, durante atividade de queima controlada utilizando o pinga-fogo. 18
- Figura III:** Localização de uma das áreas percorridas pelos brigadistas durante um MIF no estado de Roraima, município de Pacaraima. No detalhe é evidenciada a linha colorida, representando a estrada em que ocorreu o MIF. A graduação de cor na estrada representa as variações da concentração de Monóxido de Carbono coletado ao longo do percurso na área de estudo. As áreas com tons mais claros de rosa mostram trechos com menores concentrações, enquanto as áreas com tons mais escuros em vermelho mostram valores preferencialmente acima de 9ppm, indicando geralmente percursos realizados a pé durante a execução do Manejo Integrado do Fogo (MIF)..... 24
- Figura IV:** Representação das concentrações médias de Monóxido de Carbono (ppm) por dia de experimento em Manejo Integrado do Fogo (MIF), na condição “caminhando”, com seus respectivos valores de desvio padrão. 30
- Figura V:** Representação das concentrações médias de Monóxido de Carbono (ppm) por dia de experimento em Manejo Integrado do Fogo (MIF), na condição “embarcado em veículo automotor”, com seus respectivos valores de desvio padrão. 31
- Figura VI:** Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima, localizado nas coordenadas lat = 3,66877 e long = -60,0196, na condição de embarque “caminhando”, para o dia 2 de Março de 2017. 32
- Figura VII:** Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima, localizada nas coordenadas lat = 3,66877 e long = -60,0196, na condição de embarque “em veículo automotor”, para o dia 2 de Março de 2017. 32
- Figura VIII:** Rosa dos ventos para a estação meteorológica mais próxima às áreas de MIF (Estação Boa Vista / INMET), construída com base nos ventos a partir de 2011. A representação maior mostra a média anual e as quatro representações menores equivalem aos meses onde foram conduzidos este estudo (dezembro a março). 34

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo I: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 7 de Dezembro de 2016.</i>	40
<i>Anexo II: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 7 de Dezembro de 2016.</i>	40
<i>Anexo III: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 8 de Dezembro de 2016.</i>	40
<i>Anexo IV: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 8 de Dezembro de 2016.</i>	40
<i>Anexo V: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 10 de Dezembro de 2016.</i>	41
<i>Anexo VI: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 10 de Dezembro de 2016.</i>	41
<i>Anexo VII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 11 de Dezembro de 2016.</i>	41
<i>Anexo VIII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 11 de Dezembro de 2016.</i>	41
<i>Anexo IX: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 12 de Dezembro de 2016.</i>	42
<i>Anexo X: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 12 de Dezembro de 2016.</i>	42

Anexo XI: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 15 de Dezembro de 2016.	42
Anexo XII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 15 de Dezembro de 2016.	42
Anexo XIII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 16 de Dezembro de 2016.	43
Anexo XIV: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 16 de Dezembro de 2016.	43
Anexo XV: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 19 de Dezembro de 2016.	43
Anexo XVI: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 19 de Dezembro de 2016.	43
Anexo XVII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 21 de Dezembro de 2016.	44
Anexo XVIII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 21 de Dezembro de 2016.	44
Anexo XIX: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 5 de Março de 2017.	44
Anexo XX: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 5 de Março de 2017.	44

LISTA DE ABREVIATURAS

ACGIH - Conferência Americana de Higienistas Industriais

BEI – Índices de Exposição Biológica

CO – Monóxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

IDLH – Imediatamente Perigoso para a Saúde

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRRST - Instituto de Pesquisa Robert-Sauvé em Saúde e Segurança Ocupacional

ISO – Organização Internacional de Normalização

MIF – Manejo Integrado do Fogo

MP (2,5) - Material Particulado com tamanho aerodinâmico menor que 2,5 µm

MP (10 – 2,5) – Material Particulado com tamanho aerodinâmico entre 10 µm e 2,5 µm

MP (10) – Material Particulado com tamanho aerodinâmico menor que 10 µm

MP (Total) – Material Particulado Total em Suspensão

NAAQS – Padrões Nacionais de Qualidade Ambiental do Ar

NIOSH – Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional

NOHSC – Comissão Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional

OEL – Limites de Exposição Ocupacional

OES – Padrões de Exposição Ocupacional Existentes

OMS – Organização Mundial da Saúde

OSHA – Administração de Segurança e Saúde Ocupacional

PEL – Limites de Exposição Permitidos

ppm- Parte por milhão

REL – Limites de Exposição Recomendados

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

STEL – Limite de Exposição a curto prazo

TLV – Valor Limite

TLVc – Teto do Valor Limite

TLVTWA – Valor Limite Médio Ponderado no Tempo

ACGIH - Conferência Americana de Higienistas Industriais

BEI – Índices de Exposição Biológica

CO – Monóxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

IDLH – Imediatamente Perigoso para a Saúde

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRRST - Instituto de Pesquisa Robert-Sauvé em Saúde e Segurança Ocupacional

ISO – Organização Internacional de Normalização

MIF – Manejo Integrado do Fogo

MP (2,5) - Material Particulado com tamanho aerodinâmico menor que 2,5 μm

MP (10 – 2,5) – Material Particulado com tamanho aerodinâmico entre 10 μm e 2,5 μm

MP (10) – Material Particulado com tamanho aerodinâmico menor que 10 μm

MP (Total) – Material Particulado Total em Suspensão

NAAQS – Padrões Nacionais de Qualidade Ambiental do Ar

NIOSH – Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional

NOHSC – Comissão Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional

OEL – Limites de Exposição Ocupacional

OES – Padrões de Exposição Ocupacional Existentes

OMS – Organização Mundial da Saúde

OSHA – Administração de Segurança e Saúde Ocupacional

PEL – Limites de Exposição Permitidos

ppm- Parte por milhão

REL – Limites de Exposição Recomendados

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

STEL – Limite de Exposição a curto prazo

TLV – Valor Limite

TLVc – Teto do Valor Limite

TLVTWA – Valor Limite Médio Ponderado no Tempo

I. INTRODUÇÃO

Ecólogos e ambientalistas, no geral, mostram grande preocupação em relação aos incêndios em áreas naturais. Argumenta-se, portanto, na necessidade de prevenir e combater o fogo. Entretanto, com objetivo de reduzir a quantidade de material combustível em áreas sujeitas a longos períodos de estiagem e assim diminuir o risco de incêndios de intensas proporções, CARDOSO et al. (2003); REDDINGTON et al. (2015) alegam que este é utilizado frequentemente como elemento de manejo em áreas de savanas e campos naturais. Esta operação é chamada Manejo Integrado do Fogo (MIF).

O ar limpo é considerado um requisito básico de saúde e bem-estar humano. Contudo, a poluição do ar continua a representar uma ameaça significativa para a saúde em todo o mundo (WHO, 2006). A associação entre a poluição atmosférica e o aumento da morbidade em humanos vem sendo estudada e documentada na literatura médica desde o século passado. Não obstante, poucos estudos preocuparam-se em estudar os efeitos insalubres produzidos pela queima da biomassa. Em 1985, um boletim da Organização Mundial da Saúde (OMS) questionava qual seria a gravidade e a extensão dos danos produzidos pela poluição do ar em consequência da combustão de biomassa em áreas rurais dos países em desenvolvimento (ARBEX et al., 2004). Neste mesmo ano a OMS passou a sugerir procedimentos, tanto preventivos quanto imediatos, a serem desenvolvidos visando prevenir danos à saúde pública.

Sendo assim, o combatente do fogo está exposto a condições singulares, numa atmosfera extrema, supostamente insalubre. Dessa forma, pode-se discorrer sobre os efeitos nocivos dos incêndios numa esfera que está além dos efeitos de uma fonte poluidora difusa, a qual impacta a saúde coletiva com moderada magnitude e importância. Apresenta-se aqui, isto posto, que na escala do combatente, identifica-se uma fonte poluidora pontual, com impacto muito mais expressivo em termos de magnitude e importância.

As concentrações típicas de monóxido de carbono (CO) na atmosfera estão entre 0.05 e 0.12 ppm (partes por milhão). Na década de 1980, os valores subiram em taxas de 1 a 2% anualmente na troposfera sobre áreas não urbanas, mas entre 1989 e 1992, as concentrações começaram a declinar rapidamente (WHO, 2005a), supostamente pelo desenvolvimento de tecnologias menos poluentes.

Sabe-se que a maior parte do carbono da biomassa em combustão é convertido em dióxido de carbono (CO₂). O monóxido de carbono se forma em menores quantidades, mas destaca-se do CO₂ por ser extremamente tóxico para praticamente todos os organismos que possuem hemoglobina, mesmo em concentrações na ordem de algumas dezenas de ppm (Tabela I), isso por ter uma afinidade estimada em aproximadamente 250 vezes maior que o oxigênio para ligar-se à hemoglobina (ERNST; ZIBRAK, 1998).

Sendo assim, é possível supor que em uma escala mais detalhada, onde se encontram os combatentes das queimadas, as concentrações atinjam níveis considerados tóxicos à saúde humana, em que o tempo máximo de exposição contínua possa ser limitado em poucas horas ou minutos por dia, conforme Tabela I. REISEN; HANSEN; MEYER (2007) questionam se uma exposição contínua, porém com picos a níveis elevados de CO pode causar dores de cabeça, tontura ou efeitos comportamentais, pois como é sabido, tal exposição pode resultar em comprometimento cognitivo e capacidade reduzida de trabalho, dependendo de cada indivíduo. Esses sintomas geralmente desaparecem assim que o perigo for removido, devido à meia-vida do CO de 4-5 horas. Assim, em escalas locais, é um gás pouco conhecido na sua relação com as queimadas. Pouco se sabe sobre a sua concentração em diferentes condições de combustão em campo da vegetação nativa, ou mesmo em diferentes fisionomias de vegetação.

Nas relações laborais dos que combatem o fogo, as iniciativas são raras e normalmente limitadas a condições de incêndios *indoor* (incêndios no interior de prédios e casas), geralmente com coleta de gases no interior do recinto de trabalho dos socorristas, para análise posterior. A dificuldade de monitorar níveis de fumaça e de exposição pessoal durante um incêndio florestal contribui para esta lacuna científica.

Além disso, o fogo de áreas naturais pode ser a maior fonte de material particulado (MP) na atmosfera, sobretudo, na época de seca (REDDINGTON et al., 2015). Portanto, recebe mais atenção devido aos problemas que causam na saúde humana (FREITAS; SOLCI, 2009; RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

A despeito disso, HARRISON; YIN (2000) enfatizam que estudos têm estabelecido a ligação entre o tamanho das partículas e o tipo e intensidade do efeito adverso causado em seres humanos. A parcela fina do particulado (MP_{2,5}) está mais fortemente associada com a mortalidade e morbidade, enquanto que as partículas grossas (MP₁₀) têm sido associadas a internações respiratórias (SCAPINI; BRANCHER; LISBOA, 2016). O perigo causado em decorrência da inalação destas partículas depende

não só da forma e tamanho das mesmas como também da composição química, do lugar no qual elas foram depositadas no sistema respiratório e, além disso, deve-se considerar o tempo de exposição pessoal.

