



Avaliação do estresse oxidativo causado pela exposição ao material particulado em trabalhadores de carvão vegetal

Evaluation of oxidative stress caused by exposure to particulate matter in charcoal workers

Daniela Philippsen Goelzer¹, Paula Schmitt², Aline Belem Machado³, Magda Susana Perassolo⁴,
Daniela Montanari Migliavacca Osório⁵, Daiane Bolzan Berlese⁶

RESUMO: A produção do carvão vegetal está associada a poluição atmosférica e a diversos processos envolvendo o estresse oxidativo na população. Portanto, o principal objetivo deste projeto foi avaliar os efeitos causados pelo material particulado sobre os parâmetros de estresse oxidativo em trabalhadores que atuam na produção de carvão vegetal em Barão do Triunfo. Foram coletadas as partículas atmosféricas, utilizando um amostrador de partículas e as coletas de material biológico dos trabalhadores para as análises de superóxido dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx) e poder antioxidante total (FRAP). O grupo controle foi selecionado a partir de um banco de dados já existente, de um laboratório de análises clínicas do município sendo composto por indivíduos saudáveis e não expostos ao material particulado. Os resultados das concentrações de material particulado tiveram média de 16,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o material particulado fino e de 300,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o material particulado grosso. Os resultados das análises sócio-demográficas do grupo controle apresentam prevalência do sexo feminino que possuem ensino médio completo, com renda mensal média de até dois salários mínimos. Já no grupo exposto encontra-se uma prevalência de indivíduos do sexo masculino, com ensino fundamental e médio completos, renda mensal superior a dois salários mínimos, a maioria dos trabalhadores sem o hábito de fumar. No grupo exposto verificou-se um aumento na GPx e uma diminuição da SOD comparado ao grupo controle. Não houve diferença significativa para o FRAP entre grupo controle e grupo exposto. Assim, podemos concluir que os trabalhadores expostos ao material particulado têm níveis de enzimas oxidativas mais elevados e defesas oxidativas diminuídas quando comparados ao grupo controle.

Palavras-chave: Radicais livres. Poluição atmosférica. Carvoeiros.

ABSTRACT: The production of charcoal is associated with atmospheric pollution and several processes involving oxidative stress in the population. Therefore, the main objective of this project was to evaluate the effects caused by particulate matter on oxidative stress parameters in workers working in charcoal production in Barão do Triunfo. Atmospheric particles were collected using a particle sampler and biological material collected from workers for analysis of superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx) and total antioxidant power (FRAP). The control group was selected from an existing database, from a clinical analysis laboratory in the city, consisting of healthy individuals not exposed to particulate matter. The results for particulate matter concentrations averaged 16.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for fine particulate matter and 300.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for coarse particulate matter. The results of the socio-demographic analyzes of the control group show a prevalence of females who have completed secondary education, with an average monthly income of up to two minimum wages. In the exposed group, there is a prevalence of male individuals, with complete primary and secondary education, monthly income above two minimum wages, the majority of workers without the habit of smoking. In the exposed group there was an increase in GPx and a decrease in SOD compared to the control group. There was no significant difference for FRAP between the control group and the exposed group. Thus, we can conclude that workers exposed to particulate matter have higher levels of oxidative enzymes and decreased oxidative defenses when compared to the control group.

Keywords: Free radicals. Atmospheric pollution. Charcoal workers.

Autor correspondente: Paula Schmitt

E-mail: paulabiologa@gmail.com

Recebido em: 23/06/2023

Aceito em: 13/03/2024

¹ Bacharel em Biomedicina. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale.

² Bióloga, formada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e mestre em Geologia, com foco em Meio Ambiente e Recursos Minerais. Tem experiência em licenciamento ambiental, monitoramento de fauna e coordenação de projetos. Atualmente, atua como consultora ambiental e integra o Programa de Aperfeiçoamento Científico da Feevale.

³ Bacharel em Biomedicina. Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale.

⁴ Doutora em Ciências Médicas: Endocrinologia pela Universidade Federal do Rio Grande. Professora titular e pesquisadora no Mestrado Acadêmico em Toxicologia e Análises Toxicológicas da Universidade Feevale.

⁵ Doutora em Ecologia pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pesquisadora Colaboradora da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP.

⁶ Doutora em Bioquímica Toxicológica. Professora de Bioquímica do Instituto de Ciências da Saúde e pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale.

INTRODUÇÃO

Atualmente, mais de 50% da população do planeta vivem em cidades urbanas e estão expostas a altos níveis de poluentes do ar (SALVI *et al.*, 2009). O acelerado crescimento da urbanização e o desenvolvimento da industrialização contribuíram significativamente para o aumento das emissões antrópicas, como por exemplo, a queima de combustíveis fósseis (WHO, 2005).

O Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial de carvão vegetal, onde grande parte desta produção é consumida no próprio país (OLIVEIRA *et al.*, 2014). E essa produção de carvão vegetal vincula-se a setores diversos. No contexto socioeconômico, esta atividade é caracterizada por gerar empregos, mas sempre se associando a péssimas condições de trabalho (MOURA *et al.*, 2011). E no cenário ambiental, produção de carvão vegetal está intrínseca ao desmatamento, monocultura, geração de resíduos sólidos e a poluição atmosférica (SABLOWSKI, 2008).

