



Avaliação do desempenho ambiental de fertilizantes químicos no contexto brasileiro: estudo de caso para a produção de Fertilizantes Fosfatados

Alex R. Nogueira¹, Marília I. S. Folegatti Matsuura², Luiz Kulay¹

¹Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, arnogueira@usp.br

²Embrapa Meio Ambiente

Resumo. O resumo deve ser elaborado em Times New Roman, tamanho 8, em itálico e conter no máximo 2.500 caracteres.

O Brasil se destaca pelo seu potencial agrícola. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o país terá um papel fundamental nos próximos 10 anos para o atendimento a demanda global por produtos agropecuários. Tal destaque está relacionado à alta produtividade da agricultura brasileira, proporcionada, entre outros fatores, pela aplicação de fertilizantes químicos. Por outro lado, o consumo elevado de fertilizantes é diretamente associado a impactos ambientais. Assim, o diagnóstico do desempenho ambiental da produção de fertilizantes será mais representativo à medida em que os inventários forem mais condizentes com o contexto do país. Este trabalho buscou dar uma contribuição ao identificar pontos potenciais de melhoria do desempenho ambiental de fertilizantes, a fim de obter resultados mais representativos em relação ao Brasil. Foram usados como exemplos o Superfosfato simples (SSP) e o Superfosfato triplo (TSP), amplamente consumidos no país, em especial para o cultivo de cana-de-açúcar. O atendimento da demanda interna de SSP e TSP em 2013 deveu-se a produções em torno de, respectivamente, 4,9 e 0,9 Mt, somadas às importações 0,9 e de 1,9 Mt. A escolha destes dois fertilizantes também se baseou no seu potencial de geração de impacto ambiental em função das atividades de mineração e dos processos químicos envolvidos em suas produções. O estudo teve como base a Lógica do Ciclo de Vida, e seguiu a abordagem atribucional do berço ao portão, considerando-se dados predominantemente secundários voltados ao contexto da região Centro-Sul do Brasil, no ano de 2013. As cargas ambientais decorrentes desses processamentos foram estimadas em termos de Mudanças climáticas, Acidificação terrestre, Eutrofização de água doce, Toxicidade humana, Formação fotoquímica de oxidantes e Depleção de Água e Depleção de Recursos Fósseis. Os resultados obtidos indicam que a importação do TSP, em si, e também do enxofre usado como insumo do processamento dos fertilizantes são importantes precursores de cargas ambientais. Além disso, a queima de combustíveis para o aproveitamento de energia térmica também contribui para diferenciar os fertilizantes estudados em relação aos seus sucedâneos disponíveis no banco de dados do Ecoinvent. Assim, conclui-se que a adaptação dos inventários contribuiu efetivamente para aumentar a representatividade do desempenho ambiental dos fertilizantes estudados.

Palavras-chave. Fertilizantes; SSP; TSP; Adaptação de inventários.

Introdução

A agricultura é uma atividade de suma importância para o Brasil. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o país terá um papel importante nos próximos anos para atender a demanda global por produtos agropecuários. Tamanho destaque faz com que se aumente o interesse também pelo desempenho ambiental da agricultura brasileira.

Na perspectiva nacional, a agropecuária é pujante. Segundo o IBGE, a área total colhida em 2014 foi de 72,2 milhões de hectares. Estimativas do Ministério da Agricultura indicam que a agropecuária respondeu por 5,6% do PIB em 2014, sendo que o agronegócio contribuiu para 21,3% deste total no mesmo período.

A elevada produtividade da agricultura brasileira se deve, entre outros fatores, à aplicação de fertilizantes químicos. Porém, o consumo destes fertilizantes também implica impactos ambientais que, seguindo-se a Lógica do Ciclo de Vida de produtos, se estendem desde as atividades de extração de recursos naturais até os processos industriais de transformação.

Segundo Fricknecht (2006), a elaboração de modelos de Sistemas de Produtos em estudos de ACV depende de dados de apoio (background) confiáveis, abrangentes e representativos para complementar as informações específicas obtidas para os produtos de interesse. Assim, no caso das atividades agrícolas, o diagnóstico do desempenho ambiental desta atividade será mais representativo à medida em que os inventários forem mais condizentes com o contexto do país.

Em situações de pouca disponibilidade de dados – como é o caso brasileiro, em que o banco de dados de apoio à execução de estudos de ACV ainda está em desenvolvimento – a adaptação de inventários já existentes e disponíveis publicamente pode ser considerada uma boa estratégia (SILVA et al., 2015).

Neste contexto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de identificar pontos potenciais de melhoria de inventários de fertilizantes químicos, a fim de deixá-los mais representativos em relação ao contexto brasileiro.