Diferentemente do CO, que causa efeitos imediatos associados a doenças agudas, o material particulado geralmente apresenta efeito em médio e longo prazo na saúde das pessoas. Alguns dos efeitos de saúde a curto prazo que os bombeiros podem ter durante a atividade de trabalho incluem irritação nos olhos, náuseas, dores de cabeça, tontura ou redução da capacidade de trabalho. Efeitos crônicos, como danos nos pulmões, doenças cardíacas ou câncer podem não ocorrer por muitos anos e as causas de tais doenças são difíceis de identificar (REISEN; HANSEN; MEYER, 2007).

Este estudo buscou entender as condições laborais de brigadistas de incêndios florestais em relação ao monóxido de carbono e as formas de material particulado. As condições foram quantificadas em campo e comparadas com as normas vigentes nacionais e internacionais. Apenas três outros estudos internacionais encontrados se utilizaram de dispositivos de monitoramento pessoal para quantificar a exposição do brigadista ao monóxido de carbono (DUNN et al., 2009; EDWARDS et al., 2005; MIRANDA et al., 2012). Este é o primeiro estudo brasileiro a utilizar um dispositivo de monitoramento pessoal de brigadistas.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente estudo buscou analisar as condições laborais relacionadas a quantidade de monóxido de carbono e material particulado em que combatentes de incêndios florestais estão expostos durante atividades de combate ao fogo em atividades de queima controlada aplicada ao Manejo Integrado do Fogo (MIF) no estado de Roraima.

2.2. Objetivos específicos

De forma mais específica, o presente estudo buscou:

- Avaliar as concentrações de monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP10) e (MP2,5) em que os combatentes do fogo estão expostos durante atividades de combate à incêndios florestais.

- Avaliar as médias das concentrações de CO, MP_{2,5} e MP₁₀ com base nas normas vigentes
- Avaliar as condições laborais de brigadistas durante atividades de combate ao fogo.

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido no estado de Roraima, abrangendo os municípios de Cantá, Amajari, Pacaraima e Normandia, onde o PREVFOGO/IBAMA realizou campanhas de Manejo Integrado do Fogo (MIF). Os registros foram coletados em campo de 07 de dezembro de 2016 a 05 de março de 2017.

As equipes de campo foram instruídas a ligar uma sonda SAPHIRA para coleta de dados de concentração de monóxido de Carbono e particulados 1 hora antes do início do MIF, esta sonda registra dados de CO, MP_{2,5} e MP₁₀ a cada dois segundos. Desta forma, as equipes coletaram dados durante o traslado até o local de combate ao fogo e durante o combate ao fogo propriamente dito, a qual constituiu a parte mais relevante da coleta de dados para a esta pesquisa. Os dados coletados durante o traslado foram considerados uma outra parte da atividade laboral dos combatentes de fogo.

3.2. Equipamento de Amostragem

O equipamento de coleta de dados das amostras utilizado foi a sonda SAPHIRA 3 (versão 4b) (Sistema de Aquisição, Processamento, Hospedagem e Integração de Informações sobre Recursos Ambientais). Esta sonda tem pequenas dimensões (Figura 1) e pesa menos de 3kg, com bateria com autonomia de 7 horas em atividade de coleta de dados. A sonda SAPHIRA 3-4b não emite radiações eletromagnéticas/ionizantes, descargas elétricas, faíscas, gases ou qualquer forma de matéria ou energia que comprometa a segurança pessoal dos portadores durante seu uso, estocagem ou transporte.

Esta sonda foi fixada sobre as costas de um brigadista do PREVFOGO/IBAMA em duas condições: embarcado em veículo automotor (trajeto até a área de combate ao fogo) e caminhando (nas atividades efetivas de combate ao fogo de um incêndio florestal ou queima controlada no manejo integrado do fogo). A partir do início do funcionamento

da sonda, a coleta automática de dados amostrais de monóxido de carbono e materiais particulados é feita a cada dois segundos.



Figura I: Sonda Saphira 3 (versão 4b) colocada sobre as costas do combatente do PREVFOGO/IBAMA. A posição mais próxima possível à cabeça buscou o máximo de correspondência à atmosfera inalada pelo trabalhador.



Figura II: Sonda Saphira 3 (versão 4b) fixada sobre as costas de um combatente do PREVFOGO/IBAMA, durante atividade de queima controlada utilizando o pinga-fogo.

A sonda foi previamente calibrada antes de sua utilização em campo. A calibração foi baseada na curva de calibração para o CO com referência no CO meter HT-1000. Para os materiais particulados (MP), a calibração foi feita com base nas frações inaláveis 10

μm (MP10) e $2,5 \mu\text{m}$ (MP2.5), quantificadas com o uso do sensor SDS011, utilizando a pré-calibração de fábrica.

A coleta de dados utilizando a sonda SAPHIRA 3 (versão 4b) incluiu dados de data, horário, número de observações, deslocamento, localização espacial (posição com GPS), altitude, velocidade, temperatura, pressão, concentração de CO, MP (fino, grosso e total), umidade e embarque (caminhando ou em veículo automotor). Os dados coletados, por serem espacialmente explícitos (com localização de coordenadas geográficas), foram utilizados para a elaboração de mapas temáticos, bem como para as planilhas e estatísticas descritivas, que serviram para diferenciar as condições típicas das condições laborais. Para a espacialização dos dados empregou-se o software ArcGIS ® versão 10.5.

3.3. Padrões Nacionais e Internacionais de Qualidade Ambiental do Ar

No Brasil, o órgão responsável pela consulta e deliberação de toda a Política Nacional do Meio Ambiente é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A Resolução do Conama nº 03, de 28 de junho de 1990 foi a responsável por estabelecer os padrões nacionais de qualidade do ar, conforme disposto na Tabela I.

O conceito de padrões de qualidade está definido no artigo primeiro da resolução como:

“Art 1º - são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.”

Ainda de acordo com a Resolução CONAMA n. 03/90, em seu artigo 2º, os padrões de qualidade do ar são classificados em primários e secundários, sendo:

“I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.”

O artigo terceiro da Resolução CONAMA n. 03/1990 estabelece padrões de qualidade do ar para monóxido de carbono (CO), fumaça (fração visível do material particulado), partículas totais em suspensão (PTS) partículas com tamanho aerodinâmico menor que $100 \mu\text{m}$, partículas inaláveis (MP10) com tamanho aerodinâmico menor que

10 μm . Entretanto, esta Resolução não apresenta valores de referência para a classe de material particulado de 2,5 μm (MP2,5).

Em nível mundial, as agências oficiais e organizações não governamentais (Organização Mundial da Saúde - OMS, a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana - EPA e a Conferência Americana de Higienistas Industriais -ACGIH) avaliam a qualidade do meio ambiente a partir de metodologias, legislações e monitoramento contínuo de espécies poluidoras. Os limites de exposição da OMS e da EPA estão exemplificados na Tabela I.

Tabela I: Níveis máximos de poluição atmosférica estabelecida em distintas normas para monóxido de carbono e material particulado, nos tamanhos aerodinâmicos 2.5 e 10 μm .

Meio	Concentração de monóxido de carbono (CO)			Concentração de material particulado (MP)			
	CONAMA (1)	OMS (2)	EPA (3)	OMS (4)		EPA (5)	
				MP10	MP2,5	MP10	MP2,5
AR	9 ppm* (em 8 horas)	90 ppm (em 15 min)	9 ppm (em 8 horas)	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)	35*
		50 ppm (em 30 min)		50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (em 24 horas)	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (em 24 horas)		
	35 ppm* (em 1 hora)	25 ppm (em 1 hora)	35 ppm (em 1 hora)			35* $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (em 24 horas)	
		10 ppm (em 8 horas)					

1) (“CONAMA Nº 003”, 1990); Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

2) (WHO, 2005a)

3) (EPA, 2009); Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

4) (WHO, 2005b)

5) (EPA, 2009)

Os resultados do presente estudo foram comparados aos estabelecidos na Resolução Conama nº 03, de 28 de junho de 1990, recomendações da OMS e EPA, conforme apresentado na Tabela I.

KIZAKEVICH et al.(2000) em consonância com estudos anteriores, verificou que a chance de ataque cardíaco aumentou em indivíduos em repouso com um nível acima de 5% de carboxihemoglobina (COHb). A Tabela II expressa os sinais e sintomas relacionados ao aumento da COHb. Ainda devemos considerar que os bombeiros florestais estão em movimento, o que aumenta a demanda por oxigênio e torna os níveis de COHb mais elevados fazendo com que os sinais e sintomas possam ser mais graves do que os exibidos pela Tabela II.

Tabela II: Carboxihemoglobina (COHb) e os sinais e sintomas relatados.

%COHb^a	Sinais e Sintomas^b em repouso^c
< 3	Sem sintomas.
3 – 6	Capacidade de fazer exercícios ligeiramente diminuída (de 5 – 7%).
4 – 17	Diminuiu ligeiramente o tempo de exercício em homens jovens e saudáveis durante a exaustão. Diminuição da percepção visual, destreza manual, capacidade de aprendizagem ou desempenho em tarefas como a condução.
10 – 20	Aperto na testa, possível leve dor de cabeça e dilatação cutânea dos vasos sanguíneos.
16 – 20	Dor de cabeça, resposta evocada visual anormal.
20 – 30	Dor de cabeça, sentir latejando as têmporas, facilmente fatigado e possivelmente com tonturas.
30 – 40	Dores de cabeça severas, fraqueza, tonturas, confusão, escuridão da visão, náuseas, vômito, colapso, síncope.
40 – 50	O mesmo de cima, mas a gravidade é maior e há o aumento do pulso e da taxa respiratória.
50 – 60	Aumento da frequência respiratória e do pulso, coma, convulsões intermitentes e respiração de Cheyne-Stokes, possível morte.
60 – 70	Coma, convulsões intermitentes, ação cardíaca deprimida e taxa respiratória, letal, se não tratada.
70 – 80	Pulso fraco, respiração lenta, insuficiência respiratória e morte dentro de algumas horas.
80 – 90	A morte é inferior a uma hora.
Superior a 90	Morte em alguns minutos.

^aPorcentagem de carboxihemoglobina para indivíduos em repouso, salvo indicação em contrário.

^bStewart (1973, 1975a, b), Horvath (1975), Shephard (1983), NRC (1985).