A produção de carvão vegetal ainda ocorre, na grande maioria, em fornos rudimentares de alvenaria, onde há necessidade de mão de obra humana, expondo os trabalhadores a fumaça e calor. O trabalhador inala constantemente material particulado, gases tóxicos, fuligem, cinzas e pó do carvão e produtos volatizados da queima da biomassa (KATO *et al.*, 2005).

Um dos principais poluentes atmosféricos é o material particulado (MP), que pode ser de origem primária emitida por fontes naturais diretamente na atmosfera, ou secundária, por fontes antropogênicas, ou seja, derivada de atividades humanas (ARBEX *et al.*, 2012). É classificado de acordo com seu tamanho aerodinâmico, podendo também ser classificado pelas partículas inaláveis ou grossas (MP_{10}), cujo diâmetro é menor que $10 \mu m$ e maior que $2,5 \mu m$, e partículas finas ($MP_{2,5}$) de até $2,5 \mu m$ (BRAGA *et al.*, 2001). O MP com maior diâmetro fica retido nas vias aéreas superiores, enquanto os de menor diâmetro chegam aos alvéolos (CANÇADO *et al.*, 2006).

O material particulado é relacionado com o surgimento de diversos efeitos deletérios à saúde (PEARSON *et al.*, 2010). As partículas podem causar, principalmente, indução ao estresse oxidativo, iniciando uma resposta inflamatória que atinge a circulação sistêmica, que pode causar efeitos sistêmicos (KÜNZLI *et al.*, 2010; GROCHANKE, 2015). Quando o MP entra em contato com o epitélio respiratório, ocorre formação de radicais livres de nitrogênio e de oxigênio, o que leva ao estresse oxidativo nas vias aéreas. A constante exposição ao MP, principalmente fino, induz o estresse oxidativo e produção de citocinas pró-inflamatórias no organismo (KIM *et al.*, 2019).

O processo de produção de estresse oxidativo é decorrente de um desequilíbrio entre compostos oxidantes e antioxidantes, favorecendo a geração em excesso de radicais livres ou em diminuição da velocidade de remoção desses. Esse processo leva à oxidação de biomoléculas que perdem suas funções biológicas e/ou um desequilíbrio na homeostase (HALLIWELL e WHITEMAN, 2004). Quando esse processo se cronifica, cita-se consequências como a diabetes, aterosclerose, obesidade, transtornos neurodegenerativos e câncer (GREEN *et al.*, 2004; FERRARI, 2004).

O estresse oxidativo pode ser avaliado a partir de dosagens de superóxido dismutase (SOD), glutatona peroxidase (GPx) e poder antioxidante total (BENZIE e STAIN, 1996). Portanto, torna-se necessária e importante a dosagem desses marcadores para avaliar os possíveis danos causados pelo material particulado nos indivíduos expostos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos causados pelo material particulado ($MP_{10} \mu m$ e $MP_{2,5} \mu m$) sobre a produção de estresse oxidativo em trabalhadores que atuam na produção de carvão vegetal em um município do Rio Grande do Sul (RS).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

A cidade de Barão do Triunfo está localizada na mesorregião metropolitana de Porto Alegre, fazendo divisa com os municípios Arroio dos Ratos, São Jerônimo, Mariana Pimentel, Sertão Santana e Cerro Grande do Sul. A distância até a capital do estado é de 101 km e a cidade possui aproximadamente 7.454 habitantes (IBGE, 2018), tendo como densidade demográfica 16,08 hab/km² (IBGE, 2010). O PIB per capita de Barão do Triunfo é de R\$13.146,71, ocupando as últimas colocações em comparação com os outros municípios do estado (IBGE, 2017). O município apresenta apenas 29,2% de domicílios com esgotamento sanitário adequado e seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,610 o menor valor encontrado em todo o RS (IBGE, 2010).

2.2 AMOSTRA

A amostra foi composta por dois grupos: 44 indivíduos que trabalham na atividade de carvoaria e residem na cidade em questão e 54 indivíduos (grupo controle) que não residem em locais próximos e não atuam na atividade. O grupo controle foi selecionado a partir de um banco de dados já existente em projetos de pesquisa da Universidade Feevale, sendo composto por indivíduos saudáveis e não expostos ao material particulado. Já para o grupo exposto, conta-se com o apoio da EMATER- RS para a captação de voluntários, a qual já trabalha em parceria no município com os carvoeiros.

Os trabalhadores selecionados e que aceitaram participar do estudo têm mais de 18 anos e responderam um questionário sócio demográfico ocupacional. Após a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade CAAE 94634418.5.0000.5348) foi realizada a coleta do material biológico.

2.3 COLETA DO MATERIAL PARTICULADO

As amostragens de material particulado foram realizadas no município de Barão do Triunfo/RS, e coletadas próximas a duas escolas do município. Foram coletadas cinco amostras no município e o período de avaliação foi de vinte quatro horas, nos meses de abril, agosto, setembro e outubro. Foram coletadas as partículas atmosféricas, finas (MP_{2,5} μm) e grossas (MP₁₀ μm) utilizando um amostrador de partículas atmosféricas, que possui filtros de quartzo ou borossilicato, colocados em série, permitindo a separação das partículas em duas faixas de tamanho das partículas. Após cada coleta, a análise química do material particulado dos filtros foi feita por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite e espectrometria de absorção atômica de chama.

