

X-017 – EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5}) POR FORNOS DE PIZZARIA NA CIDADE DE SÃO PAULO

Francisco Daniel Mota Lima⁽¹⁾

Gestor Ambiental e Licenciado em Biologia pela Universidade de São Paulo (USP) e Centro Universitário Claretiano, respectivamente. Mestre em Ciências pela Escola de Artes Ciências e Humanidades (USP). Doutorando em Ciências Atmosféricas (IAG-USP). Professor efetivo do Curso Superior em Gestão Ambiental do Instituto Federal do Pará-Campus Bragança

Francisca Socorro Peixoto⁽²⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Mestra em Engenharia Agrícola pela (UFC). Professora efetiva do Curso Superior em Gestão Ambiental do Instituto Federal do Pará-Campus Bragança.

Endereço⁽¹⁾: : Rua da Escola Agrícola, s/n°. Bairro: Vila Sinhá Bragança – PA. CEP: 68600-000 Tel: (11) 9 8512-1689- e-mail: francisco.lima@ifpa.edu.br

RESUMO

A queima de biomassa em fornos de pizzaria se constitui como importante fonte de poluição do ar, sobretudo na cidade de São Paulo, segunda cidade do mundo que mais comercializa pizza no mundo. Entre outros tipos de poluentes emitidos, o material particulado fino MP_{2,5}, mistura de partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera, se destaca como o mais agressivo à saúde humana, além de poder interferir no balanço radiativo global. O objetivo deste trabalho foi calcular os fatores de emissão (FE) e estimar as emissões de Material Particulado fino MP_{2,5} proveniente da queima de biomassa em pizzarias na cidade de São Paulo. As amostras foram coletadas utilizando o amostrador Minivol. A análise do material foi realizada por meio da técnica gravimétrica. Os fatores de emissão para o MP_{2,5} e *black carbon* provenientes da queima da lenha foram 0,38 g/kg e 0,23 g/kg, respectivamente; e para o briquete 1,04g/kg e 0,37g/kg respectivamente. As emissões de MP_{2,5} e *black carbon* foram de 0,958 t/ano e 0,340 t/ano para a queima do briquete e 116,736 t/ano e 70,656 t/ano para a queima da lenha.

PALAVRAS-CHAVE: Emissões Atmosféricas, Fatores de Emissão, Material Particulado, Pizzarias.

INTRODUÇÃO

As emissões atmosféricas, sobretudo as de origem antrópica, estão associadas à diversos problemas no clima, além de efeitos na saúde humana e ao meio ambiente. Em virtude desse potencial impacto, muitas pesquisas buscam estudar as fontes de poluição, tipos de poluentes, tratamento e, especialmente as emissões veiculares, classificadas como fontes móveis de poluição. Por outro lado, pouca atenção ainda é dada ao estudo das emissões provenientes de fontes estacionárias, principalmente as de menor porte, como chaminés de padarias, churrascarias e padarias. Embora sejam chaminés de menor porte, são muito numerosas, constituindo-se como uma potencial fonte de poluição, principalmente em grandes centros urbanos como é o caso da cidade de São Paulo.

De acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) na cidade de São Paulo existem mais de 8.000 pizzarias, destas, aproximadamente 80% utiliza a lenha como fonte de energia na cocção das mais de 1,5 milhões de pizzas comercializadas diariamente o que gera uma receita de mais de 5 bilhões de reais por ano. Depois de Nova York, São Paulo é a cidade que mais comercializa pizza no mundo.

Autores como Sgarbi et al (2013) destacam que a escolha pelo tipo de energia a ser utilizada depende de fatores educacionais, econômicos, condições climáticas, preferência, políticas governamentais e desenvolvimento econômico do país. Gradativamente ocorre a substituição de fontes de energia tradicional como a lenha, por fontes mais limpas, como a eletricidade e o gás natural. Todavia, para o uso em pizzarias, a lenha segue dominante em virtude de preferência de consumidores, é pouco provável que haja a suas substituição em curto prazo. Sendo, portanto, a combustão da lenha em fornos de pizzaria uma importante

fonte de poluição do ar, sobretudo de material particulado fino ($MP_{2,5}$), tendo em vista que a queima da lenha é um processo que ocorre com baixo rendimento energético e elevada emissão de gases, compostos orgânicos voláteis (COVs) e partículas, com é o caso do *black carbon* (BC), partícula de coloração escura, extremamente pequena e um dos principais constituintes da massa do $MP_{2,5}$, sobretudo nos processos de combustão, como emissões veiculares e a queima da biomassa (BRITO et al., 2007; OZGEN et al., 2014; SHEN et al., 2014).

OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo, estimar as emissões atmosféricas de material particulado fino ($MP_{2,5}$) provenientes da queima da lenha em pizzarias na cidade de São Paulo. Como objetivo específico, calcular o fator de emissão. Ou seja, a quantidade de $MP_{2,5}$ gerada para cada kg de lenha queimada.

METODOLOGIA

As etapas realizadas para atingir os objetivos propostos são apresentadas a seguir.

Área de estudo

As amostragens foram realizadas em duas pizzarias (P1-queima da lenha) e (P3-queima do briquete), durante três dias em cada pizzaria, das 17:30 à 01:00. As pizzarias estão localizadas na região central de São Paulo. A P1 está situada no tradicional bairro do Bixiga. A P3 está localizada no bairro de Santa Cecília. Ambas estão localizadas em áreas urbanas, predomínio residencial, próximas do comércio, sem proximidades de indústrias e ausência de grandes manchas de vegetação no entorno.

Equipamento de coleta

O Minivol, figura 1, fabricado pela *Airmetrics* foi o equipamento utilizado para realizar a parte experimental do estudo. O aparelho pode ser configurado para coletar $MP_{2,5}$, MP_{10} ou Partículas Totais em Suspensão (PTS), mas não simultaneamente as três frações. Opera com uma vazão de 5 L/min (em condição padrão, pressão atmosférica de 760 mmHg e temperatura de 298K) e faz uso de filtro. Para este estudo foram utilizados filtros de polycarbonato com diâmetro de 47 mm e poros de 0,4 μm . A separação de 10 ou 2,5 μm é conseguida por impactação. A fração total é amostrada quando se remove o impactador. Para este estudo, o amostrador foi configurado para coletar a fração $MP_{2,5}$. O Minivol tem sido utilizado no Brasil, Miranda (2001) e no mundo, Weinstein et al. (2010) em pesquisas para determinar a concentração e realizar a quantificação e caracterização do material particulado.

Durante a amostragem, cada filtro foi colocado no suporte de coleta do amostrador, ligou-se a bomba de vácuo e regulou-se a vazão do sistema para 5 L/min. O equipamento foi deixado em operação sendo então verificada a leitura de vazão final, visto a possibilidade de sua redução devido à sujidade do filtro. O material particulado foi coletado nos seguintes horários: das 17:30 às 18:30 e das 21:00 às 22:00 horas em todos os dias de amostragem nas duas pizzarias (P1 e P2). A escolha do horário deve-se ao fato de buscar-se analisar apenas a queima da lenha quando o forno é aceso, e no outro momento, a queima da biomassa mais a pizza no forno. A figura 01 ilustra o equipamento utilizado para coletar o $MP_{2,5}$, o duto acoplado a chaminé mais o equipamento e os filtros amostrados em uma sala com controle de temperatura e umidade, aproximadamente 22°C e 50%, respectivamente.



Figura 1: Amostrador MiniVol, duto acoplado à chaminé e filtros amostrados em sala de pesagem.

Cálculo dos Fatores de Emissão (FE).

Os fatores de emissão foram calculados usando a equação (1) descrita por Calvo et al., (2014):

$$EF_{MP2.5, \Delta t} = \frac{C_{MP2.5} \cdot Q_{\Delta t} \cdot \Delta t}{\Delta m}$$

equação (1)

Onde:

$EF_{MP2.5, \Delta t}$ é o fator de emissão (g/kg) do $MP_{2.5}$ no intervalo de tempo Δt

$C_{MP2.5}$ é a concentração de $MP_{2.5}$ no intervalo (g/m^3)

$Q_{\Delta t}$ é a vazão dos gases na saída da chaminé (m^3/s)

Δt é o intervalo de tempo para cada filtro (15 minutos)

Δm é a massa de combustível consumida no intervalo (kg)

Estimativa das Emissões

A cidade de São Paulo possui aproximadamente 8.000 pizzarias, destas, 80% faz uso do forno à lenha, portanto, 6.400 pizzarias. O consumo médio de lenha por pizzaria é de 8 m^3 /mês, ao ano são 96 m^3 . A literatura aponta que 1 m^3 de lenha equivale a aproximadamente 500 kg considerando a umidade da lenha de 30%. Sendo assim, 96 m^3 de lenha (consumo anual) equivale a 48.000kg ou 48t/ano de lenha utilizada em cada pizzaria na cidade de São Paulo. 2% das 6.400 pizzarias utilizam o briquete, portanto, 128 pizzarias. O consumo médio do briquete é de 600 kg/mês, ao ano são 7.200 kg ou 7,2 t/ano de briquete utilizado em cada pizzaria na cidade de São Paulo.