^cSinais e sintomas podem aparecer em níveis mais baixos de COHb durante o exercício quando o corpo tem uma maior demanda de oxigênio.

Fonte: Tabela adaptada de (AUSTIN, 2000).

A OMS tem a função e a responsabilidade de gerenciar as políticas de promoção, prevenção e intervenção em todos os assuntos relacionados à saúde, a nível global. Enquanto a EPA estabelece os limites de exposição chamados Padrões Nacionais de qualidade ambiental do ar (NAAQS), onde tais padrões são projetados tendo em vista a proteção de todos os cidadãos, incluindo os grupos mais vulneráveis como crianças, idosos, asmáticos, etc. Por conseguinte, as diretrizes da EPA são muito mais restritivas do que aquelas estabelecidas para condições laborais.

As leis federais internacionais são estabelecidas pela Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA), que costumam seguir as recomendações do Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH), o qual funciona como um instituto de pesquisa da segurança e saúde do trabalhador, porém não tem autoridade legal. Suas normas se baseiam em preocupações relativas à prevenção de doenças ocupacionais. Estes são chamados de “Limites de Exposição Recomendados” (REL’s).

Existem também organizações não governamentais, como a Conferência Americana de Higienistas Industriais (ACGIH) que se destina a pesquisar e publicar padrões dos níveis limites para exposição a diferentes substâncias, com objetivo principal de promover a saúde ocupacional e ambiental. Juntos, estes são chamados de “Limites de Exposição Ocupacional” (OEL’S). OEL’s são baseados em um nível de exposição (dose) em um certo tempo. A média ponderada no tempo (TWA) é definida para 8 horas de trabalho por dia, 40 horas por semana. Uma concentração média do turno de trabalho diário e semanal não deve ser ultrapassada para proporcionar um ambiente de trabalho seguro. Não devem ser utilizados como padrões legais, mas vistos como orientações complementares que contribuem para a melhoria das condições de trabalho no quesito segurança e saúde. OSHA e NIOSH também se baseiam nas recomendações da ACGIH para definir suas leis e normas.

Tanto a ACGIH como a NIOSH consideram valores limites para exposição a diversas substâncias, incluindo CO, ponderados em algum tempo. Considera-se a concentração a que se acredita que o indivíduo pode ser repetidamente exposto, dia após dia, durante toda a vida sem efeitos adversos para a saúde, este é chamado **TLV** (*Threshold Limit Values*).

A concentração média ponderada no tempo calculada sobre 8 horas de trabalho por dia e 40 horas de trabalho por semana é chamado de **TLVTWA** (*Time-weighted average*), enquanto o **STEL** (*short-term exposure limit*) é o limite de exposição de curto prazo com exposições médias ponderadas no tempo de 15 minutos, não podendo ser excedido a qualquer momento durante um dia de trabalho. Existe a categoria com valores de teto, àquelas concentrações de substâncias que não devem ser excedidas nenhuma vez durante o dia, mesmo que brevemente, chamada **TLVc**: (*Threshold Limit Value Ceiling*).

Para avaliar a exposição a material biológico considera-se o **BEI** (*Biological Exposure Indices*). E àqueles níveis considerados imediatamente perigosos para a vida e saúde, baseados em risco de morte ou efeitos adversos permanentes, sejam imediatos ou prolongados, que possam ocorrer em consequência de uma exposição de 30 minutos, são chamados **IDLH** (*Immediately Dangerous to Life or Health*).

A OSHA define “Limites de Exposição Permitidos” (PEL’s) para todos os funcionários federais e funcionários privados não cobertos por uma agência do Estado.

Estes PEL's são juridicamente vinculativos e executados pelo governo (BROYLES, 2013).

A ACGIH publica anualmente TLV's revisados, baseados nas pesquisas mais recentes, sendo assim os OEL's mais atuais disponíveis. Na maioria dos casos, os TLV's são mais restritivos que os PEL's OSHA. TLV's e BEI's são apenas alguns dos múltiplos fatores a serem considerados na avaliação de situações e condições específicas de trabalho (ACGIH, 2018).

REISEN; HANSEN; MEYER (2007) apresentaram os padrões de exposição ocupacional existentes (OES) para CO na Austrália (Tabela III), publicados pela NOHSC (Comissão Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional).

Tabela III: Padrões de Exposição Ocupacional

Ar tóxico	TWA	STEL
Monóxido de Carbono (CO)	30 ppm	400 ppm (0 min)
		200 ppm (15 min)
		100 ppm (30 min)
		60 ppm (60 min)

Fonte: REISEN; HANSEN; MEYER (2007)

Já os valores limites para CO, no Canadá, publicados pela ACGIH foram definidos conforme Tabela IV:

Tabela IV: Valores Limites para CO no Canadá

Composto	Unidade	TLV				Odor	BEI
		TWA	STEL	Ceiling	IDLH		
Monóxido de carbono (Quebec)	ppm	(35)	(200)	(200)	1200	Sem odor	Fim do turno; sangue; carboxihemoglobina (COHb); 3.5%COHb

Fonte: Adaptado de (AUSTIN, 2000)

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados Gerais

A Figura III mostra um dos percursos realizado pelos brigadistas registrados neste estudo e exemplifica a organização espacial dos dados por meio de um mapa temático da concentração de CO numa área específica. Com base no conjunto de dados gerados (Tabela V) compilou-se os dados coletados de valores mínimos, médios e máximos e tempo de exposição ao CO e ao MP10 e MP2,5. Além disso, foram compilados os dados coletados, de temperatura atmosférica e das condições nos arredores consideradas menos adversas e de refúgio em situações de emergência ou descanso.

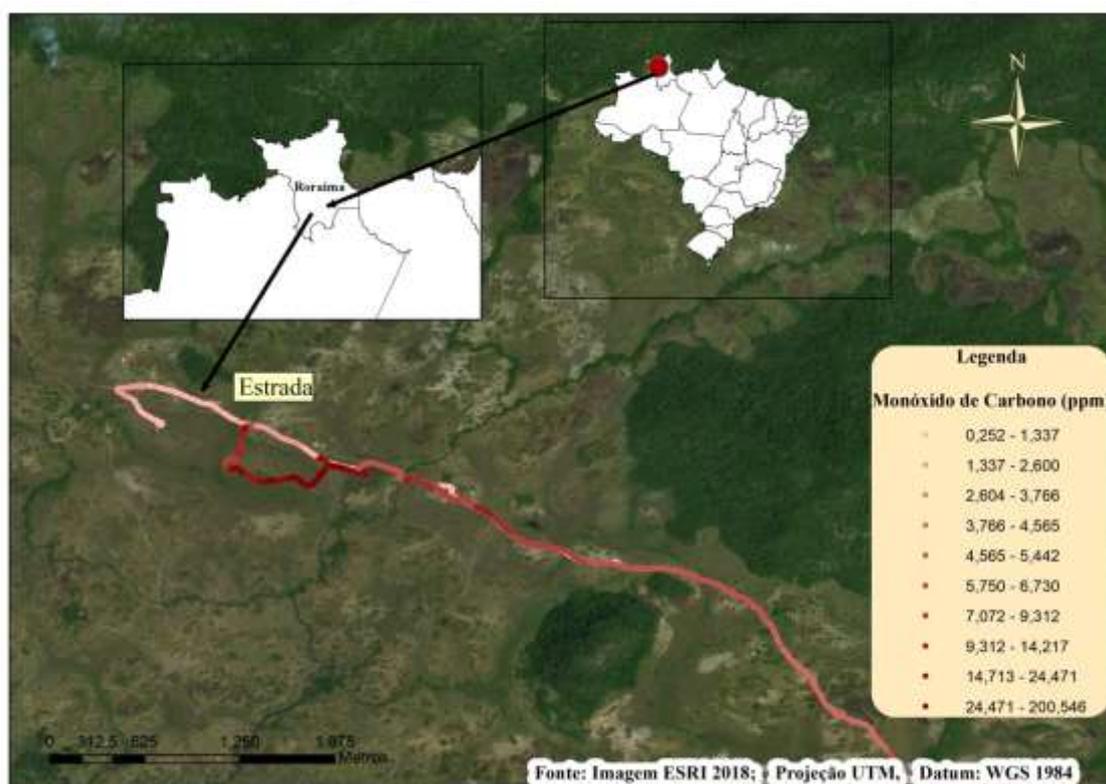


Figura III: Localização de uma das áreas percorridas pelos brigadistas durante um MIF no estado de Roraima, município de Pacaraima. No detalhe é evidenciada a linha colorida, representando a estrada em que ocorreu o MIF. A graduação de cor na estrada representa as variações da concentração de Monóxido de Carbono coletado ao longo do percurso na área de estudo. As áreas com tons mais claros de rosa mostram trechos com menores concentrações, enquanto as áreas com tons mais escuros em vermelho mostram valores preferencialmente acima de 9ppm, indicando geralmente percursos realizados a pé durante a execução do Manejo Integrado do Fogo (MIF).

Os registros foram obtidos durante 11 dias descontínuos, precisamente nos dias 7, 8, 10, 11, 12, 15, 16, 19, 21 de dezembro de 2016 e dias 5 e 2 de março de 2017. No total

foram registradas 20,03 horas de percurso a pé, em velocidade média de 2,18 km/h, e 6,24 horas de percurso em automóvel, em velocidade média de 38,38 km/h. O tempo médio de jornada em MIF foi de 2,6 horas, com um máximo de 5,0 horas, já os valores de poluentes nas condições laborais variam de acordo com o dia, sendo que o CO teve uma concentração média de 11,3 ppm.

Tabela III: Síntese dos resultados obtidos. Valores expressam médias, salvo quando indicado outra forma de apresentação dos dados. Valores entre parêntesis indicam valores máximos, mínimos e desvio padrão.

Variáveis	Caminhando	Embarcado em veículo automotor
	Características das jornadas	
Tempo médio de Jornada	2,6 horas	-
Velocidade média	2,18 Km/hora	38,38 Km/hora
Número de observações	36.054	11.246
Concentrações médias em tempo médio de Jornada (mínimas, máximas e desvios padrões)		
CO	11,34 ppm (0,25 a 200,55, dp: 13.61)	5,38 ppm (0,25 a 62,22, dp: 6,44)
MP2,5	53,74 µg/m³ (0,05 a 655,09, dp: 109.57)	35,28 µg/m³ (1,60 a 640,50 dp: 71,48)
MP2.5-10 (**) (partículas inaláveis grossas, entre 2.5 e 10 µm)	58,98 µg/m³ (0,05 a 655,30, dp: 100,06)	65,99 µg/m³ (0,14 a 655,09, dp: 118,52)
MP10	111,57 µg/m³ (0,10 a 999,00 ^(*) , dp: 178,32)	101,57 µg/m³ (2,70 a 999,00 ^(*) , dp 167.11)

(*) O valor de 999 µg/m³ representa o fundo de escala do sensor, indicando que o valor real no ambiente superou tal limite.
(**) A classe MP2.5-10 (entre 2.5 e 10 µm) não é tratada na literatura, porém é aqui empregada, em caráter adicional.

