

ADOÇÃO DE BIODIESEL B100 NA FROTA DO TRANSPORTE COLETIVO DE CURITIBA

Elcio Luiz Karas¹
Celso Ferreira Lucio²
Alyson Prado Wolf³

1. INTRODUÇÃO

A adoção de novas tecnologias nos veículos de transporte coletivo é fundamental para mitigar a emissão de gases de efeito estufa, os quais contribuem para a intensificação do fenômeno do aquecimento global, e de demais poluentes, responsáveis por propiciar a deterioração da qualidade do ar atmosférico e, conseqüentemente, pelo aumento de doenças respiratórias da população.

O transporte público coletivo de Curitiba é, assim como na maioria das cidades brasileiras, fortemente baseado no modal ônibus, o qual possui tradicionalmente propulsão com motores a diesel, responsáveis pelo lançamento do dióxido de carbono na atmosfera, com seus conseqüentes impactos ambientais. De acordo com Burattini (2008, p. 38), “Mesmo que se descubram novos depósitos subterrâneos de petróleo, o ritmo de consumo dos combustíveis fósseis precisa diminuir. Sua queima produz grande

quantidade de gases, o que polui o ar e favorece a elevação da temperatura global”.

Nesse contexto, torna-se imperativa a substituição da queima de combustível fóssil, no caso o óleo diesel, por novas tecnologias na propulsão, com destaque aos biocombustíveis, os quais são uma alternativa que não demanda elevado grau de adaptação tecnológica nos veículos. Há, obviamente, emissão de gases de efeito estufa pela queima do biocombustível, mas nesse caso, deve ser considerado o conceito de “carbono biogênico”, que, de acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), é o “carbono derivado de fontes biogênicas (vegetais ou animais) excluindo o carbono fóssil” (2006, p. 3, tradução nossa). Em outras palavras, as emissões da queima de biocombustíveis vegetais são biogênicas, logo, neutralizadas pelo cultivo da planta adotada como matéria-prima. Assim, verifica-se que a utilização de biocombustíveis

¹ Gestor da área de Tecnologia do Transporte, Urbanização de Curitiba S.A. (Urbs). Graduado em Administração de Empresas pela Fundação de Estudos Sociais do Paraná. Especialista em Planejamento, Gestão de Transportes e Meio Ambiente pela Faculdade INPG Business School de São José dos Campos. E-mail: ekaras@urbs.curitiba.pr.gov.br. Telefone: (41) 3320-3246.

² Coordenador da unidade de Engenharia Automotiva, Urbanização de Curitiba S.A. (Urbs). Graduado em Administração de Empresas pela Fundação de Estudos Sociais do Paraná. Especialista em Gestão e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná, Especialista em Planejamento, Gestão de Transportes e Meio Ambiente, pela Faculdade INPG Business School de São José dos Campos. E-mail: celucio@urbs.curitiba.pr.gov.br. Telefone: (41) 3320-3217/98403-0030.

³ Engenheiro Mecânico na unidade de Engenharia Automotiva, Urbanização de Curitiba S.A. (Urbs). Graduado pela Universidade Estadual de Maringá. MBA em Gestão Industrial pelo Senai/SC. E-mail: awolf@urbs.curitiba.pr.gov.br. Telefone: (41)3320-3161. Endereço: Urbanização de Curitiba S.A. Avenida Affonso Camargo, 330. Jardim Botânico. Curitiba – PR. CEP 80060-090.

no transporte público apresenta resultados positivos, proporcionando a redução das emissões atmosféricas e minimizando a geração de gases de efeito estufa. Diante dessa constatação, relata-se a experiência da cidade de Curitiba na utilização de combustíveis renováveis, tendo como foco a demonstração dos benefícios ambientais em termos de redução das emissões de gases do efeito estufa pela substituição do óleo diesel por éster alquílico de soja, implementada em veículos do transporte público pelo Projeto B100.

2. DESENVOLVIMENTO

A Urbanização de Curitiba S.A. (Urbs), responsável pela gestão do transporte coletivo de Curitiba desde a década de 1990, desenvolve testes e projetos visando à substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis (biocombustíveis). Como exemplos desses estudos podem ser citadas algumas experiências anteriores realizadas no transporte público curitibano, como a utilização de álcool hidratado, álcool anidro (MAD8), biodiesel B5 e biodiesel B20, os quais serviram como referência para implantação, em 2009, do Projeto B100, resultado de uma parceria formada entre Urbs, Auto Viação Redentor e Viação Cidade Sorriso (empresas operadoras do transporte); BSBios (fabricante de biodiesel); RDP Petróleo (distribuidora de combustível); Volvo e Scania (montadoras de chassi); além da Tecpar e de outros órgãos. A parceria entre tantos agentes de setores correlatos, porém independentes, foi fundamental para o sucesso do projeto, haja vista que viabilizou a substituição do óleo diesel por biodiesel B100 derivado da soja de alta qualidade, sem perda da garantia dos fabricantes dos motores.