Pode-se fazer uma estimativa das emissões de $MP_{2.5}$ e BC para as pizzarias da cidade de São Paulo considerando-se a quantidade de combustível vendido por ano (lenha e briquete). Baseando-se na teoria usada por Majumdar et al., (2013), onde foram calculadas as emissões de restaurantes para uma cidade da Índia, conforme ilustra a equação (2):

$$Emissões_{MP2.5, combustível} = quantidade\ de\ lenha\ (kg) \times Fator\ de\ emissão_{MP2.5, combustível}$$

equação (2)

RESULTADOS

Os fatores de emissões foram calculados em condições reais de funcionamento de uma pizzaria, ou seja, sem ventilação forçada, consumindo-se a lenha/briquete como no cotidiano, à medida que era necessário, sem levar em consideração que as medições estavam sendo realizadas. Aplicando-se a equação proposta por Calvo et al., (2014), apresentada na metodologia, os FE foram calculados na primeira hora de uso do forno (17:30 às 18:30) pois o peso total de combustível (lenha/briquete) colocado no forno era conhecido. Na segunda parte das medidas (21:00 às 22:00) não se conhecia o peso da lenha que restava no forno das horas anteriores, somente o que seria acrescentado, e a incerteza neste parâmetro poderia prejudicar os resultados.

Os valores médios, para 1 hora de amostragem, foram: FE $MP_{2.5} = 0,38 \pm 0,10$ g/kg e FE BC = $0,23 \pm 0,14$ g/kg. Para a Pizzaria 3, tem-se FE $MP_{2.5} = 1,04 \pm 0,64$ g/kg e FE BC = $0,37 \pm 0,54$ g/kg. De acordo com ao valores obtidos para os FE, o briquete seria menos eficiente que a lenha comum, é necessário colocar mais toras de briquete para se conseguir a mesma eficiência da lenha, apesar de emitir concentrações menores de $MP_{2.5}$ e BC. Provavelmente o poder calorífico desse briquete utilizado na P3 não era alto, este varia conforme o tipo de matéria prima usada na briquetagem.

A figura 2 apresenta os valores médios dos FE ao longo do tempo de amostragem. Desvios altos são devido à grande variação nos valores dos FE, porém observa-se que os FE aumentam na primeira meia hora, decaem e voltam a aumentar em virtude do acréscimo de lenha no forno. As pizzas no forno não influenciaram os FE. É interessante observar que para o briquete, este sendo uma mistura de vários materiais, provavelmente há uma parte consumida mais rapidamente, que emite menos *black carbon* (BC) restando outra parte que emite mais BC, por isso o fator de emissão do BC aumenta muito após 30 minutos.