De forma similar ao do presente estudo, divergindo apenas na forma de coleta de dados, ADETONA et al. (2013) quantificaram a exposição pessoal de bombeiros florestais ao CO e MP. Os autores encontraram um tempo médio para os bombeiros em linha de fogo de 5,5 horas, com uma concentração de CO que variou de 1 a 14 ppm.

A "exposição" deve ser distinguida da "concentração", que é uma expressão quantitativa da quantidade de poluente dentro de um determinado ambiente, assim, concentrações elevadas de poluição do ar não resultam necessariamente em altas exposições (WHO, 2005a). Na pesquisa de ADETONA et al. (2013), considerando que a exposição se deve tanto ao tempo quanto às concentrações, o alto tempo de jornada contribui de forma notável para a exposição. Isso difere dos resultados do presente estudo,

onde a exposição está mais relacionada às concentrações do que o tempo de jornada. Essas observações são particularmente importantes para demonstrar a complexidade que existe nesse tipo de análise.

4.2. Análise Comparativa de acordo com as Normas Nacionais e Internacionais

Os valores de pico encontrados de CO em condições “caminhando” e “embarcado em veículo automotor” foram de 200,55 ppm e 62,22 ppm, respectivamente, para um tempo médio de jornada de 2,6 horas. Neste sentido, a NIOSH recomenda um nível máximo de exposição de 200 ppm para CO, o qual não deve permanecer por mais de 15 minutos. Porém esse limite máximo de exposição pode não proteger os brigadistas de exposição excessiva a outras substâncias tóxicas e nocivas à saúde humana que estão presentes na fumaça, como partículas respiráveis, formaldeído, acroleína, PAH *benzo(a)pireno*, que possuem efeitos agudos e crônicos em múltiplos sistemas de órgãos (AUSTIN, 2000).

Ainda em relação ao CO, foi possível observar que este apresentou uma média de 11,3 ppm, desvio padrão de 13,61 ppm, e jornada média com duração de 2,6 horas. O valor do desvio padrão ultrapassa a média, com isso sabemos que os dados variam muito. Tais valores são superiores em relação à concentração, porém em menor tempo de exposição quando comparados ao máximo permitido pela Resolução CONAMA N° 003/90 (9 ppm em 8,0 horas).

Os resultados deste estudo indicam ainda uma média de 111,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 (partículas inaláveis grossas, até 10 μm), com desvio padrão de 178,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, na área de estudo. Novamente o valor do desvio padrão ultrapassa a média, indicando que os dados variam muito. Esta média está acima da média máxima permitida pela OMS, seja para um período de 24 horas ou para a exposição anual. Quando consideradas as normas da EPA, esta média está abaixo da média máxima permitida para uma exposição em 24 horas (Tabela I). Para ACGIH não existem limites de exposição ocupacional especificamente aplicáveis às partículas de fumaça. Entretanto, as partículas de fumaça possuem uma fração substancial de partículas respiráveis (MP10) e inaláveis (MP2,5). As orientações da ACGIH recomendam que a exposição ao MP100 (partículas de até 100 μm), que engloba tanto o MP10 como o MP2,5 e todo material com tamanho aerodinâmico menor que 100 μm se mantenha abaixo de 10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

O CONAMA não apresenta valores de referência para a classe de material particulado de 2,5 µm. A média estimada para MP2,5 (partículas inaláveis finas, inferiores a 2.5µm) na área e período de estudo foi de 53,74 µg/m³, com desvio padrão de 109,57 µg/m³. Esta média é superior à média máxima permitida tanto para as orientações da OMS quanto para os padrões de qualidade do ar em vigor definidos pela EPA (Tabela I), tanto para exposição em 24 horas quanto para exposição anual.

Os Limites de Exposição Ocupacional (OEL) são definidos para ambientes de trabalho e jornadas tradicionais e sedentárias. Assim, para empregos não tradicionais como o de combatente do fogo, podem não fornecer o nível necessário de segurança. Para avaliar com mais precisão, deve-se contabilizar as diferenças de duração do turno, altitude, absorção de irritantes e, se o indivíduo está em atividade física ou sedentário. A partir da consideração de todos esses fatores, devem ser feitos ajustes aos critérios de exposição ocupacional.

REISEN; HANSEN; MEYER (2007) utilizou sensores de registro de forma similar ao utilizado no presente estudo. Tais dispositivos foram colocados em um compartimento superior do equipamento de proteção pessoal do combatente, para quantificar a exposição ao CO, a compostos orgânicos voláteis e às formas de material particulado. Com base nos resultados daquele estudo, os autores observaram que a maioria das exposições se mostraram abaixo do OES, as exposições excedentes foram verificadas em apenas uma pequena porcentagem de casos e em uma pequena fração de tempo. Um dos registros mostrou um nível médio de exposição abaixo de 30 ppm mas com alguns picos acima de 400 ppm, enquanto outro registro exibiu um nível médio de exposição excedendo largamente o limite de exposição TWA de 30 ppm. O limite de pico de 400 ppm foi excedido durante um período de exposição de 4-5 minutos e em várias ocasiões durante o turno de trabalho registrados no estudo de REISEN; HANSEN; MEYER (2007).

Num estudo conduzido na Austrália, estimou-se que 8% de suas amostras que foram coletadas em mais de 23 incêndios florestais ultrapassaram 400 ppm para CO (REISEN; HANSEN; MEYER, 2007) e as exposições de pico medidas atingiram o máximo de 1200 ppm - valor considerado imediatamente perigoso para vida e saúde (IDLH) para CO (NIOSH, 2007).

Em outro estudo, MIRANDA et al. (2012) utilizando dispositivos móveis de medição, estimaram o valor de pico para CO de 1000 ppm, igualmente considerado imediatamente perigosos para a vida e saúde (IDLH), e o STEL excedeu o TLV em quase 19% das situações monitoradas. Neste mesmo estudo ainda foi constatado que os resultados da concentração de exposição não são diretamente proporcionais à área queimada, por exemplo, um bombeiro envolvido em um combate a um incêndio em uma área de 80 hectares de floresta obteve 8,1 ppm de TLV_{TWA} para CO, com uma exposição de pico de 155 ppm, enquanto um outro combatente em uma área menor (0,2 ha) e com tempo de exposição semelhante, obteve 22,8 ppm de TLV_{TWA} e os valores de pico e STEL foram excedidos, 1000 ppm e 200 ppm, respectivamente. Os resultados da concentração de exposição são diretamente proporcionais à intensidade do fogo e ao tipo de material combustível.

Apesar do turno de exposição para MIF utilizado no presente estudo não ter sido longo, o valor estimado para a concentração média de CO é considerado preocupante, pois por vezes são muito próximos às concentrações máximas recomendadas pelas agências normativas. Os resultados desta pesquisa indicam que não se deve aumentar a jornada de trabalho dos brigadistas para não expô-los ainda mais a concentrações elevadas de CO. De acordo com (ADETONA et al., 2013), os brigadistas florestais trabalham muitas vezes em turnos estendidos, envolvidos em atividades físicas pesadas e sem usar proteção respiratória adequada. Tais condições de trabalho agravam ainda mais a situação de insalubridade dos brigadistas.

De acordo com a Organização Internacional de Normalização (ISO), os brigadistas florestais normalmente perdem 1-2 litros de água por hora pela transpiração, a respiração nasal se torna difícil a 125 ° C e a respiração bucal a 150 ° C. Em uma condição mais extrema, ocorreram lesões irreversíveis na pele dos brigadistas se ficarem expostos 30 segundos a 180° C (ISO, 2006).

Nos últimos anos foram realizados inúmeros estudos para avaliar a exposição dos brigadistas florestais nos últimos 25 anos. A NIOSH iniciou sua pesquisa em 1998 nos incêndios Yellowstone e muitos outros. Essa pesquisa ajudou a identificar preocupações com a saúde e exposição à fumaça de incêndios florestais, possibilitou a muitos pesquisadores fazerem recomendações para reduzir a exposição, BROYLES (2013) ao citar Reh e Deitchman (1992), ecoa muitos pesquisadores quando afirma que o tamanho

da sua pequena amostra tornou impossível fazer generalizações de base ampla sobre a exposição de brigadistas florestais.

De modo geral, os dados do presente estudo indicam que as concentrações de CO para os brigadistas que participaram da pesquisa estiveram ligeiramente acima ou limítrofes aos valores de referência das normas ambientais, sejam padrões primários ou secundários, sejam condições de atenção ou de emergência. Entretanto, os limites padrões para o CO são expressos para concentrações ao longo de jornadas de oito horas, diárias, ou médias anuais, fato que torna complexa a comparação entre nossos dados. Os valores definidos pela ACGIH são muito mais permissivos que as normas legais às quais foram comparados nossos valores.

Destaca-se, portanto, a importância de medir as exposições de curto prazo e não apenas as mudanças de exposição média. Embora alguns estudos indiquem que os níveis de exposição, calculados em média durante a semana de trabalho ou a carreira de um brigadista, são inferiores ao tempo médio ponderado de 8 horas (TLV_{TWA}) do limites de exposição ocupacional, outros demonstraram que as exposições a alguns produtos de combustão tóxicos excedem os limites de exposição ocupacional de curto prazo (STEL) ou limites de teto algum tempo (AUSTIN, 2000).

As exposições dos brigadistas florestais ao fogo são altamente variáveis e dependem das estratégias e táticas empregadas, dos métodos utilizados, do nível de ameaça para áreas povoadas, interesses econômicos e outros fatores incluindo o tipo de solo e vegetação, a umidade do combustível, a intensidade do fogo e o vento (AUSTIN, 2000). Os métodos por nós utilizados para quantificar CO e MP_{2,5-10} e MP₁₀ diferenciam das indicações feitas pelas agências reguladoras. Por exemplo, a Resolução CONAMA n.3 de 1990 adota métodos ópticos baseados em infravermelho não dispersivo ou método equivalente para determinar concentrações de CO. Para Material Particulado (MP) o CONAMA prevê o uso de um método de Separação Inercial/Filtração ou outro método equivalente (“CONAMA N° 003”, 1990).

Destaca-se que a metodologia indicada para material particulado pelo CONAMA não permite análise em elevada resolução temporal. No presente estudo, a metodologia empregada, com amostragens a cada 2 segundos permitiu a análise da variação temporal de CO e MP, utilizando um sensor eletroquímico para quantificar CO e dispersão ótica para MP. Para (FREY et al., 2001) a alta resolução, estabilidade e sensibilidade dos analisadores eletroquímicos calibrados de acordo com as normas técnica de referência,

fazem desta tecnologia uma alternativa de monitoramento muito eficiente e cada vez mais utilizada.

