

Proposta de uso da análise exérgica como ferramenta para o uso racional da exergia

Palavras-Chave: Termodinâmica, Exergia, Mudanças Climáticas

Autores/as:

Marina Torelli Reis Martins Pereira, UNICAMP
Prof. Dr. Carlos Eduardo Keutenedjian Mady, UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Neste projeto, ocorre a continuidade de um projeto anterior de iniciação científica, que propõe a avaliação da eficiência exérgica de uma residência como indicador para a tomada de decisão em relação a tecnologias e hábitos de consumo, para o contexto brasileiro. É traçado um volume de controle e são analisadas entradas e saídas comuns ao cotidiano de um indivíduo brasileiro médio, do ponto de vista da exergia e da emissão de CO₂.

No projeto anterior, foi avaliado o consumo de energia elétrica e de alimentos. Já neste, foi dado enfoque ao consumo de combustíveis e produção de resíduos sólidos e líquidos. Assim, é possível identificar relações entre o meio e o indivíduo por meio da termodinâmica, compreendendo os impactos (consumo e destruição de exergia e emissões de CO₂) decorrentes de hábitos do dia-a-dia, que, por sua vez, são influenciados por um contexto econômico, mercadológico, social, etc.

Como já mencionado, neste projeto o propósito foi de estender e continuar as análises já iniciadas em um anterior, fornecendo uma interpretação mais completa a respeito dos hábitos cotidianos de consumo.

De modo a se quantificar a pegada de carbono, foi utilizada análise de ciclo de vida, consolidando resultados provenientes de estudos já validados, que representam impactos resultantes de determinadas condições de produção, “do berço ao túmulo”, sendo “carregados” ao produto final.

Já em relação à exergia, toma-se a definição de “energia útil”, ou seja, o máximo trabalho teórico útil que pode ser obtido em relação a um estado morto (ambiente de referência). A exergia é uma propriedade que pode ser atribuída a um corpo ou fluxo, composta por suas parcelas física (diferença de temperatura e pressão em relação a um estado ambiente) e química (diferença em composição). Ao contrário da energia, a exergia não é uma propriedade que se conserva, sendo degradada por irreversibilidades (Szargut, 1988).

METODOLOGIA:

Abaixo, está representado o volume de controle completo em torno da residência,

abarcando entradas e saídas deste e do projeto anterior.