Lançado inicialmente em seis ônibus articulados e expandido para outros 26 veículos

biarticulados e dois híbridos, totalizando 34 veículos, o projeto foi inaugurado na Linha Verde e posteriormente ampliado para o eixo Boqueirão, em uma clara demonstração de empenho do poder público municipal em mitigar as mudanças climáticas e reduzir as emissões de gases de efeito estufa e poluentes pelo sistema de transporte público.

Entre 2011 e 2016, com a efetiva operação desses veículos em linhas regulares do transporte público de Curitiba, a Urbs realizou uma avaliação visando identificar os benefícios ambientais causados pela implantação do projeto B100 em termos de redução de gases de efeito estufa. O estudo teve como base critérios técnicos compatíveis com o Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC), ou Protocolo de Gases de Efeito Estufa para Cidades, e com o IPCC.

Após a definição da metodologia para mensurar a redução de emissões de gases de efeito estufa, devidamente baseada e compatível com o GPC, foram calculados os fatores de emissão específicos dos combustíveis adotados no projeto e, na sequência, a redução de gases de efeito estufa proporcionada pelo projeto no período avaliado.

A fim de quantificar o benefício ambiental em termos de gases de efeito estufa decorrente da substituição do óleo diesel pelo biodiesel B100, fez-se necessário o levantamento dos dados operacionais para embasar essa quantificação.

Para o cálculo das emissões, podem ser adotados dois critérios: volume de combustível consumido ou distância percorrida em operação. Tendo em vista a excessiva variação do fator de emissão por distância em função do tipo, fabricante ou idade do veículo, ou ainda conforme perfil da linha e estilo de condução do motorista, optou-se pela metodologia por consumo de combustível para a realização dos cálculos.

Desse modo, as empresas operadoras das linhas foram orientadas a enviar mensalmente o consumo real de biodiesel B100 dos veículos do projeto, assim como o consumo dos veículos-sombra, os quais operam na mesma linha e com programação operacional semelhante à dos veículos do projeto, entretanto, abastecidos com óleo diesel, sendo um veículo-sombra para cada tipo de veículo do projeto (padron híbrido, articulado e biarticulado).

As linhas executadas pelos veículos estão dispostas na Tabela 1.

Veículo	Nº da Linha	Linha
Padron Híbrido	180	Água Verde/ Abranches
Articulado	502	Circular Sul (horário)
Articulado	602	Circular Sul (anti-horário)
Biarticulado	500	Ligeirão Boqueirão
Biarticulado	550	Ligeirão Pinheirinho/C. Gomes

Tabela 1: Linhas executadas no Projeto B100

Os valores dos volumes de combustível consumidos foram multiplicados por um fator de emissão, para o cálculo da emissão total. De acordo com o GPC (GREENHOUSE GAS PROTOCOL, 2014, p. 73), essa metodologia é chamada de *top-down*, em que “as emissões são o resultado do total de combustível multiplicado por um fator de emissão para cada combustível”.

Para obter o valor da redução de emissões, fez-se necessário calcular a diferença entre dois cenários: o primeiro se refere às emissões efetivamente realizadas pela implantação do projeto aplicando o biodiesel B100; já o segundo,

às emissões que seriam realizadas na ausência do projeto pelo uso do óleo diesel mineral.

Para uma análise coerente, não somente as emissões derivadas da queima de combustíveis, mas também as da produção destes foram levadas em consideração. De acordo com o Joint Research Centre da European Commission (2014a, tradução nossa), órgão que define diretrizes para o cálculo de fatores de emissão veiculares na Europa, suas análises “focam na produção de combustível (*well-to-tank* – WTT) e uso do veículo (*tank-to-wheel* – TTW), que são as principais contribuições para o consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa”.

De acordo com Brinkman et al. (2005), “no estudo *well-to-wheel* (WTW), nós analisamos a energia e emissões associadas com a produção do combustível (*well-to-tank*) e uso de energia e emissões associadas com a operação do veículo (*tank-to-wheel*)”. Desse modo, as emissões totais (*well-to-wheel*) são obtidas a partir da soma das emissões da produção do combustível (*well-to-tank*) e do uso deste no veículo (*tank-to-wheel*).