4.3. Representações Gráficas

Na implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) os brigadistas se encontravam sob duas condições: hora caminhando, hora embarcados em veículo automotor. A partir dos valores encontrados em campo nesta pesquisa para a concentração de CO, foram feitas as médias da concentração de CO por dia de experimento e seus respectivos desvios padrões (Figura IV e Figura V). Nos dias 11, 15 e 19 de dezembro de 2016 para a condição caminhando o desvio padrão chegou a ultrapassar a média, e nos dias 10, 15 e 19 de dezembro de 2016 para a condição embarcados em veículo automotor o desvio padrão quase ultrapassou as médias, confirmando a enorme variação dos dados.

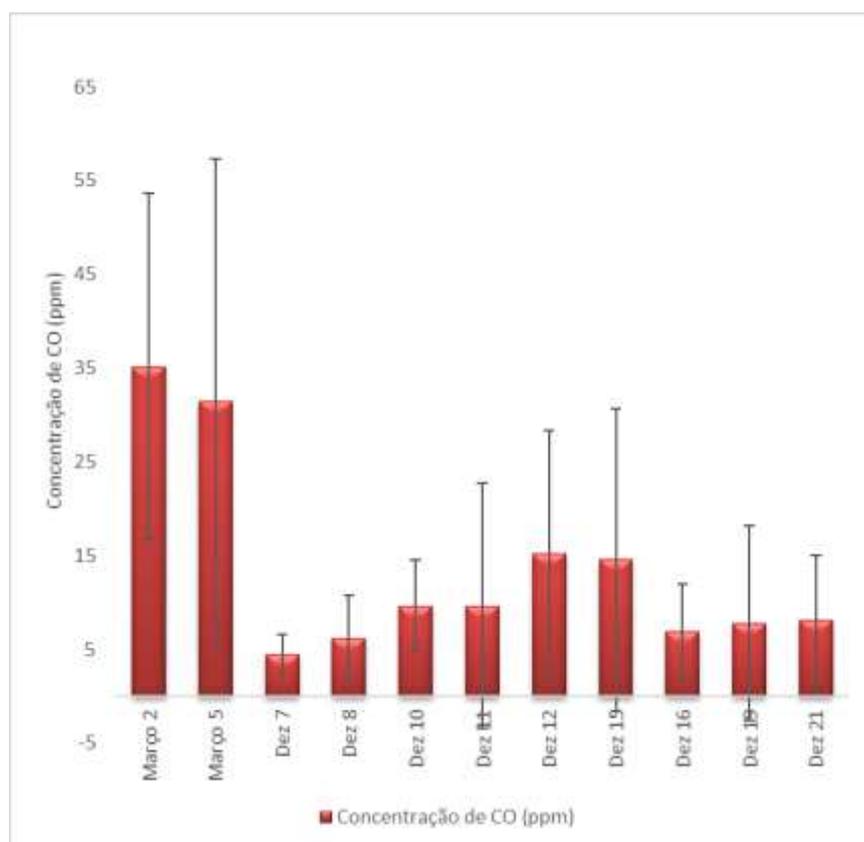


Figura IV: Representação das concentrações médias de Monóxido de Carbono (ppm) por dia de experimento em Manejo Integrado do Fogo (MIF), na condição “caminhando”, com seus respectivos valores de desvio padrão.

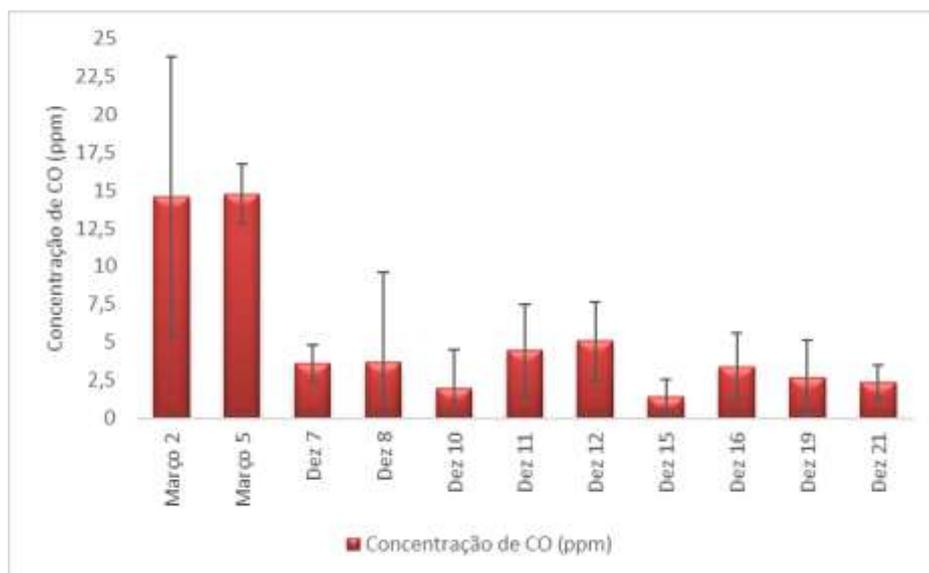


Figura V: Representação das concentrações médias de Monóxido de Carbono (ppm) por dia de experimento em Manejo Integrado do Fogo (MIF), na condição “embarcado em veículo automotor”, com seus respectivos valores de desvio padrão.

De posse dos dados de deslocamento (metros) e concentração de CO (ppm) foi possível gerar os gráficos (Figura VI e Figura VII), por dia de MIF, por condição (caminhando ou embarcado), o que permite uma melhor visualização e entendimento do comportamento do gás (CO) durante a atividade laboral.

Os gráficos escolhidos representam a situação do dia 2 de março de 2017, nas duas condições (caminhando e embarcado), por exibirem os maiores picos de CO. Ao longo de uma caminhada de oito quilômetros os brigadistas experimentaram picos de 200 ppm de CO, mesmo que por alguns segundos. O que já representa um nível máximo de exposição preocupante. Na condição de embarcados em veículo automotor avançaram cerca de trinta e oito quilômetros experimentando picos de 62 ppm. Para fins de consulta, os gráficos gerados para os outros dias de experimento se encontram em anexos.

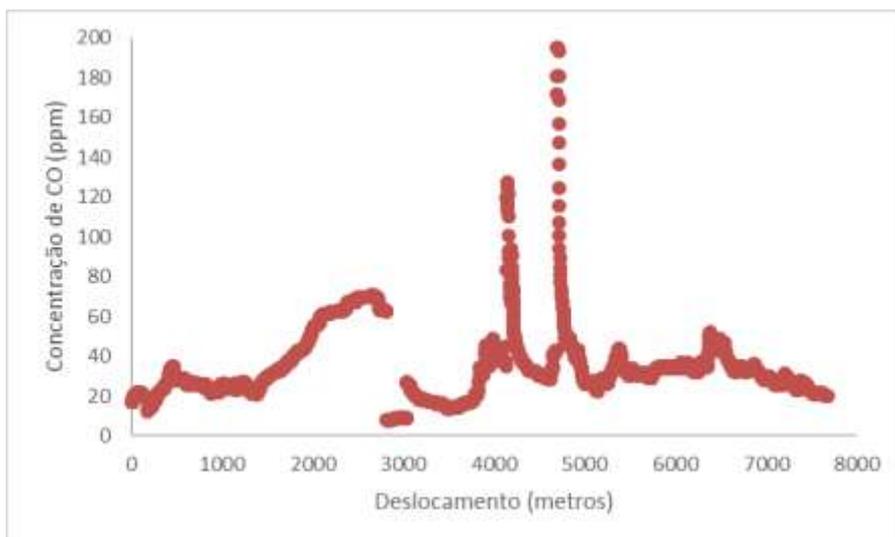


Figura VI: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima, percorrendo ao longo das coordenadas lat = 3,66877 e long = -60,0196, na condição de embarque “caminhando”, para o dia 2 de Março de 2017.

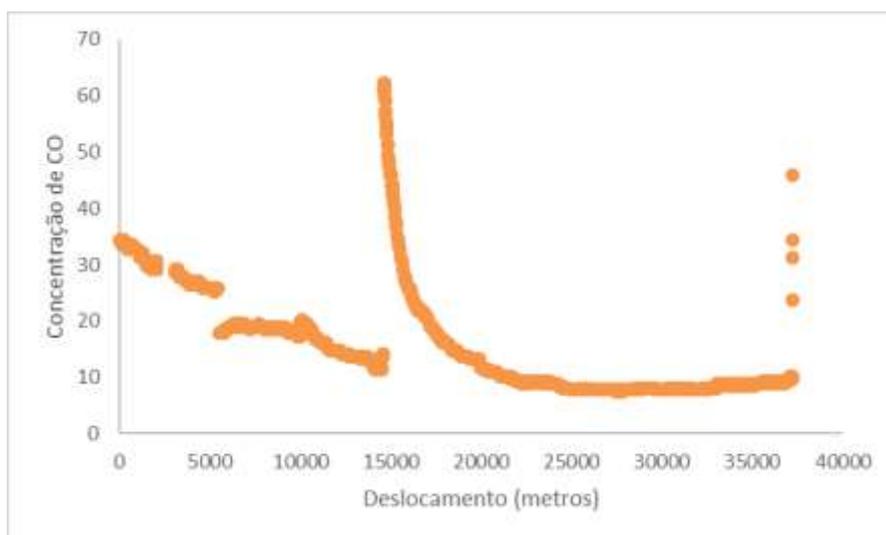


Figura VII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima, percorrendo ao longo das coordenadas lat = 3,66877 e long = -60,0196, na condição de embarque “em veículo automotor”, para o dia 2 de Março de 2017. Houve um intervalo de 30 minutos em que a sonda ficou desligada, gerando a quebra de continuidade do gráfico. Quando religada começou a registrar picos de 62 ppm, uma possível explicação pode ser o brigadista ter ficado com a sonda próximo ao escapamento do carro.

4.4. Análise dos Ventos

Estudos prévios demonstraram que o CO está altamente correlacionado com uma variedade de contaminantes encontrados em incêndios florestais (DUNN et al., 2009). Entretanto, a relação entre as queimadas e o CO é conhecida apenas em escalas de espaço da ordem de dezenas de quilômetros (onde operam os modelos baseados em sensoriamento remoto), sendo pouco conhecida na escala em que operam as pessoas que efetivamente combatem os incêndios florestais, ou seja, em poucos metros. A discussão de escala é fundamental porque a observação que se tem do satélite apresenta dados ineficientes do que precisamos para analisar a condição laboral do combatente.