2.4 COLETA DO MATERIAL BIOLÓGICO

O material foi coletado dos trabalhadores expostos ao material particulado a partir de punção venosa, em dois tubos (EDTA e heparina), totalizando quatro ml. Estes foram centrifugados a 2500 rpm durante 10 minutos e separados em alíquotas de plasma em ependorfes para a determinação. As amostras foram identificadas e armazenadas a -80°C para análise dos marcadores de estresse oxidativo. Como citado anteriormente, a coleta do material biológico do grupo controle foi realizada no primeiro semestre de 2019, seguindo o mesmo protocolo mencionado acima.

2.5 ANÁLISES LABORATORIAIS

O estresse oxidativo foi avaliado através das dosagens de superóxido dismutase (SOD) (método indireto do azul de nitrotetrazólio - NBT), glutaciona peroxidase (PLEBAN *et al.*, 1982) e poder antioxidante total (BENZIE e STAIN, 1996).

2.5.1 Superóxido Dismutase Extracelular

Para determinar a atividade da SOD, foi utilizado o kit Fluka 19160 (Steinheim, Germany), baseado no método indireto do azul de nitrotetrazólio (NBT). Esse ensaio necessitou de 20 μ L da amostra e usa a xantina e a xantina oxidase para gerar radicais superóxidos que reagem com 2-(4-iodofenil)-3-(4-nitrofenil)-5-feniltetrazoliumclorido para produzir formazan, um composto que absorve luz a 450 nm. A inibição da produção do cromógeno é proporcional à atividade da SOD presente na amostra. A leitura foi realizada em microplacas em espectrofotômetro e os resultados serão expressos em % de inibição da SOD.

2.5.2 Glutaciona Peroxidase (gpx)

A atividade enzimática da glutaciona peroxidase foi realizada pelo método descrito por Pleban e colaboradores (1982). Primeiramente, é preparada a reação de trabalho com 50 mmol/l de tampão Tris em pH 7,6, contendo por litro 1 mmol de Na₂EDTA, 2 mmol de glutaciona reduzida, 0,2 mmol de NADPH, 4 mmol de azida de sódio e 1000 U de glutaciona redutase. A mistura é incubada por 5 minutos a 37°C e após, para determinar a atividade enzimática no plasma, é adicionado 50 μ L de plasma não diluído para 950 μ L da reação de trabalho. A atividade da GSH-Px é expressa em U/L de plasma. Após 30 segundos, a diminuição da absorbância será linear com o tempo. Para o início da reação foi adicionado 10 μ L de H₂O₂ 8,8 mmol/L em seguida acompanhada a descida do NADPH em absorbância de 340 nm para 3 minutos. Foi feito o tubo branco, e ao invés de plasma foi adicionado água.

A partir dos resultados obtidos, os cálculos foram realizados conforme equação:

$$K = [2,3/(t_2^* - t_1^*)] \times \log [GSH^* \text{ at } t_1 (1 \text{ min})/GSH \text{ at } t_2 (3 \text{ min})] \text{ (FARAJI } et al., 1987)$$

*t₁ = leitura no tempo 1; *t₂ = leitura após três minutos; *GSH = glutaciona reduzida.

2.5.3 Poder Antioxidante Total

Determinado através do método descrito por Benzie e Strain (1996) que se baseia no poder redutor do ferro. O FRAP (ferric reducing/antioxidante power) é um teste de medida direta de poder antioxidante total. Para a realização, o plasma dos pacientes foi colocado em contato com o FRAP (TPTZ - 2,4,6-tripiridyl-s-triazina 10 mM em 40 mM de HCl; tampão acetato 300 mM pH 3,6; FeCl₃ 6H₂O 20 mM), que se reduz com a presença de antioxidantes e baixo pH, formando uma coloração azul intensa, que é monitorada pela medida da mudança na absorção em 593 nm. A mudança na absorbância é diretamente relacionada à combinação de poder redutor total de antioxidantes doadores de elétrons presentes na mistura de reação. O poder antioxidante total foi calculado utilizando como padrão o ácido ascórbico e uma solução de sulfato ferroso (BENZIE e STRAIN, 1996).

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a classificação e tabulação dos dados coletados, foram realizadas análises descritivas. Foi testada a normalidade dos dados através do teste estatístico de Shapiro-Wilk, e como o resultado foi não

paramétrico utilizamos o teste estatístico Mann-Whitney U Test. Com nível de significância de 5%. Para o estudo estatístico, foi utilizado o software *Statistical Package for the Social Sciences* SPSS for Windows, v. 26.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 constam os dados das coletas de material particulado, diferenciando em fino ($MP_{2,5}$) e grosso (MP_{10}), juntamente com os valores máximos permitidos pelo CONAMA (BRASIL, 2018). Têm-se os valores adquiridos a partir de filtros de amostragem de material particulado fino e grosso. Juntamente com esses valores, se tem também a concentração máxima permitida pela legislação ambiental. Nota-se que os valores de material particulado fino estão todos dentro do limite permitido, sendo provável que em um período maior de amostragem, também possa estar alterado. Por outro lado, o material particulado grosso, está acima dos valores permitidos pela legislação em quatro das cinco análises

Tabela 1. Concentrações de material particulado fino e grosso na cidade de Barão do Triunfo.