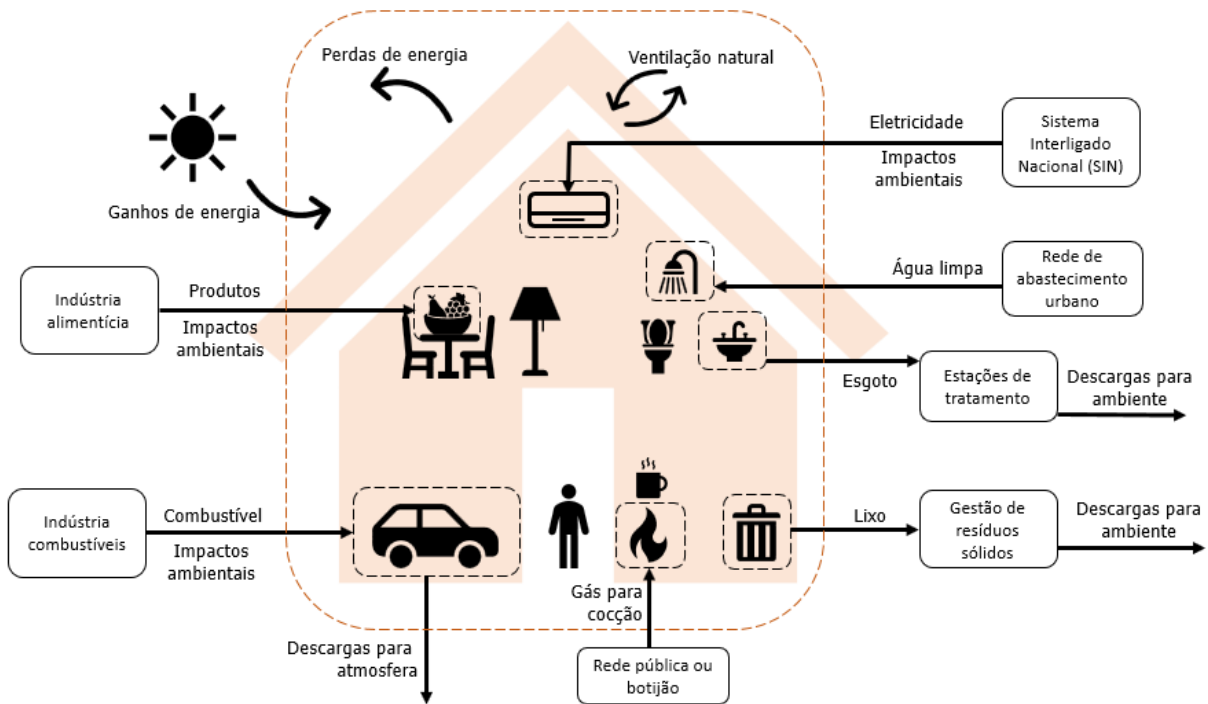


FIGURA 1: Ilustração do indivíduo e os fluxos de consumo ou produção diários listados anteriormente e relação destes com seus respectivos fornecedores ou receptores.

É válido mencionar que as perdas e ganhos térmicos e por ventilação natural não foram considerados. Por fim, pode-se dizer que o objetivo deste volume de controle é de conectar o indivíduo a um cenário maior, delimitado por questões sociais, econômicas e mercadológicas, por meio de sua existência em sociedade e consequente demanda por serviços e/ou produtos.

De modo geral, os objetivos do estudo, estão ilustrados nas figuras a seguir, onde pode-se ver a ligação da indústria com os fluxos em questão, bem como a exergia química presente neles.

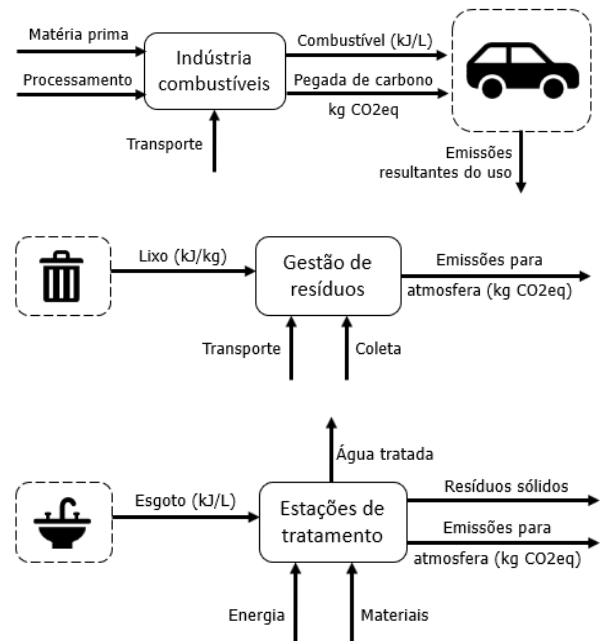


FIGURA 2. a, b e c) Representação generalista dos sistemas estudados para combustíveis e tratamento de resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

1. Combustíveis

Buscou-se avaliar os impactos do uso de combustíveis principalmente no âmbito do transporte individual. Aqui, levou-se em consideração a exergia química consumida (que foi aproximada para o PCI dos combustíveis) e as emissões de poluentes sob uma perspectiva poço-à-roda (Flórez-Orrego et al, 2017). É válida a consideração de que os meios de transporte público são utilizados em bem maior intensidade do que os individuais. Além disso, tomou-se as estatísticas de transporte fornecidas por Menezes et al (2015) a respeito da cidade de São Paulo.

Tabela 1: Resultados obtidos para o transporte

Modo	Emissões diárias (kg CO ₂)	Consumo de exergia diário (MJ)	Consumo diário (L)
Moto	1,02	15,03	0,52
Veículos	4,22	94,66	3,77
Ônibus	325	3336,93	93,73

Ao se estender a análise do transporte individual para os combustíveis, foram obtidos os seguintes valores:

Tabela 2: Avaliação de combustíveis diferentes.

Combustível	Emissões diárias (kg CO ₂)	Média (kg CO ₂)
Gasolina	7,53	4,51
Etanol	1,49	

É possível notar que o etanol tem emissões de gases de efeito estufa muito menores do que a gasolina, por se tratar de

um biocombustível, se apresentando como uma boa alternativa para hábitos sustentáveis. Além disso, a média ficou em um valor próximo ao encontrado por Menezes et al (2015).