No caso do *well-to-tank* do biodiesel B100, foram somados os fatores de cultivo e processamento obtidos a partir do inventário de emissões da BSBios, com o fator de emissão de transporte e distribuição preconizado pela Diretiva Europeia 28/EC (DIRECTIVE..., 2009). Quanto ao diesel mineral, calculou-se o *well-to-tank* com base nos valores preconizados pelo Joint Research Centre da European Commission (2014b). Nesses casos, os fatores de emissão foram obtidos diretamente em termos de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq).

Quanto aos fatores *tank-to-wheel*, chegou-se aos dados de emissão de CO₂ por meio de informações do Ministério do Meio Ambiente

(BRASIL, 2014). Em relação aos gases CH₄ e N₂O foi usado como referência o Programa Brasileiro GHG Protocol (2017). Entretanto, como nesse caso não se obteve diretamente o fator de emissão em termos de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), fez-se o cálculo desse fator considerando o Potencial de Aquecimento Global (GWP) de cada gás (dióxido de carbono, metano e óxido nítrico), conforme valores definidos pelo IPCC (2007).

Obtidos os fatores *well-to-tank* e *tank-to-wheel*, estes foram somados e resultaram no fator de emissão global *well-to-wheel*. Com base nele, calcularam-se as emissões pelo produto dos quantitativos de combustível em cada cenário, considerando os respectivos fatores de emissão. Ressalta-se que, no caso do óleo diesel, o fator de emissão calculado anteriormente é para a substância pura, porém, como no Programa Nacional do Biodiesel houve e há o constante incremento da quantidade de biodiesel misturado ao diesel, ainda foram calculados, para cada ano, o fator de emissão equivalente à mistura daquele período.

Finalizando a metodologia, realizou-se um comparativo dos valores dos dois cenários, a fim de avaliar o benefício ambiental proporcionado.

3. RESULTADOS

Pela metodologia descrita, foram calculados os fatores de emissão para o biodiesel B100, adotado no projeto B100, e o óleo diesel do cenário hipotético, conforme disposto na Tabela 2.

Combustível	Fator de Emissão		
	GLOBAL <i>well-to-wheel</i> (kg CO ₂ eq/L)	GLOBAL <i>well-to-wheel</i> (kg CO ₂ eq/L)	GLOBAL <i>well-to-wheel</i> (kg CO ₂ eq/L)
Biodiesel B100	1,014	0,014	1,028
Óleo diesel puro	0,544	2,648	3,007

Tabela 2: Fatores de emissão do projeto

As emissões e reduções foram calculadas a partir dos fatores apresentados na Tabela 2, os quais se basearam na premissa de adotar elementos tão específicos quanto possível, pois assim se aumenta a confiabilidade dos dados aferidos. Desse modo, os fatores de emissão adotados apresentam elevado grau de precisão, haja vista que:

Os fatores de emissão do cultivo e processamento do biodiesel B100 são baseados no inventário de emissões do fornecedor (BSBios), enquanto os fatores de emissão de transporte e distribuição não puderam ser quantificados para a condição específica do projeto. Entretanto, foram empregados de acordo com a Diretiva Europeia 2009/28/EC, pois qualquer variação desse valor em relação ao real nível de emissões do projeto é desprezível, haja vista que as maiores emissões se concentram na produção e não na distribuição do combustível. Logo, o fator *well-to-tank* está modelado com elevada acurácia em relação ao biodiesel B100;

O fator de emissão *well-to-tank* do óleo diesel foi adotado de acordo com o estudo JEC *well-to-tank* (EUROPEAN COMMISSION, 2014b), uma vez que existe dificuldade de aferir emissões da cadeia de produção e distribuição do óleo diesel nacional e que não há autossuficiência nesse combustível, sendo uma parte dele importada para consumo. Portanto, entende-se que o uso desse parâmetro internacional é coerente e que assim, o fator *well-to-tank* está modelado com elevada acurácia em relação ao óleo diesel;

Os fatores de emissão *tank-to-wheel* do biodiesel B100 e do óleo diesel estão de acordo com dados do Ministério do Meio Ambiente e do Programa Brasileiro GHG Protocol, os quais são valores de referência e confiabilidade.

A partir desses fatores, dois cenários de emissão e redução foram calculados, conforme Tabela 3.