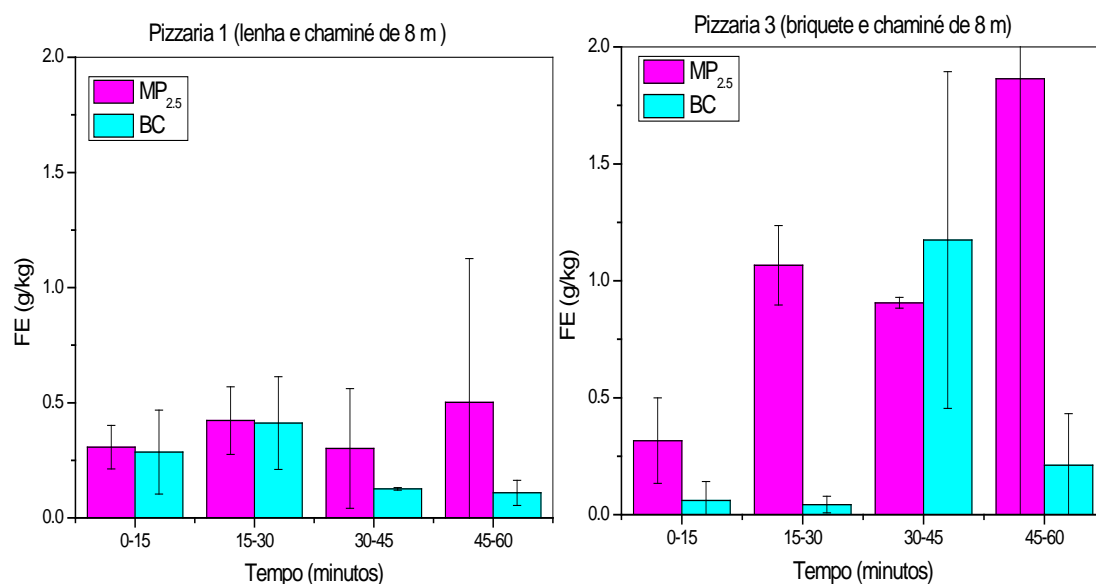


Figura 2: valores médio dos FE do $MP_{2.5}$ e BC calculados na P1 e P3.

Depois de calculado os FE, foi feita a estimativa anual de $MP_{2.5}$ e BC emitidos por fornos de pizzarias durante a queima da lenha e do briquete na cidade de São Paulo. A tabela 1 relaciona os FE do $MP_{2.5}$ e BC, a quantidade de combustível utilizado e a estimativa das emissões anuais dos referidos poluentes.

Tabela 1: Estimativa das emissões de MP_{2,5} e BC pela queima da lenha e briquete em pizzarias de SP.

		FE (g/kg)	Atividade(kg/ano)	Emissão total (t/ano)
Lenha	MP _{2,5}	0,38	307 200 000	116,736
	BC	0,23	307 200 000	70,656
Briquete	MP _{2,5}	1,04	921 600	0,958
	BC	0,37	921 600	0,340

As emissões provenientes da queima da lenha são altamente superiores às emissões oriundas da queima do briquete. Mesmo tendo apresentado maiores FE para o briquete, a quantidade de lenha utilizada nas pizzarias é muito superior ao consumo de briquetes, sobretudo por conta do baixo número de pizzarias adeptas ao briquete. As emissões de MP_{2,5} e BC por fornos de pizzarias são significativas, e não devem ser negligenciadas em inventários sobre qualidade do ar na cidade de São Paulo. Talvez, agrupar as atividades alimentícias que mais utilizam a lenha, pizzarias, padarias e restaurante, e estabelecer a contribuição desse ramo de atividade para as emissões de material particulado. Além disso, esses resultados reforçam a ideia de que atividades tidas como de menor porte e menos poluidora, possui potencial impacto em causar danos ao ambiente.

As emissões aqui obtidas, são passíveis de comparação com outros estudos. Bhattacharya et al. (2000) estimaram as emissões da queima de biomassa para algumas atividades poluidoras em regiões da Ásia, entre elas, China, Índia e Nepal. Cada país fez uso de 6700 kt, 3500 kt e 51 kt de lenha. As emissões anuais de PTS provenientes do uso da lenha no comércio foram de: 50 kt, 15 kt e 0,77 kt de PTS respectivamente. Na Índia, Majumdar et al. (2013) estimaram as emissões de PTS e BC em duas cidades, Nagpur e Raipur, oriundas da queima da lenha em restaurantes. O consumo de lenha para cada cidade foi de 8,1 t e 23 t. Em Nagpur as emissões de PTS e BC foram de: 17.039 kg/ano e 333 kg/ano, em Raipur, as emissões foram de 48.397 kg/ano e 945 kg/ano respectivamente. Finalmente, Gianelle et al. (2013) inventariaram as emissões de benzo(a)pireno e MP₁₀ em treze regiões da Itália. Os autores concluíram que na região de Milano- via Pascal as principais fontes dos referidos poluentes são as emissões veiculares, o uso da lenha em lareira e a queima da lenha em pizzarias. A emissão total de MP₁₀ foi de 850 t, no entanto, não especificaram as emissões apenas por pizzarias.

A contribuição das emissões de MP_{2,5} e BC por pizzaria são significativas, e não devem ser negligenciadas em inventários sobre qualidade do ar na cidade de São Paulo. Talvez, agrupar as atividades alimentícias que mais utilizam a lenha, pizzarias, padarias e restaurante, e estabelecer a contribuição desse ramo de atividade para as emissões de material particulado. Além disso, esses resultados reforçam a ideia de que atividades tidas como de menor porte e menos poluidora, possui potencial impacto em causar danos ao ambiente.