Início	Fim	$MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CONAMA 491/2018 $MP_{2,5}$	MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CONAMA 491/2018 MP_{10}
24/04/2019	25/04/2019	18,61	60,00	209,33	120,00
29/04/2019	30/04/2019	4,64	60,00	41,01	120,00
28/08/2019	30/08/2019	15,06	60,00	250,23	120,00
25/09/2019	27/09/2019	11,57	60,00	208,34	120,00
10/10/2019	11/10/2019	32,41	60,00	791,70	120,00

Fonte: Autores. CONAMA (BRASIL, 2018).

Nas amostragens de material particulado, os valores de material particulado fino ($MP_{2,5}$) encontraram-se todos dentro dos valores estipulados pelo CONAMA (BRASIL, 2018). Isso se pode justificar pelo fato de que o tempo de amostragem foi curto, indicando que o material particulado fino demora mais para se acumular tanto nos filtros quanto no epitélio respiratório, ou ainda, por razões meteorológicas. Já os valores de material particulado grosso (MP_{10}), tiveram a grande maioria das concentrações acima do permitido pelo CONAMA (BRASIL, 2018).

O material particulado grosso atinge as vias aéreas superiores, podendo desencadear um processo de aumento de produção de radicais livres. Um estudo realizado pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente sugere que há necessidade de atenção quando a concentração de MP_{10} for igual a $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Quando as concentrações chegam a $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$, deve ser encarado como um alerta de risco a saúde e situações de emergências serão necessárias quando os níveis alcançarem $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SANTANA *et al.*, 2012).

Ainda sobre exposição, comprovou-se que a inalação diária do material particulado fino está associada a efeitos adversos à saúde. Por ser menor, o material particulado fino deposita-se profundamente nos pulmões e subsequentemente é distribuído por todo o organismo via sistema circulatório, atingindo órgãos secundários, como cérebro, coração e fígado (BRAGA *et al.*, 2001). Já a nível celular, a exposição ao MP, ativa diversas vias de sinalização que desencadeiam respostas patológicas caracterizadas pela produção de mediadores inflamatórios e espécies reativas de oxigênio. A consequência final desses eventos é a morte celular tanto por apoptose, quanto por necrose e autofagia. O acúmulo dessas partículas em longo prazo

está associado a doenças inflamatórias crônicas, como a doença pulmonar obstrutiva crônica (TRABOUSLI *et al.*, 2017).

Há estudos que associam, também, a exposição ao material particulado e perturbações da barreira dérmica por meio da produção de estresse oxidativo e citocinas inflamatórias. Dentre as principais patologias relatadas na literatura, encontram-se dermatites atópicas, alopecias e envelhecimento cutâneo. Também se relata que crianças são o grupo mais afetado e sensível ao material particulado (LEITE e PEREIRA, 2017; KIM *et al.*, 2016).

A tabela 2 apresenta os dados referentes às dosagens laboratoriais realizadas no grupo controle do estudo, apresentando os valores de mediana e intervalo do poder antioxidante total (FRAP), glutathiona peroxidase (GPx) e superóxido dismutase extracelular (SOD).

Dentre as enzimas oxidativas, a dosagem de glutathiona apresentou um aumento significativo no grupo dos carvoeiros quando comparado com o grupo controle. Esses dados indicam que houve um aumento da produção de radicais livres nos trabalhadores expostos ao material particulado. Com base na teoria estudada para a realização do estudo, este era o resultado esperado, visto que a inalação de material particulado provoca a produção de radicais livres no organismo dos indivíduos expostos.

Já a SOD teve valores maiores no grupo controle, apresentando uma diminuição dos seus valores no grupo exposto. Esses dados indicam que houve uma diminuição das defesas antioxidantes comparado ao grupo controle. Por fim, nas dosagens de FRAP foram muito similares, não havendo diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$).

A principal consequência de altas dosagens de enzimas oxidativas e baixas dosagens de defesas antioxidantes é o envelhecimento celular precoce, bem como a morte celular. Estudos realizados demonstram que a inalação de partículas de fumaça induz níveis mais altos de danos oxidativos ao DNA, bem como induzem uma resposta ao estresse oxidativo e genes pró-inflamatórios no fígado e pulmão. A utilização de fornos a lenha de madeira de maneira crônica expõe os indivíduos a altas concentrações de material particulado, o que aumenta a possibilidade de estresse oxidativo e até o desenvolvimento de câncer (PERNILLE *et al.*, 2010; LYKKE *et al.*, 2012; RABHA *et al.*, 2018). Prado e colaboradores relataram em cortadores de cana-de-açúcar uma diminuição da função pulmonar e aumento de marcadores de estresse oxidativo, decorrente da inalação de material particulado decorrente da fumaça da queima da cana (PRADO *et al.*, 2012).

Tabela 2. Valores de Poder Antioxidante Total (FRAP), Glutathiona Peroxidase (GPx) e Superóxido Dismutase (SOD) extracelular do grupo não exposto (controle) e exposto (carvoeiros).

	Controle Mediana (25-75)	Carvoeiros Mediana (25-75)
FRAP (mcmol/L)	1119,07 920,6–2688,3	1203,6 1036,5–1437,7
GPx (U/L)	11,2 1,7–53,2	54,12* 20,1–105,2
SOD (U/mg Hb)	90,5 84,3–352,7	73,2* 70,9–81,9

Fonte: Autores. Dados expressos com média e intervalo interquartil (25 – 75), com $n = 54$ para grupo controle e $n = 44$ para carvoeiros. Teste Mann Whitney U Test * $p < 0,001$.