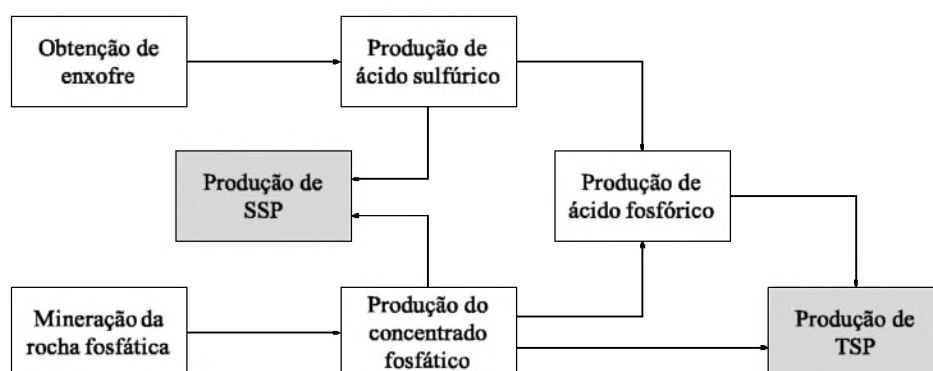
Optou-se pela abordagem de pesquisa na forma de estudo de caso, a qual permite um bom entendimento do objeto de estudo, considerando-se condições de contorno que delimitam o escopo de aplicação da análise. Foram usados como exemplos o Superfosfato simples (SSP) e o Superfosfato triplo (TSP), amplamente consumidos no país, em especial para o cultivo de cana-de-açúcar.

Definição de Objetivo e Escopo

Os fertilizantes considerados neste estudo foram o Superfosfato Simples (SSP) e o Superfosfato Triplo (TSP). Tratam-se de dois dos principais fertilizantes químicos fornecedores do fósforo consumido na agricultura brasileira, e os mais relevantes para o cultivo de cana-de-açúcar.

Na Figura 1, é apresentado um diagrama simplificado com os principais processos industriais necessários para a produção de SSP e de TSP segundo as rotas convencionais de produção. De uma maneira geral, nota-se que muitos processos são comuns a ambos os produtos, o que implica semelhanças em termos de impactos ambientais potenciais.

Figura 1: Principais processos industriais associados à produção de SSP e de TSP (adaptado de Kulay (2004)).



De acordo com a Figura 1, a produção de ambos os produtos se inicia com a mineração da rocha fosfática, que deve ser beneficiada para a produção do concentrado fosfático. Paralelamente, há a obtenção do enxofre, que serve de matéria-prima para a produção de ácido sulfúrico. O ataque direto do concentrado fosfático por ácido sulfúrico leva à produção de SSP (fertilizante de interesse) ou de ácido fosfórico, dependendo das condições do processo. Quando o objetivo é a produção de TSP, este é então produzido a partir do ataque de uma nova quantidade de concentrado fosfático pelo ácido fosfórico formado anteriormente. Mais detalhes a respeito das rotas de produção podem ser obtidos no trabalho de Kulay (2004).

Este estudo baseou-se na Lógica do Ciclo de Vida de produtos, segundo a abordagem atribucional, com escopo do berço ao portão. A cobertura temporal definida para o estudo diz respeito ao ano de 2013. Já a cobertura geográfica compreende os estados da região Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Centro-Sul) do Brasil, e também os países produtores de fertilizantes no exterior.

Uma vez definidos os fertilizantes a serem estudados, foi feito um levantamento com o objetivo de investigar a relação entre a fração produzida nacionalmente, e a fração importada pelo Brasil. Para tanto, recorreu-se aos dados da Associação Nacional para a Difusão de Adubos (ANDA, 2014).

No caso em que a fração impostada mostrou-se relevante (ou seja, com percentual acima de 15%), também foi feito um levantamento dos países fornecedores do fertilizante e dos portos por meio dos quais o mesmo é inserido no mercado nacional. Neste caso, as informações foram obtidas a partir do sistema AliceWeb (2014), fornecido pelo Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).

Uma vez descobertos, portanto, os países onde houve a produção dos fertilizantes, passou-se à procura por informações que pudessem aumentar a representatividade dos respectivos inventários em relação às coberturas geográfica e temporal definidas para o estudo. Tais informações compreenderam detalhes sobre o local de produção, matriz energética do país produtor, logística de distribuição até o Brasil, e eventuais especificidades processuais que diferenciassse a produção de um determinado fertilizante.

No que diz respeito aos processos que ocorrem no exterior, foram usados como base os inventários disponíveis na base de dados ecoinvent, versão 2.2 (NEMECEK e KÄGI, 2007). Esta base de dados foi escolhida em função do seu amplo uso internacionalmente, bem como a consistência reconhecida pela comunidade e também a transparência e disponibilidade de metainformações que pudessem ser usadas como referência para futuras adaptações.