CONCLUSÕES

As emissões atmosféricas são importantes problemas ambientais da atualidade, sendo as emissões por fontes estacionárias, como é o caso das pizzarias, ainda pouco estudada. Na cidade de São Paulo existem mais de 8.000 pizzarias, constituindo-se como potenciais fontes de poluição do ar. Sendo de grande importância estimar essas emissões atmosféricas, sobretudo de MP_{2,5} tendo em vista ser um poluente que causa grandes efeitos no clima e sobretudo na saúde humana.

Os FE mais elevados para a queima do briquete, revelaram que o tipo de briquete utilizado na pizzaria 3 emite maiores concentrações de MP_{2,5} e BC por unidade de massa, quando comparado com a queima da lenha de eucalipto. Tal fato nos leva a acreditar que este briquete não seja de boa qualidade. As emissões provenientes da queima da lenha em pizzarias na cidade de São Paulo foram de 117,73 t/ano de MP_{2,5} e 70,65 t/ano de BC. Para o briquete as emissões estimadas foram de 0,95 t/ano de MP_{2,5} e 0,34 t/ano de BC. Estes valores dão a dimensão de o potencial poluidor que as pizzarias representam para o ar da cidade, e sinaliza para a necessidade de se pensar em meios alternativos para a produção mais limpa em pizzarias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BHATTACHARYA, S.C.; ABDUL SALAM, P.; MAHEN SHARMA. *Emissions from biomass energy use in some selected Asian countries*. *Energy*, v. 25, p.169-188, 2000.
2. BRITO, J.O. O uso energético da madeira. *Estudos Avançados*. São Paulo, v.21, n. 59, 2007.
3. CALVO, A.L.; ALVES, C.A.; DUARTE, M.; NUNES, T.; TARELHO, L.A.C. *Characterization of operating conditions of two residential wood combustion appliances*. *Fuel Processing Technology*, v. 126, p. 222–232, 2014.
4. GONÇALVES, C.; ALEXANDRE, C.; CASIMIRO, P.; CÉLIA, A.; CHRISTOPH, S.; FÁTIMA, M.; FERNANDO, C.; MARGARITA, E. *Characterisation of PM10 emissions from woodstove combustion of common woods grown in Portugal*. *Atmospheric Environment*, v.44, p. 4474-4480, 2010.
5. MIRANDA, R.M. Caracterização físico-química e propriedades ópticas do aerossol urbano na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, 2001. Tese de Doutorado- Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.
6. MAJUMDAR, D.; CHINTADA, J.; SAHU, J.; CHAPATI RAO, C.V. *Emissions of greenhouse and non-greenhouse air pollutants from fuel combustion in restaurant industry*. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, v. 10, p.995-1006, 2013.
7. SGARBIN, F.A.; SALINAS, D.T.P.; SANTOS, E. M.; SIMÕES, A. F. *fuelwood as na energy source for the commercial cooking sector- An overview analysis focused in the city of São Paulo, Brazil*. *Biomass e Bioenergy*, v. 58, p.313-321, 2013.
8. SHEN, G; SHEN,H; CHEN, Y; DING, A; HUANG, Y; LI, W; SHEN, H; WU, H; TAO,S; YAG, C; XUE, M; ZHANG,Y; ZHU,Y. *Comparison of carbonaceous particulate matter emission factors among different solid fuels burned in residential stoves*. *Atmospheric Environment*, v.89, p.337-345, 2014.
9. SEBRAE. Ideias de Negócios – manual para pizzaria, São Paulo, 2009.
10. OZGEN, M.; ALESSANDRO, M.; CARMEN, M.; ELISABETTA, A.; FRANCESCA, H.; GABRIELE, M.; .MICHELE, G.; SILVIA, G.; STEFANO, C. *Emission factors from small scale appliances burning wood and pellets*. *Environmental Science & Technology* v. 94, p. 144-153, 2014
11. WEINSTEIN, J. P.; HEDGES, S. R.; KIMBROUGH, S. *Characterization and aerosol mass balance of PM_{2.5} and PM₁₀ collected in Conakry, Guinea during the 2004 Harmattan period*. *Chemosphere*, v. 78, p. 980-988, 2010.