Existem diversos estudos relacionando o trabalho realizado por bombeiros e a inalação de fumaça, relatando que o combate a incêndios florestais e a exposição à fumaça de madeira estão associados a um nível aumentado de dano ao DNA, surgindo um potencial risco adverso à saúde. Além disso, os bombeiros

apresentam maior dano oxidativo e maiores índices de purinas oxidadas quando comparados a trabalhadores de outras áreas (ABREU *et al.*, 2017; FERGUSON *et al.*, 2016). Sugere-se também que o uso de equipamentos de proteção individual auxilia na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo em bombeiros (PARK *et al.*, 2016). No entanto, novos estudos são necessários para avaliar o efeito da inalação do material particulado e sua relação com o estresse oxidativo.

Após a inalação do material particulado, as células pulmonares liberam mediadores pró inflamatórios e moléculas vasoativas. Deste modo, a exposição a essas partículas pode abranger diversos mecanismos patológicos que envolvem o aumento de espécies reativas do oxigênio (EROS) e nitrogênio (ERNS), assim desencadeando o aumento do estresse oxidativo. O estresse oxidativo pode induzir a apoptose celular nos pulmões e induzir o processo inflamatório pulmonar. A resposta inflamatória sistêmica ocorre através da liberação de mediadores pró inflamatórios, como: citocinas, leucócitos e plaquetas, liberados pelos pulmões (CANÇADO *et al.*, 2006; BROOK, 2008; HUTTNER *et al.*, 2012; MARTINELLI *et al.*, 2013; YIN *et al.*, 2014).

Os principais efeitos biológicos do material particulado são o estresse oxidativo e processos inflamatórios, expressando citocinas inflamatórias que recrutam macrófagos e assim produzindo uma grande quantidade de espécies reativas de oxigênio (ERO) e de nitrogênio (ZHANG *et al.*, 2014). O estresse oxidativo, mesmo que com uma exposição aguda, está diretamente associado com o desenvolvimento primário de doença pulmonar obstrutiva crônica e asma (HOGG, 2004). Ainda, pesquisas apontam que o material particulado interfere de forma negativa sobre a produção dos marcadores de estresse oxidativo (RAO *et al.*, 2018; ZHOU *et al.*, 2017).

Como medida benéfica para esses profissionais pode-se utilizar compostos bioativos presentes nos vegetais que podem reverter o processo inflamatório causado pelos radicais livres no organismo. Estes compostos, especialmente compostos fenólicos, terpenóides e algumas vitaminas, apresentam atividade antioxidante e anti-inflamatória podendo, por exemplo, neutralizar os radicais livres, diminuindo o estresse oxidativo, ou até mesmo inibir a expressão de enzimas envolvidas na inflamação. A ingestão de alimentos ricos em antioxidantes, como por exemplo, frutas cítricas, pode também ajudar a amenizar o envelhecimento celular precoce (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Os dados categóricos específicos de distribuição da amostra do grupo controle (frequência relativa e o percentual das variáveis para as categorias quanto ao sexo, escolaridade, renda mensal e tabagismo) estão apresentados na Tabela 3. Nota-se uma prevalência de voluntários do sexo feminino com percentual de 77,8%, que possuem ensino fundamental incompleto (44,4%) e que não são fumantes, representando 83,3%. O sexo masculino representa apenas 22,2%, bem como 16,7% também é o percentual de fumantes. Ressalta-se que apenas 1,9% dos voluntários possuem ensino superior completo. Referindo-se a renda mensal dos voluntários, a maioria deles (40,8%), recebe até dois salários mínimos.

Tabela 3. Distribuição da frequência absoluta e do percentual das variáveis: sexo, escolaridade, renda mensal e tabagismo nos trabalhadores não expostos ao carvão.

Variáveis	Categoria	Frequência	Percentual (%)
Sexo	Feminino	42	77,8
	Masculino	12	22,2
Escolaridade	Fundamental incompleto	24	44,4
	Fundamental completo	8	14,8
	Médio incompleto	9	16,7
	Médio completo	11	20,4
	Superior incompleto	1	1,9
	Superior completo	1	1,9
Renda mensal	< 1 salário mínimo	0	0
	1 salário mínimo	17	31,5
	Até 2 salários mínimos	22	40,8
	+2 salários mínimos	15	27,7
Tabagismo	Fumante	9	16,7
	Não fumante	45	83,3

Fonte: Autores. Dados são expressos em frequência e percentual (%), com n = 54 para o grupo controle, nas variáveis sexo, escolaridade, renda mensal e tabagismo.

Na tabela 4 é apresentada a frequência relativa e o percentual das variáveis para as categorias quanto ao sexo, escolaridade, renda mensal, tabagismo e tempo de profissão dos voluntários expostos ao carvão vegetal.