A concentração de um gás no meio é proporcional à taxa de importação desse gás à partir de áreas adjacentes, inversamente proporcional à taxa de exportação deste meio para os seus arredores, e condicionada pela gênese deste gás no meio. Desta maneira é essencial compreender a quantidade de biomassa queimada, a qual incide diretamente sobre CO e MP, da mesma maneira em que se faz necessário observar os processos de transporte, sejam convecção, advecção ou turbulência. Esses processos são bem descritos por FREITAS et al. (2005). Daí a necessidade de análise dos ventos.

Os dados de velocidade e direção de ventos (Figura 3) em escala regional foram fornecidos pela Estação Meteorológica INMET Boa Vista – A135 e processados pelo software Rosa dos Ventos, estes serão utilizados para a compreensão do efeito dos ventos sobre o nível de exposição. No caso de Roraima, observou-se que os ventos são predominantemente alinhados do Nordeste e com velocidade média de 1,76 m/s, considerados constantes nos meses e nas horas, durante o período de estudo (janeiro a março). Em fevereiro foi registrada a maior velocidade média deste ano, com ventos de 1,83 m/s.

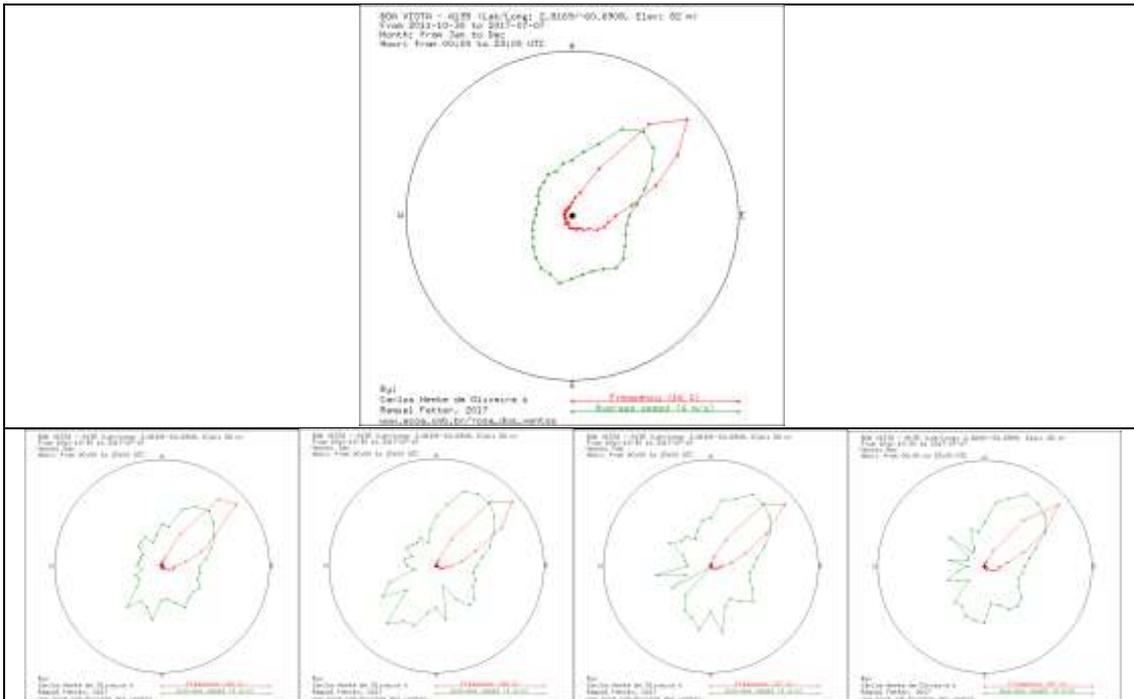


Figura VIII: Rosa dos ventos para a estação meteorológica mais próxima às áreas de MIF (Estação Boa Vista / INMET), construída com base nos ventos a partir de 2011. A representação maior mostra a média anual e as quatro representações menores equivalem aos meses onde foram conduzidos este estudo (dezembro a março).

Apesar de sua relevância, o vento, só ganha a devida importância dentro da análise ao se comparar o alinhamento do vento em relação ao alinhamento entre o fogo (gerador de poluentes) e o trabalhador (onde é colocada a sonda). Na prática, tais alinhamentos não nos são disponíveis em função da baixa resolução do mapeamento de focos de calor do INPE, seja na escala espacial (pixel de aproximadamente 1 km), seja na escala temporal (intervalo de várias horas entre passagem de satélites). Ou seja, dessa forma as análises foram inconclusivas.

Dada a notável importância dos ventos para o objeto central desta pesquisa argumenta-se a necessidade de investimentos na melhoria do monitoramento dos focos de incêndios associada à aplicação de modelagem de dispersão e diluição de poluentes. A solução seria investir em estações meteorológicas locais, o que validaria o uso dos dados de vento. Tal iniciativa poderia auxiliar na explicação dos resultados aqui expostos principalmente as altas concentrações encontradas, bem como na adoção de estratégias de MIF menos impactantes ao brigadista.

4.4. Medidas Preventivas e Recomendações

Há uma antiga preocupação sobre os riscos de exposição à fumaça para a saúde, seja de curto ou longo prazo. O manual de brigadistas do PREVFOGO não traz equipamento obrigatório para evitar exposição a contaminantes como MP10 e MP2.5. Como equipamento obrigatório há o uso da balaclava, porém esta não tem função de filtragem, é mais uma proteção ao calor do fogo contra a pele. A legislação normativa brasileira dos bombeiros (Despacho n.º 4959/2014 “Ficha técnica nº 10”) define máscara de partículas e filtro para máscara de partículas como equipamentos de segurança que possuem capacidade para filtrar algumas partículas, poeiras e gases.

É imprescindível que se comece a pensar em tornar o uso de equipamentos respiradores que filtrem as partículas mais prejudiciais, como MP 10 e MP 2.5, em situações de emergência, de turnos muito longos, de incêndios alarmantes, como forma de minimizar tal exposição aos componentes da fumaça. No entanto, não há nenhum tipo de equipamento que evite a absorção de CO, pelos brigadistas durante atividade de combate a incêndios. Para isso, AUSTIN (2000) recomenda o uso de um monitor de CO com alarme, o qual deveria ser usado em conjunto com os respiradores/purificadores de ar.

Em um relatório da IRSST, AUSTIN (2000) lembra que o principal método de proteção ainda deve ser através de práticas de prevenção como realizar alterações nas práticas de trabalho, redução de turnos, revezamento de função no momento do combate, entre outros. O uso de respiradores deve ser considerado um meio secundário de proteção. Fora que nenhum respirador existente até então protege contra todos os componentes tóxicos presentes na fumaça.

O desenvolvimento do uso de respiradores apropriados para os bombeiros florestais é uma questão complexa e precisa de mais estudos, entretanto, essa necessidade de mais dados não pode ser considerada uma limitação. Os dados deste estudo indicam que a exposição do CO e MP foram considerados, por vezes, acima do limite permitido pelas agências normativas. Seria então imprudente esperar que mais estudos sejam feitos antes de se tomar alguma medida para reduzir as exposições a níveis aceitáveis, seja por medidas de mudança de trabalho ou pelo uso de proteção respiratória.

As condições de exposição precisam ser claramente documentadas durante toda a amostragem para distinguir tarefas, identificar fogo e condições meteorológicas, para identificar solos e combustíveis, incluindo a umidade do combustível, e para distinguir entre exposição a fumaça e outras fontes de contaminação, tais como exaustão de veículos, exaustão de aeronave, escape de equipamentos, fumaça de gasolina, etc. (AUSTIN, 2000). A exposição à fumaça provavelmente será mais alta durante o ataque inicial, durante o ataque direto de queimas em ventos fortes, e em situações de grandes queimas que sofrem de uma fraca dispersão atmosférica (REINHARDT; OTTMAR, 1997).

Partindo da compreensão de que não somente o CO ou o MP10 e o MP2,5 e são componentes tóxicos da fumaça, sabemos que existem outros componentes químicos e cancerígenos. A exposição dos bombeiros a essa fumaça provoca decréscimo na função pulmonar. De acordo com CAMPBELL; DALSEY (2012) os bombeiros correm o risco de ataques cardíacos, acidentes vasculares cerebrais e outros eventos relacionados com o cardíaco, enquanto combatem os incêndios florestais.

Isto posto, é possível recomendar algumas medidas mitigadoras que podem começar a ser adotadas pela equipe dos brigadistas, por exemplo, implementar programas de exame médico, de avaliação da aptidão física, promover testes de estresse de exercícios, coletar amostras de sangue dos brigadistas pós manejo do fogo, e talvez a mais importante, preocupar-se em promover o revezamento das funções que os brigadistas desempenham.

V. CONCLUSÃO

Com base nos resultados desta pesquisa, verificou-se que as condições laborais dos brigadistas os expõem a teores elevados de CO e MP. Por vezes acima ou no limite das normas nacionais e internacionais quanto à concentração, porém em menor tempo de exposição. É possível afirmar que estes trabalhadores estão em situação de insalubridade, experimentam exposições constantes tanto de CO, quanto das formas de MP. Destaca-se a relevância de analisar as normas que apresentam uma exposição média ponderada no tempo de 15 minutos (STEL), mais próximas da condição laboral dos brigadistas florestais, para que seja possível a comparação.

Considera-se que o efeito do vento deva ser analisado frente à variação das concentrações de ambos os poluentes, contribuindo com a dispersão e redução do tempo de permanência desses poluentes na atmosfera. Porém a falta de estações meteorológicas próximas dificulta a obtenção de dados precisos do vento.

Os resultados obtidos para o presente estudo foram coletados em atividade de Manejo Integrado do Fogo, ou seja, condições de certa forma controladas. Em um caso de incêndio, onde o fogo se alastra livremente e pode durar dias ou semanas, certamente os dados seriam mais alarmantes.

Importante salientar que o brigadista responsável por transportar a sonda em suas costas durante os experimentos estava realizando a função de pinga-fogo. Tecnicamente é o que está menos exposto, pois está na linha de frente iniciando o fogo. O restante da brigada se posiciona em fila logo atrás deste, exercendo outras funções, utilizando abafadores para controlar o fogo, ficando assim mais expostos ainda.

Destacamos que a técnica empregada para medições de CO e MP representa método simples e não invasivo, apresentando grandes perspectivas para emprego em situações similares ao problema aqui abordado, ou seja, nas condições em que se exijam medidas em elevadas resoluções de espaço e tempo para a compreensão de fenômenos ambientais e socioambientais complexos.