Já no caso dos processamentos ocorridos no Brasil, as principais fontes de dados foram os trabalhos desenvolvidos por Kulay (2004) e por Martinho (2014).

Feitas as adaptações consideradas relevantes para cada fertilizante, foi calculado o perfil ambiental de cada fertilizante, por meio do método ReCiPe, Midpoint (H) 1.12, disponível no software SimaPro versão 8.1.1.16. No presente estudo, considerou-se apenas as seguintes categorias de impacto: Mudanças climáticas; Acidificação terrestre; Eutrofização aquática; Toxicidade humana; Formação fotoquímica de oxidantes; Depleção de água; e Depleção de recursos fósseis.

Análise de Inventário

Na Tabela 1 são apresentadas as comparações entre a produção nacional e a produção internacional dos principais fertilizantes químicos consumidos na agricultura brasileira em 2013, segundo o levantamento feito pela ANDA (2014). Os dados da Tabela 1 mostram que o atendimento da demanda interna de SSP e TSP em 2013 deveu-se a produções em torno de, respectivamente, 4,9 e 0,9 Mt, somadas às importações 0,9 e de 1,9 Mt.

Tabela 1: Produção nacional e importação dos principais fertilizantes químicos consumidos para o cultivo de cana-de-açúcar em 2013.

Produto	Produção Nacional (t)	Importação (t)	Total (t)	Prod. Nacional/ Oferta Total
Cloreto de Potássio	492.152	7.634.505	8.126.657	6,1%

Superfosfato Simples	4.931.309	870.782	5.802.091	85,0%
Superfosfato Triplo	936.367	1.906.945	2.843.312	32,9%
Uréia	994.750	3.575.098	4.569.848	21,8%
Sulfato de Amônio	220.167	1.701.648	1.921.815	11,5%
Nitrato de Amônio	209.834	1.308.806	1.518.640	13,8%

Observando-se a Tabela 1, é possível notar que a produção nacional de SSP é muito superior à importação. Assim, como cerca de 85% deste fertilizante foi produzido internamente, optou-se por desconsiderar as quantidades importadas, dada a representatividade da produção brasileira.

Já no caso do TSP, observou-se que a produção nacional atendeu apenas cerca de 33% da demanda interna brasileira. Desta forma, houve a necessidade de se investigar as frações importadas.

Com base nos dados do sistema AliceWeb (2014), observou-se que o TSP importado pelo Brasil é proveniente dos países apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Principais países fornecedores de TSP para o mercado brasileiro no ano de 2013.

País	Participação (%)
Marrocos	55,4
Israel	21,2
China	11,9
Tunísia	11,5

De acordo com informações fornecidas pela plataforma SEARATES (2014), foi possível descobrir que os principais portos de saída de TSP para o Brasil no ano de 2013 foram: Jorf Lasfar (Marrocos), Terminal Ashdod (Israel), Porto de Shanghai (China) e Terminal Sfax (Tunísia).

Além disso, com base em dados do sistema AliceWeb (2014), estimou-se que a entrada de TSP no Brasil ocorre principalmente, por meio dos portos de Paranaguá (no estado do Paraná) e São Francisco do Sul (no estado de Santa Catarina). A partir destas informações, as distâncias percorridas por meio do modal marítimo foram estimadas através da plataforma SEARATES (2014).

Do ponto de vista de especificidades do processo produtivo, usou-se a premissa de que o ácido fosfórico e, posteriormente, o TSP são produzidos no exterior a partir de um concentrado de rocha fosfática extraída no Marrocos (um dos maiores produtores mundiais deste insumo).

Por fim, também se considerou a necessidade de se adequar o fornecimento de energia elétrica para os processos industriais segundo as respectivas matrizes elétricas dos países produtores. Para tanto, foram usados dados disponibilizados pela *International Energy Agency* (IEA, 2014).

No que diz respeito às produções de SSP e de TSP no Brasil, ao analisar os trabalhos de Kulay (2004) e de Martinho (2014), foi possível observar que o contexto nacional apresenta algumas peculiaridades importantes em relação às práticas internacionais. Uma diferença importante refere-se à qualidade da rocha fosfática usada como

matéria-prima e ao respectivo processo de beneficiamento da mesma. Como a rocha brasileira apresenta baixos teores de fósforo (em relação à média mundial), o processo de beneficiamento deve ser adequado para que a recuperação do minério seja eficiente. Sendo assim, os dados referentes à extração da rocha e produção de concentrado fosfático foram extrapolados a partir do estudo feito por Martinho (2014).

Informações a respeito dos processos químicos para a produção do fertilizante, e também da adaptação do fornecimento de gás natural (segundo o contexto brasileiro) também foram obtidas de Martinho (2014), o qual teve acesso a dados industriais primários representativos para o contexto nacional de produção de SSP e de TSP.