Podemos destacar a prevalência do sexo masculino (70,5%). Quando analisada a escolaridade, a maioria dos voluntários possui ensino fundamental completo e ensino médio completo, representando 15,9% do total. A renda mensal mais frequente é de até dois salários mínimos (93,2%). 70,5% dos participantes não possuem o hábito de fumar. Ainda, o tempo de profissão dos carvoeiros é de principalmente menos de cinco anos, representando 61,4% da amostra estudada. Quando se refere à idade média dos dois grupos, apresenta-se no grupo controle uma média de 52 anos com desvio padrão de aproximadamente sete anos. Já no grupo exposto ao carvão vegetal, encontrou-se uma prevalência de idade de 39 anos, com desvio padrão de aproximadamente treze anos (Tabela 3).

Os resultados apresentados na tabela 4 revelam que o grupo controle foi composto principalmente por mulheres, contrapondo o grupo exposto, composto na sua maioria por homens. Como Teodoro e colaboradores já citaram em 2010, o trabalho envolvendo carvão vegetal é desenvolvido em maior quantidade pelo sexo masculino, por ser um trabalho braçal, necessitando muitas vezes de força excessiva.

No grupo controle, a maior prevalência de escolaridade foi nos voluntários que completaram o ensino médio completo. Já no grupo exposto, a prevalência tanto para voluntários que completaram o ensino fundamental quanto para os mesmos que completaram o ensino médio. Essa diferença é analisada pelo fato de que, na maioria das vezes, faltam oportunidades que viabilizem o estudo para estes profissionais. Muitas vezes, as carvoarias são localizadas no interior, dificultando mais ainda o acesso ao ensino médio e superior. Demonstrou-se também que a principal renda dos voluntários expostos é de até dois salários mínimos e dentre os voluntários do grupo controle, sua maioria recebe até dois salários mínimos mensalmente.

Nota-se que a população que têm o carvão vegetal como fonte de renda é uma população sem grandes poderes aquisitivos, visto que ainda existem problemas de exploração da mão-de-obra e impactos

ambientais decorrentes da exploração. De acordo com Bethonico (2009), há um ciclo vicioso que envolve a produção de carvão vegetal, que se inicia pelas dificuldades econômicas, juntamente com a deficiência do sistema educacional. Isso pode levar os moradores das cidades que exploram o carvão a trabalharem nas carvoarias.

Tabela 4. Distribuição da frequência absoluta e do percentual das variáveis sexo, escolaridade, renda mensal e tabagismo, tempo de profissão nos trabalhadores expostos ao MP do carvão vegetal.

Variáveis	Categoria	Frequência	Percentual (%)
Sexo	Feminino	13	29,5
	Masculino	31	70,5
Escolaridade	Fundamental incompleto	28	63,6
	Fundamental completo	7	15,9
	Médio incompleto	1	2,3
	Médio completo	7	15,9
	Superior incompleto	1	2,3
	Superior completo	0	0
Renda mensal	< 1 salário mínimo	0	0
	1 salário mínimo	2	4,5
	Até 2 salários mínimos	41	93,2
	+ 2 salários mínimos	1	2,3
Tabagismo	Fumante	13	20,5
	Não fumante	31	70,5
Tempo de profissão	Até 5 anos	27	61,4
	Mais de 5 anos	17	38,6

Fonte: Autor. Dados são expressos em frequência e percentual (%), com n=44 para o grupo exposto, nas variáveis sexo, escolaridade, renda mensal, tabagismo e tempo de profissão.

Como consequência da exploração, existe a degradação ambiental, com a diminuição do volume hídrico, erosão, empobrecimento do solo e a diminuição da área de coleta de frutos nativos, dificultando, assim, a produção agrícola e levando os moradores a buscarem empregos nas carvoarias, fechando o ciclo (BETHONICO, 2009). A produção de carvão vegetal também pode representar um acréscimo na renda dos trabalhadores, justamente pela deficiência educacional e salarial.

O hábito de fumar atingiu a minoria tanto no grupo controle quanto no grupo exposto. Pelo fato da região de Barão do Triunfo ser conhecida pelo plantio do fumo e pelos trabalhadores inalarem fumaça provinda da queima do carvão vegetal, a prática do tabagismo é muito associada a estes trabalhadores, contrapondo os resultados obtidos.

O tempo de profissão dos carvoeiros se mostrou bem homogêneo, tendo uma pequena prevalência de profissionais com menos de cinco anos nas minas de carvão vegetal. Isso se pode justificar pelo fato de que trabalhar em minas de carvão vegetal submete os indivíduos a condições precárias de saúde, como já citaram Santos e colaboradores, em 2012. Porém, essa relação apresentada em alguns estudos não pode ser estabelecida, pois a exploração do carvão vegetal na região estudada teve início a aproximadamente 10 anos, explicando a presença de novos profissionais.

Por fim, neste estudo pode-se observar que os trabalhadores expostos a fumaça do carvão vegetal já apresentam um prejuízo a saúde quando comparado com o grupo controle, especialmente no que tange ao objetivo do estudo. De fato, medidas de prevenção e educação nesta população são necessárias, ainda que haja a necessidade de mais estudos para avaliar os possíveis agravos a saúde destes trabalhadores, bem como estabelecer formas de minimizar a poluição atmosférica causada por esta atividade.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, notou-se um aumento nas concentrações de material particulado grosso diante dos valores estabelecidos pelo CONAMA. A concentração de material particulado na cidade analisada encontra-se acima dos valores permitidos e aceitáveis pelos órgãos ambientais, chamando atenção principalmente para o material particulado grosso.