Os resultados desta pesquisa contribuem para a melhor qualificação e quantificação da situação de insalubridade em que os trabalhadores em atividades de combate aos incêndios florestais estão submetidos, identificando possíveis medidas mitigadoras para proporcionar um ambiente de trabalho seguro e saudável para os mesmos.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACGIH, A. C. OF G. I. H. TLVs & BEIs: Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents & Biological Exposure Indices. Cincinnati OH: [s.n.].

ACGIH, A. C. OF G. I. H. TLV® Chemical Substances Introduction. Disponível em: <<https://www.acgih.org/tlv-bei-guidelines/tlv-chemical-substances-introduction>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

ADETONA, O. et al. Exposure of Wildland Firefighters to Carbon Monoxide, Fine Particles, and Levoglucosan. *The Annals of Occupational Hygiene*, v. 57, n. 8, p. 979–991, 1 out. 2013.

ARBEX, M. A. et al. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *J bras pneumol*, v. 30, n. 2, p. 158–75, 2004.

AUSTIN, C. Wildland firefighter health risks and respiratory protection. [s.l.] Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, 2000.

BROYLES, G. Wildland Firefighter Smoke Exposure, 2013. Disponível em: <<https://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf13511803/pdf13511803dpi100.pdf>>

CAMPBELL, C.; DALSEY, L. NIOSH Science Blog. Disponível em: <<https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2012/07/13/wildlandfire/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

CARDOSO, E. L. et al. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, n. 6, p. 747–752, 2003.

CONAMA N° 003. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

DUNN, K. H. et al. Application of end-exhaled breath monitoring to assess carbon monoxide exposures of wildland firefighters at prescribed burns. *Inhalation Toxicology*, v. 21, n. 1, p. 55–61, jan. 2009.

EDWARDS, R. et al. Application of real-time particle sensors to help mitigate exposures of wildland firefighters. *Archives of environmental & occupational health*, v. 60, n. 1, p. 40–43, 2005.

EPA. Carbon Monoxide National Ambient Air Quality Standards: Scope and Methods Plan for Health Risk and Exposure Assessment. Disponível em: <https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/co/data/2009_04_COScopeandMethodsPlan.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2017.

ERNST, A.; ZIBRAK, J. D. Carbon monoxide poisoning. *New England journal of medicine*, v. 339, n. 22, p. 1603–1608, 1998.

FREITAS, A. DE M.; SOLCI, M. C. Caracterização do MP10 e MP2,5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. *Química Nova*, 2009.

FREITAS, S. R. et al. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. *ESTUDOS AVANÇADOS*, v. 19, n. 53, p. 19, 2005.

FREY, H. C. et al. Measurement of On-Road Tailpipe CO, NO, and Hydrocarbon Emissions Using a Portable Instrument. 2001.

HARRISON, R. M.; YIN, J. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *Science of the total environment*, v. 249, n. 1–3, p. 85–101, 2000.

ISO. Wildland fire environment paper. Prepared by ISO/TC94/SC14/WG3/PG3 for support in development of ISO 16073. International Standards Organization, Geneva, Switzerland., 2006.

MIRANDA, A. I. et al. Wildland Smoke Exposure Values and Exhaled Breath Indicators in Firefighters. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, v. 75, n. 13–15, p. 831–843, 1 jul. 2012.

NIOSH, N. I. FOR O. S. AND H. NIOSH POCKET GUIDE TO CHEMICAL HAZARDS. [s.l: s.n.].

NIOSH, N. I. FOR O. S. AND H. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/npg/pgintrod.html>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

REDDINGTON, C. L. et al. Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. *Nature Geosci*, v. 8, n. 10, p. 768–771, print 2015.

REINHARDT, T. E.; OTTMAR, R. D. Smoke exposure among wildland firefighters: a review and discussion of current literature. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-373. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 68 p, v. 373, 1997.

REISEN, F.; HANSEN, D.; MEYER, C. P. Assessing firefighters' exposure to air toxics in bushfire smoke. AFAC/Bushfire CRC Annual Conference. Anais...2007

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos Avançados*, v. 16, n. 44, p. 125–148, 2002.

RUBY, B. C. et al. Total energy expenditure during arduous wildfire suppression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 34, n. 6, p. 1048–1054, 2002.

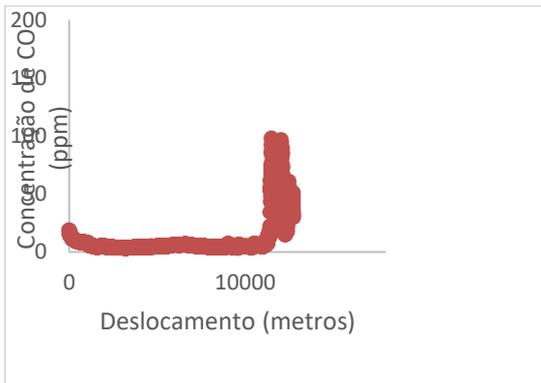
SCAPINI, C.; BRANCHER, M.; LISBOA, H. Comparação das concentrações de MP10 monitoradas na cidade de Florianópolis com padrões de qualidade do ar. 2016.

WHO. Air Quality Guidelines: global update, particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. [s.l.] World Health Organization, Copenhagen, 2005a.

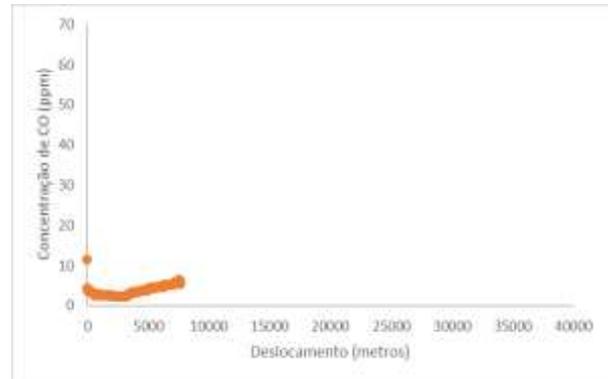
WHO. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. [s.l.] WHO, 2005b.

WHO. World Health Organization - WHO Air quality guidelines for particulate matter. Geneva: WHO, 2006.

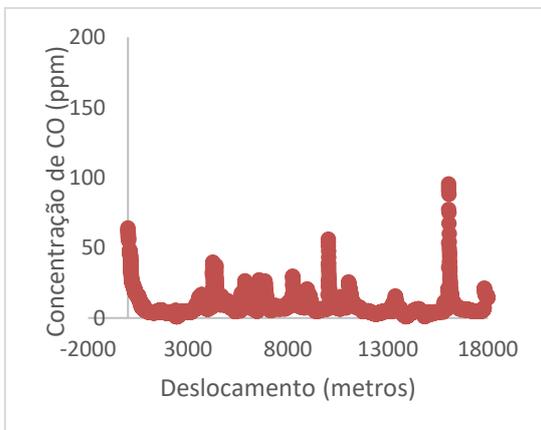
ANEXOS



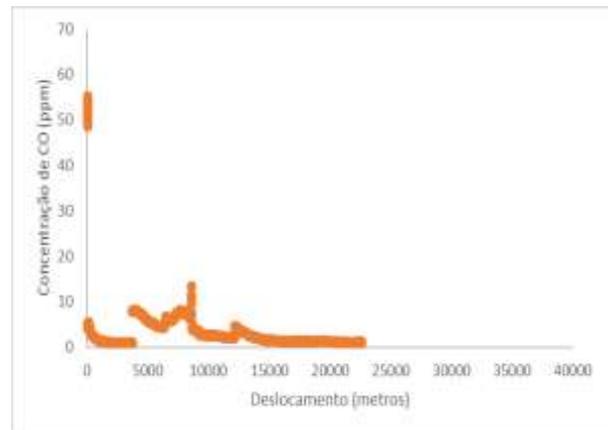
Anexo I: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 7 de Dezembro de 2016.



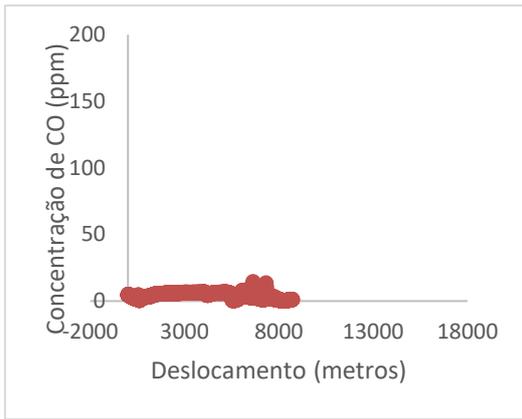
Anexo II: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 7 de Dezembro de 2016.



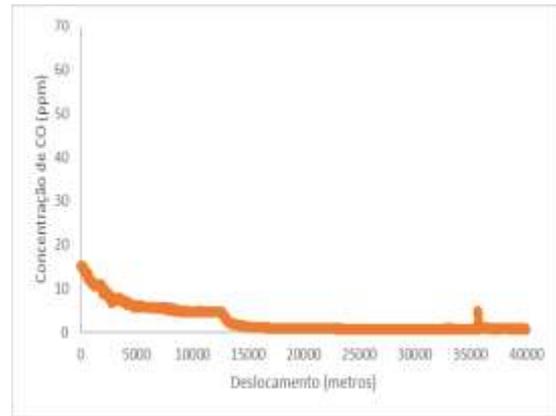
Anexo III: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 8 de Dezembro de 2016.



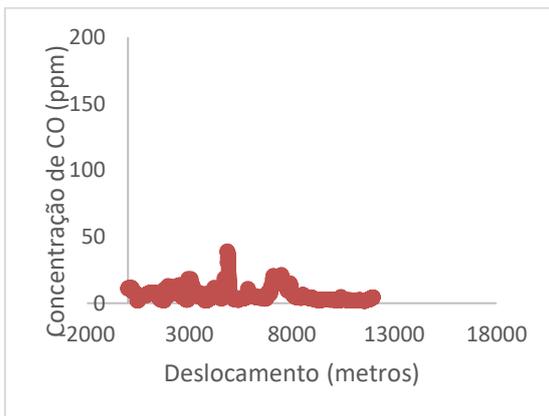
Anexo IV: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 8 de Dezembro de 2016.



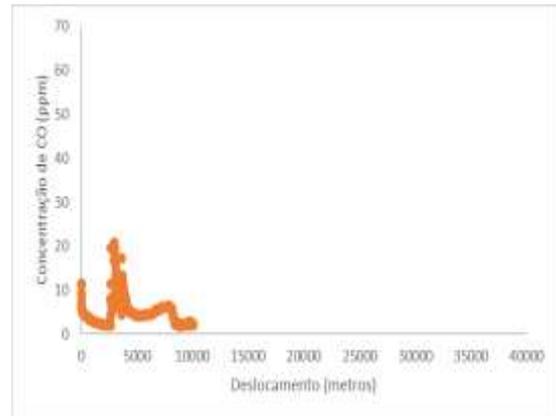
Anexo V: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 10 de Dezembro de 2016.