Ano	Cenário	Emissão (ton CO _{2eq})	Redução (ton CO _{2eq})	Redução Percentual
2011	Cenário 1 (biodiesel B100)	1.060,3	1.787,0	62,8%
	Cenário 2 (óleo diesel)	2.847,3		
2012	Cenário 1 (biodiesel B100)	1.751,5	3.031,1	63,4%
	Cenário 2 (óleo diesel)	4.782,6		
2013	Cenário 1 (biodiesel B100)	1.792,0	3.215,1	64,2%
	Cenário 2 (óleo diesel)	5.007,1		
2014	Cenário 1 (biodiesel B100)	1.877,6	3.306,4	63,8%
	Cenário 2 (óleo diesel)	5.184,0		
2015	Cenário 1 (biodiesel B100)	1.770,3	3.041,6	63,2%
	Cenário 2 (óleo diesel)	4.811,9		
2016	Cenário 1 (biodiesel B100)	1.620,3	2.952,5	64,6%
	Cenário 2 (óleo diesel)	4.572,8		

Tabela 3: Fatores de emissão do projeto

Com base nas reduções apresentadas na Tabela 3, o total, no período analisado, foi de 17.333,7 ton CO_{2eq}, ou 63,7%, um excelente percentual para um projeto de redução de emissões de gases de efeito estufa, ressaltando que o resultado ora aferido está de acordo com as elevadas metas de redução de CO₂ referenciadas na União Europeia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a adoção de biodiesel B100 na frota do transporte público coletivo de Curitiba é uma experiência bem-sucedida, pois permitiu elevada redução das emissões de gases de efeito estufa, além de gerar benefícios à qualidade do ar não mensurados neste estudo, assim como serviu de plataforma para

estabelecer mecanismos de cálculos de redução de emissões padronizados, conforme o GPC, e definir fatores de emissão acurados, segundo a real condição operacional do projeto.

Quanto ao aspecto financeiro, que não foi focado neste estudo, mas merece ser mencionado, não há incremento no custo de aquisição do veículo, havendo impacto somente sobre o custo e rendimento do biodiesel em relação ao óleo diesel mineral, assim como uma elevação na frequência de troca de óleo lubrificante e filtro, cujo período de troca, para o caso do biodiesel, é 25% menor. Ainda assim, julga-se que o aumento de custo é inerente à adoção de novas tecnologias com melhor desempenho ambiental, e o incremento gerado por esse projeto, por não impactar os valores de aquisição do veículo e devido ao alto percentual de redução de emissões, apresenta atualmente custo/benefício superior a outras tecnologias disponíveis, como veículos híbridos e elétricos.

Portanto, a adoção de biodiesel B100 na frota de transporte público é uma ação bastante favorável à mitigação das mudanças climáticas, pois apresenta percentuais de redução de emissões bastante competitivos e até mesmo superiores a algumas tecnologias disponíveis no mercado, além de não causar maior ônus no custo de aquisição do veículo. Por fim, é dever registrar que, nessa perspectiva e considerando a demanda atual de consumo de 270 mil litros pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), entende-se que o projeto apresenta amplo potencial de expansão caucionando e oportunizando a importante contribuição de Curitiba para a melhoria da qualidade do ar e para a mitigação dos efeitos das emissões sobre o aquecimento do planeta.



Figura 1: Veículos do Projeto B100
Fonte: Urbs, 2012

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013 (ano-base 2012). Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/oPb2pF>>. Acesso em: 21 set. 2017.

BRINKMAN, Norman et al. Well-to-Wheels analysis of advanced fuel/vehicle systems: a north american study of energy use, greenhouse gas emissions, and criteria pollutant emissions. Lemont, IL: Argonne, 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/HVcXCS>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

BURATTINI, Maria Paulo T. de Castro. Energia: uma abordagem multidisciplinar. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

DIRECTIVE 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal of The European Union, 23 abr. 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/PjVTrD>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Centre. JEC well-to-wheels analyses (WTW). Ispra, IT: Institute of Energy and Transport, 2014a. Disponível em: <<https://goo.gl/KFroyQ>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

_____. JEC well-to-tank report version 4a. Ispra, IT, 2014b. Disponível em: <<https://goo.gl/VYx8mr>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL. Global Protocol for community-scale greenhouse gas emission inventories: an accounting and reporting standard for cities. Washington, DC: World Resources Institute, 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/bDM9Qf>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Glossary. In: _____. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Hayama, JP: Global Environmental Strategies, 2006. p. 1-12. Disponível em: <<https://goo.gl/Eumdz3>>. Acesso em: 31 jul 2017.

_____. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Geneva, 2007. Disponível em: <<https://goo.gl/NpNsBf>>. Acesso em 31 jul. 2017.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. Ferramenta de cálculo. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/EjzoEm>>. Acesso em: 31 jul. 2017.