A dosagem de GPx foi maior no grupo exposto do que no grupo controle, indicando que houve um aumento da produção de radicais livres nos trabalhadores de carvoarias. A SOD teve uma diminuição dos seus valores no grupo exposto, resultando em uma diminuição das defesas antioxidantes comparado ao grupo controle. Não houve diferença significativa nos valores de FRAP quando comparado entre os dois grupos. Os dados devem ser avaliados cuidadosamente, visto que não foram encontrados estudos anteriores relacionando dosagens de enzimas oxidativas em trabalhadores de carvão vegetal.

Sendo um assunto de grande cunho social, acredita-se que devam ser investidos mais recursos para estudos na área, buscando entender cada vez mais o risco que os profissionais que trabalham em carvoarias estão expostos. E ainda, procurar averiguar os riscos futuros dessa exposição, principalmente a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A.; COSTA, C.; SILVA, S. P.; MORAIS, S.; PEREIRA, M. C.; FERNANDES, A.; ANDRADE, V. M.; TEIXEIRA, J. P.; COSTA, S. Wood smoke exposure of Portuguese wildland firefighters: DNA and oxidative damage evaluation, *Journal of Toxicology and Environmental Health*, v. 80, n. 13-15, p. 569-604, 2017.
- ARBEX, M. A.; SANTOS, U. P.; MARTINS, L. C.; PAULO, S. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power". The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, v. 239, p. 70-76, 1996.
- BETHONICO, M. B. B. Implicações da produção de carvão vegetal no município de Montezuma/MG: percepção da população local. *Geografia. Ensino & Pesquisa*, v. 13, p. 10-21, 2009.
- BRAGA, A.; BÖHM, G. M.; PEREIRA, L. A. A.; SALVIDA, P. Poluição atmosférica e saúde humana. *Revista USP*, n. 51, p. 58-71, 2001.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2018.
- BROOK, R. D. Cardiovascular effects of air pollution. *Clinical Science*, v. 115, n. 6, p. 175-187, 2008.

- CANÇADO, J. E. D.; BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; ARBEX, M. A.; SALDIVA, P. H. N.; SANTOS, U. P. S. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 32, n. 1, p. S5-S11, 2006.
- FERGUSON, M. D.; SEMMENS, E. O.; DUMKE, C.; QUINDRY, J. C.; WARD, T. J. Measured pulmonary and systemic markers of inflammation and oxidative stress following wildland firefighter simulations. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 58, n. 4, p. 407-413, 2016.
- FERRARI, C. K. B. Functional foods, herbs and nutraceuticals: towards biochemical mechanisms of healthy aging. **Biogerontology**, v. 5, n. 5, p. 275-279, 2004.
- GREEN, K.; BRAND, M.D.; MURPHY, M. P. Prevention of mitochondrial oxidative damage as a therapeutic strategy in diabetes. **Diabetes**, v. 53, p. 110-118, 2004.
- GROCHANKE, B. S. **Efeito da exposição crônica ao material particulado fino nos parâmetros de estresse oxidativo em pulmões de camundongos submetidos ao consumo de dieta hiperlipídica**. Dissertação (Pós-graduação em Ciências da Saúde) – Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, 2015.
- HALLIWELL, B.; WHITEMAN, M. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? **British Journal of Pharmacology**, v. 142, n. 2, p. 231-255, 2004.
- HOGG, J. C. The nature of small-airway obstruction in chronic obstructive pulmonary. **The New England Journal of Medicine**, v. 350, n.26, p.2645-53. 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2017**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/barao-do-triunfo/panorama>>. Acesso em: 14 jun. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2010, Área territorial brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 09 mai. 2019.
- KATO, M.; DEMARINI, D.M.; CARVALHO, A.B.; REGO, M.; ANDRADE, A.V.; BONFIM, A.S.; World at work: charcoal producing industries in northeastern Brazil. **Occupational Environmental Medicine**, v. 62, n. 2, p. 128-132, 2005.
- KIM K. E.; CHO D.; PARK H. J. Air pollution and skin diseases: adverse effects of airborne particulate matter on various skin diseases. **Life Sciences**, v. 152, p. 126-134, 2016.
- KIM, H. J.; HERATH, K. H. I. N. M.; KIM, A.; MIHINDUKULASOORIYA, M. K.; JEON, Y. Protective effect of a brown algae, *Sargassum horneri* on particulate matter-induced oxidative stress and inflammation in MLE-12 cells. **The Journal of Immunology**, v. 202, n.1, 2019.
- KÜNZLI, N.; PEREZ, L.; RAPP, R. Air quality and health. **European Respiratory Society**, 2010.

LEITE, J. O. B.; PEREIRA, B. B. Doenças da pele relacionadas à poluição do ar: uma revisão sistemática. **Journal of Health and Biological Sciences**, v. 5, n. 2, p. 171-177, 2017.

LYKKE, F.; STEFFEN, L. A.; MARTIN, R.; YI, C.; INGUNN, S. R. T. S.; PETER M.; Expression of adhesion molecules, monocyte interactions and oxidative stress in human endothelial cells exposed to wood smoke and diesel exhaust particulate matter. **Toxicology Letters**, v. 209, p. 121-128, 2012.

MARTINELLI, N.; OLIVIERI, O.; GIRELLI, D. Air particulate matter and cardiovascular disease: a narrative review. **European Journal of Internal Medicine**, v. 24, n. 4, p. 295-302, 2013.