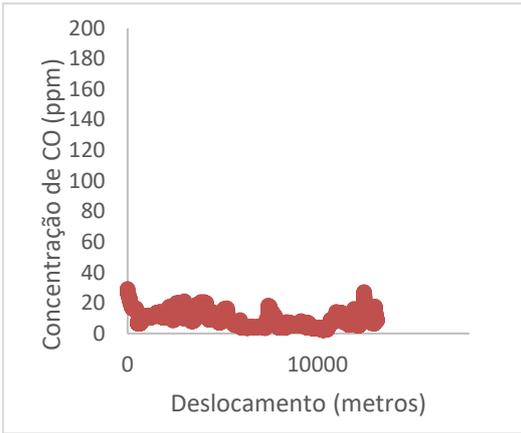
Anexo VI: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 10 de Dezembro de 2016.



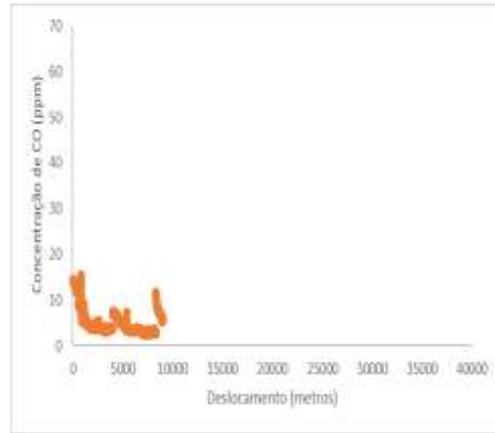
Anexo VII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 11 de Dezembro de 2016.



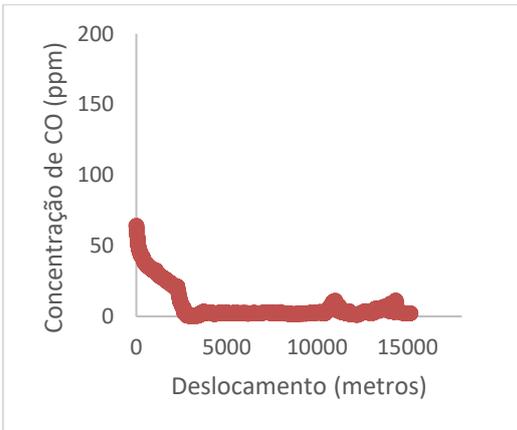
Anexo VIII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 11 de Dezembro de 2016.



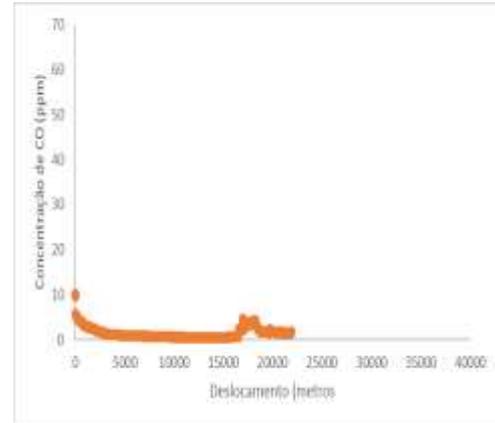
Anexo IX: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 12 de Dezembro de 2016.



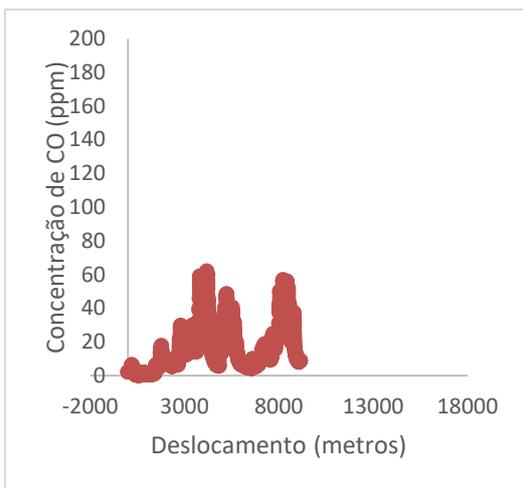
Anexo X: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 12 de Dezembro de 2016.



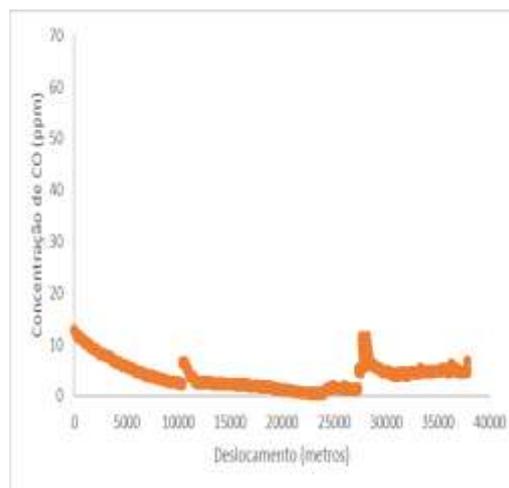
Anexo XI: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 15 de Dezembro de 2016.



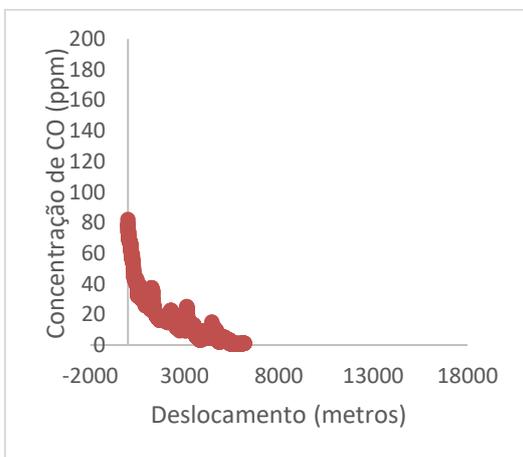
Anexo XII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 15 de Dezembro de 2016.



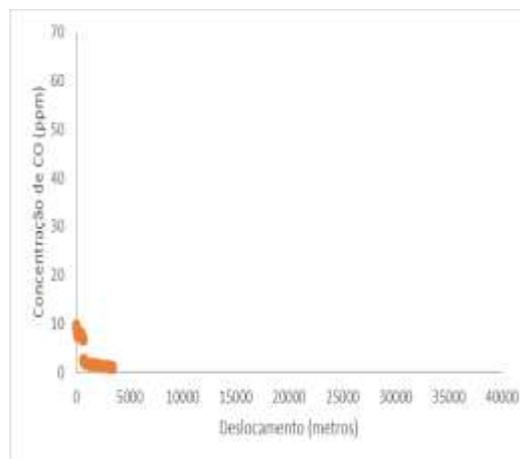
Anexo XIII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 16 de Dezembro de 2016.



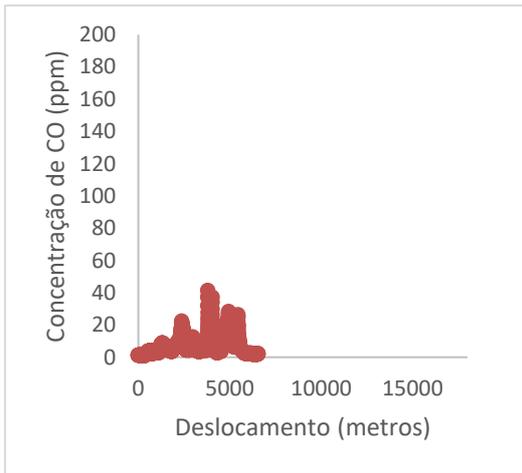
Anexo XIV: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 16 de Dezembro de 2016.



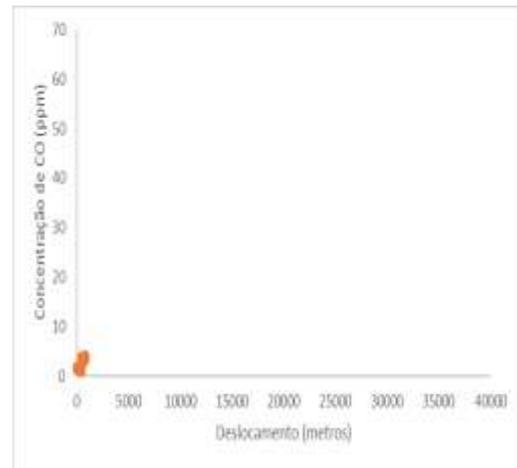
Anexo XV: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 19 de Dezembro de 2016.



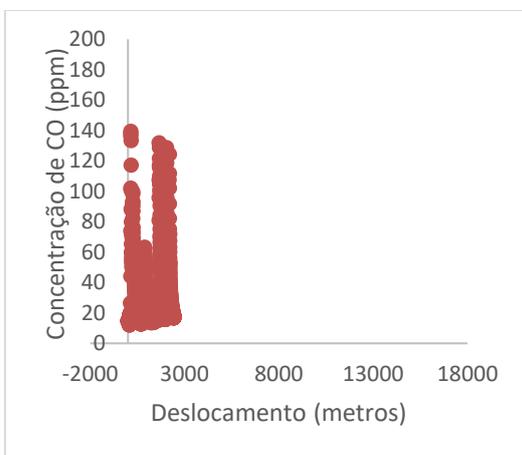
Anexo XVI: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 19 de Dezembro de 2016.



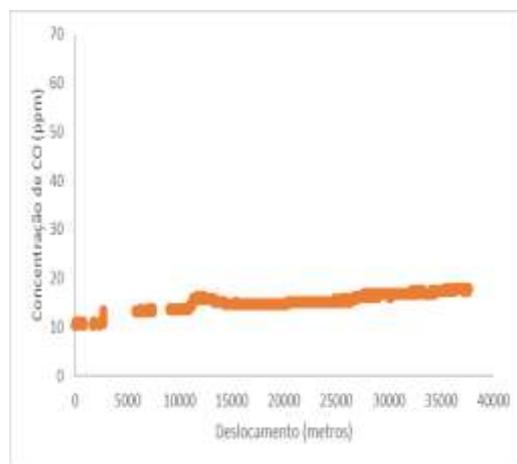
Anexo XVII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 21 de Dezembro de 2016.



Anexo XVIII: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 21 de Dezembro de 2016.



Anexo XIX: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “caminhando”, para o dia 5 de Março de 2017.



Anexo XX: Representação da concentração de CO (ppm) pelo deslocamento (metros) dos brigadistas florestais durante o MIF no estado de Roraima. A condição de embarque é “em veículo automotor”, para o dia 5 de Março de 2017.