2. Resíduos sólidos e líquidos

Para a produção de resíduos, também se utilizou a exergia química presente nos fluxos e valores de gases de efeito estufa provenientes dos processos de tratamento.

Para os resíduos líquidos, os resultados médios consolidados estão exibidos na Tabela 5, e foram calculados com base no consumo de água por pessoa (Marinoski et al, 2014; Barreto), na quantificação da exergia química presente no esgoto (Bejarano, 2009), e na quantificação da pegada de CO₂ calculada por metro cúbico de esgoto tratado (Lopes et al, 2020).

Tabela 3: Resultados para resíduos líquidos

Exergia fluido (kJ)	Emissões (kg CO ₂)
441,145	1,275

Para os resíduos sólidos, a abordagem utilizada foi a mesma dos resíduos líquidos, ou seja, considerou-se a quantia de lixo gerada cotidianamente (Alfaia et al, 2017), bem como o valor da exergia química presente nestes resíduos (Jadhao et al, 2017), e as emissões de CO₂ provenientes do descarte e decomposição em aterros (Coelho et al, 2016).

Tabela 4: Resultados para resíduos sólidos

Emissões (kgCO2)	Exergia (kJ)
0,37	9696,12

Ademais, é interessante analisar os resultados consolidados, comparando com os valores obtidos no projeto anterior. Nas figuras 2 e 3, estão presentes os comparativos do ponto de vista da exergia e dos poluentes.

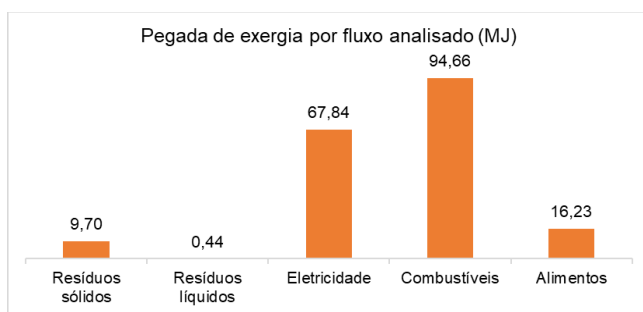


FIGURA 3: Comparativo dos cenários médios de exergia obtidos para os fluxos estudados neste projeto e no anterior.

É possível observar que os combustíveis apresentam a maior demanda de exergia diária e por pessoa, seguidos da eletricidade e dos alimentos. É válido lembrar que tais resultados são moldados para a cidade de São Paulo, em que há grande intensidade no uso do transporte. Sendo assim, em cidades menores, é esperado que o valor diminua.

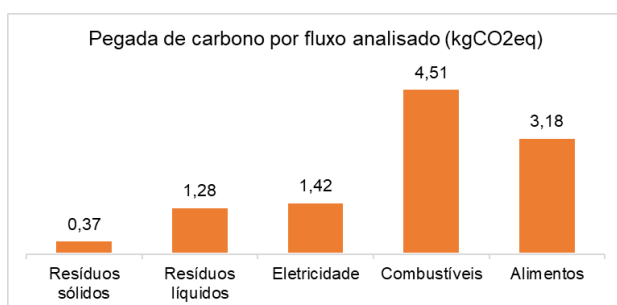


FIGURA 4: Comparativo dos cenários médios de CO2 obtidos para os fluxos estudados neste projeto e no anterior.

Observa-se novamente que os combustíveis apresentam os maiores valores, seguidos dos alimentos e eletricidade. O valor alto para os combustíveis se deve à presença da gasolina na média, e, dos alimentos, se

deve à presença de itens com intensa mudança no uso do solo, como carne bovina.

Os valores da eletricidade são comparáveis aos dos resíduos líquidos, devido à presença da hidroeletricidade na geração de energia no Brasil.

CONCLUSÕES:

Neste relatório, foi possível estudar demandas cotidianas de cidadãos brasileiros padrão, completando e estendendo um projeto já iniciado anteriormente, sob a ótica da exergia e da sustentabilidade.

Foi possível concluir, pelos resultados apresentados e mostrados nos gráficos das figuras 2 e 3, que os combustíveis se apresentam como uma oportunidade de grande importância para otimização de ambos os aspectos ambientais e exergéticos.