MOURA, A. P. M.; CAMPOS, J. E.; MAGALHÃES, S. R. Melhoria da qualidade de serviço na produção de carvão no setor de carbonização: um estudo de caso. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 8, n. 1, p. 19-26, 2011.

OLIVEIRA, A. C.; SALLES, T. T.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; BRAGA, C. S.; SANTOS, R. C. Viabilidade econômica da produção de carvão vegetal em dois sistemas produtivos. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 143 – 152, 2014.

OLIVEIRA, R. S., LUCAS, C. P., ANTONUCCI, G., & DA SILVA, F. C. Compostos bioativos naturais: agentes promissores na redução do estresse oxidativo e processos inflamatórios. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 5, n. 2, 2018.

PARK, E.; LEE, Y. J.; BANG, C. H.; LEE, G.; LEE, J.; KWAN, J.; HUH, Y. Changes of oxidative/antioxidative parameters and DNA damage in firefighters wearing personal protective equipment during treadmill walking training. **The Journal of Physical Therapy Science**, v. 28, n. 11, p. 3173–3177, 2016.

PEARSON, J. F.; BACHIREDDY, C.; SHYAMPASAD, S.; GOLDFINE, A. B.; BROWNSTEIN, J. S. Association between fine particulate matter and diabetes prevalence in the US. **Diabetes Care**, v. 33, n. 10, p. 2196-2201, 2010.

PERNILLE, H. D.; STEFFEN, L.; NICKLAS, R. J.; KELD, A. J.; HERMAN A.; JEAN-LUC R.; HA KAN, W.; PETER, M. Oxidative Stress, Inflammation, and DNA Damage in Rats after Intratracheal Instillation or Oral Exposure to Ambient Air and Wood Smoke Particulate Matter. **Toxicological Sciences**, v. 118, n. 2, p. 574–585, 2010.

PLEBAN, P. A.; MUNYANI, A.; BEACHUM, J. Determination of Selenium Concentration and Glutathione Peroxidase Activity in Plasma and Erythrocytes. **Clinical Chemistry**, v. 28, n. 2, p. 311-316, 1982

PRADO G. F.; ZANETTA, D. M.; ARBEX, M.A; BRAGA, A.L.; PEREIRA, L.A.; MARCHI, M.R.; et al. Burnt sugarcane harvesting: particulate matter exposure and the effects on lung function, oxidative stress, and urinary 1-hydroxypyrene. **Science of the Total Environment**, v. 437, p. 200-208, 2012.

RABHA, R.; GHOSH, S.; PADHY, P. K. Indoor air pollution in rural north-east India: Elemental compositions, changes in hematological indices, oxidative stress and health risks. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 165, p. 393-403, 2018.

RAO, X.; ZHONG, J.; BROOK, R. D.; RAJAGOPALAN, S. Effect of particulate matter air pollution on cardiovascular oxidative stress pathways. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 28, n. 9, p. 797-818, 2018.

SABLOWSKI, A. R. M. **Balço de materiais na gestão ambiental da cadeia produtiva do carvão vegetal para produção de ferro gusa em Minas Gerais**. Programa de Pós-Graduação em Ciências

- Florestais (Tese de Doutorado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.
- SALVI, S. S.; BARNES, P. J. Chronic obstructive pulmonary disease in non-smokers. **Lancet**, v. 374, n. 9691, p. 733-743, 2009.
- SANTANA, E.; DA CUNHA, K. B.; FERREIRA, A. L.; ZAMBONI, A. Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Européia. **São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente**, 2012.
- SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Produção**, v. 22, n. 2, p. 309-321, 2012
- TEODORO, G. C. S.; DOURADO, E. S.; SILVA, J. G. B.; ABDALLA, S. D.; SOBRINHO, E. D. S.; MAGALHÃES, D. S. Impactos sócio-ambientais decorrentes da atividade carvoeira no município de Riacho de Santana – BA. Reunião Regional da SBPC no Recôncavo da Bahia/BA. In: SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 2010.
- TRABOUSLI, H.; GUERRINA, N.; IU, M.; MAYSINGER, D.; ARIYA, P.; BAGLOLE, C. J. Inhaled pollutants: the molecular scene behind respiratory and systemic diseases associated with ultrafine particulate matter. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 2, p. 243, 2017.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. Copenhagen: World Health Organization; 2005.
- YI, S.; ZHANG, F.; QU, F.; DING, W. Water-insoluble fraction of airborne particulate matter (PM₁₀) induces oxidative stress in human lung epithelial A549 cells. **Environmental Toxicology**, v. 29, p. 226-233, 2014.
- ZHANG, H.; LI, W.; GAO, Y.; LI, J.; WANG, H. Exposure to particular matter increases susceptibility to respiratory Staphylococcus aureus infection in rats via reducing pulmonary natural killer cells. **Toxicology**, v. 325, p.180-188. 2014.
- ZHOU, W.; TIAN, D.; HE, J.; ZHANG, L.; TANG, X.; ZHANG, L.; WANG, Y.; LI, L.; ZHAO, J.; YUAN, X.; PENG, S. Exposure scenario: Another important factor determining the toxic effects of PM_{2.5} and possible mechanisms involved. **Environmental Pollution**, v. 226, p. 412-425, 2017.