Ademais, os impactos provenientes dos resíduos sólidos e líquidos diários não são negligíveis, pelo contrário, se faz necessário a adoção de políticas para melhor aproveitamento de suas exergias, que são puramente desperdiçadas em um cenário de simples descarte.

Sendo assim, é possível concluir que é interessante que haja a conscientização do público em relação a seus hábitos de consumo, e a correta formulação de políticas nos setores abordados, a fim de se promover desenvolvimento e otimização, de maneira generalizada e concisa.

BIBLIOGRAFIA

SZARGUT, J. et al - *Hemisphere*, 1988.

- MORAN, M.J., SHAPIRO, H.N. - **Princípios de Termodinâmica para engenharia**. - 4a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- MOSQUIM, R.F et al - **Journal of Cleaner Production**, 2018.
- SANQUETTA, C.R et al - **BIOFIX Scientific Journal**, 2017.
- LOPES, T.A.S, QUEIROZ, L.M., TORRES, E.A., KIPERSTOK, A. - **Science of the Total Environment** 720 (2020) 137593
- MORA, C. H., DE OLIVEIRA, S. - **Engenharia Térmica (Thermal Engineering)**, Vol. 5, No 02, December 2006, p. 24-29
- ALFAIA, R. G. de S. M. et al - **Waste Management & Research** 35(12), 2017
- VARGAS., J.E.V. et al - **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 2019
- RIBEIRO, S.K. et al - **Transactions on the Built Environment** vol 64, 2003
- WALLÉN, A. et al - **Environmental Science & Policy** 7 (2004) 525–535
- PHILIPPI, S. T. - **Brazilian Food Pyramid - Nutrition Today**, Volume 40, Number 2
- VENTI, C.A. et al - **American Society for Nutritional Sciences. J. Nutr.** 132: 1050–1054, 2002.
- NUNES, F.A. et al - **Journal of Cleaner Production** 139 (2016) 799e809.
- CARMO, H.F. et al - **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.51, n.9, p.1069-1077, set. 2016
- PRUDÊNCIO DA SILVA, V. et al - **Journal of Environmental Management** 133 (2014) 222e231.
- NOTARNICOLA, B. et al - **Journal of Cleaner Production** (2016)
- RUINI, L. et al - **LCA OF SEMOLINA DRY PASTA PRODUCED BY BARILLA**
- FUSI, A. et al - **Int J Life Cycle Assess** (2016) 21:162–175
- FISHER, S., KARUNANITHI, A. - **Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector**
- LOPES, J. et al - **Journal of Cleaner Production** 170 (2018)
- CASTANHEIRA, E.G, FREIRE, F. - **Journal of Cleaner Production** 54 (2013)
- PRUDÊNCIO DA SILVA, A.C. et al - **Journal of Environmental Management** 91 (2010)
- COLTRO, L et al - **Journal of Cleaner Production** (2018)
- ASEM-HIABLIE, S. et al - **The International Journal of Life Cycle Assessment** (2019) 24:441–455
- TSAROUHAS, P. et al - **Journal of Cleaner Production** xxx (2015)
- RAJAEIFAR, M.A. et al - **Energy** 66 (2014)
- LÉIS, C.M. et al - **Int J Life Cycle Assess** (2015)
- SEABRA, J.A. et al - **Biofuels, Bioprod. Bioref.** 5:519–532 (2011)
- FLÓREZ-ORREGO, D. et al - **Energy Conversion and Management** 100 (2015) 220–231
- MENEZES, E. et al. - **Technological Forecasting & Social Change** 114 (2017) 226–241
- BEJARANO, C.H.M. - Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- MARINOSKI, A. K. et al - **Water** 2014, 6, 1985-1999; doi:10.3390/w6071985
- BARRETO, D. - **Residential water profile and internal end uses** - Building Services Laboratory - Institute for Technological Researches (IPT)
- JADHAO, S.B. et al - **Clean Techn Environ Policy** (2017) 19:1403–1412
- COELHO, L.M.G et al - **Resources, Conservation and Recycling** (2016)
- MADY, C.E.K. et al - **Entropy** 2020, 22, 616
- MOSQUIM, R.F et al – **Journal of Cleaner Production**, v. 290, p. 125788, 2021.