Outra especificidade da indústria brasileira neste caso, porém, diz respeito à importação do enxofre (insumo do processo produtivo). Para o presente estudo, foram utilizados dados disponibilizados no sistema AliceWeb (2014) a respeito dos principais países fornecedores de enxofre para o Brasil em 2013, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Principais países fornecedores de enxofre para as empresas produtoras de SSP e de TSP no ano de 2013.

País	Participação (%)
Estados Unidos	41,3
Rússia	21,7
Cazaquistão	21,1
Arábia Saudita	10,6
Emirados Árabes Unidos	5,3

Salienta-se que para cada país fornecedor de enxofre, também houve a adaptação das respectivas matrizes de fornecimento de energia, bem como da logística de transporte até o porto de Santos (Brasil).

Avaliação de impactos e Interpretação

Por fim, após a implementação das respectivas adaptações dos inventários, calculou-se o perfil ambiental do SSP e do TSP segundo o método ReCiPe Midpoint (H), 1.12. Os resultados são apresentados na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4: Perfil ambiental referente a 1 kg de SSP e 1 kg de TSP, expresso segundo o teor de nutriente (P_2O_5).

Categoria de Impacto	Unidade	SSP	TSP
		(como P_2O_5)	(como P_2O_5)
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	5,338E-01	9,274E-01
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	2,325E-02	2,089E-02
Eutrofização aquática	kg P eq	3,629E-03	8,365E-04

Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq	3,003E-02	1,329E-01
Formação fotoquímica de oxidantes	kg NMVOC	4,823E-03	5,098E-03
Depleção de água	m ³	2,810E-02	8,416E-02
Depleção de recursos fósseis	kg oil eq	1,489E-01	2,668E-01

No que diz respeito à categoria de impacto de Mudanças climáticas, as principais atividades precursoras são aquelas associadas à produção de energia térmica. No caso do TSP produzido no exterior, ressalta-se que estes processos são ainda mais relevantes, visto que as matrizes energéticas de países como China, Israel e Marrocos são muito dependentes da queima de carvão natural. Ainda, para ambos os produtos, também chamaram a atenção as atividades de transporte do concentrado fosfático desde a mineração até o beneficiamento, e também as atividades de transporte marítimo (tanto de enxofre, nos dois casos, quanto do TSP importado).

Quanto ao impacto de acidificação, ambos os produtos apresentaram um comportamento semelhante. Neste caso, os impactos foram concentrados pelas emissões associadas às atividades de obtenção de enxofre, de produção de ácido sulfúrico, e também pelo transporte marítimo.

Com relação à categoria de impacto de Eutrofização aquática, observou-se que as cargas ambientais são geradas pelos processos industriais de produção do SSP ou do TSP, em si, e também pela atividade de produção ácido fosfórico. Tanto os dados disponíveis na base de dados doecoinvent quanto os dados apresentados por Martinho (2014) indicaram a mesma tendência.

Comportamento similar por parte de ambos os produtos estudados também foi observado no caso da categoria de impacto de Toxicidade humana. Emissões associadas ao processo de produção de SSP ou de TSP mostraram-se relevantes, assim como as emissões devidas à produção de energia térmica para a obtenção de enxofre. A disposição final de rejeitos associados à mineração de racha fosfática e dos insumos para a produção de eletricidade (principalmente no caso da China e de Israel) também contribuíram para este impacto.

De forma semelhante, as atividades de obtenção de enxofre e a produção de ácido sulfúrico foram grandes contribuidoras em termos do impacto de Formação fotoquímica de oxidantes. Somam-se a estas também as emissões atmosféricas decorrentes das atividades de transporte marítimo (seja do enxofre ou do TSP importado) e de transporte rodoviário do concentrado fosfático até a unidade de beneficiamento.

No que diz respeito à categoria de impacto de Depleção de água, merece destaque a demanda ocasionada pelo processo de produção do concentrado fosfático, que no Brasil se baseia em separações de impurezas por meio de flotação. No caso do TSP, em que há grande parcela importada, a diferença entre as tecnologias faz com que os efeitos desta demanda de água sejam atenuados. Ainda, em ambos os casos, o consumo de água para a produção de ácido sulfúrico também se mostrou relevante.

Por fim, de uma forma geral, observou-se que a categoria de impacto de Depleção de recursos fósseis foi muito influenciada pela demanda energética para obtenção de enxofre (sobretudo no caso da China e de Israel, cujas matrizes energéticas têm grande participação de carvão natural).

Considerações Finais



De uma forma geral, entende-se que adaptação de inventários do ciclo de vida de produtos a contextos regionais mais específicos é uma boa estratégia para melhorar a consistência de estudos de ACV, sobretudo em situações em que a disponibilidade de dados é escassa.

Neste caso, a adaptação dos inventários do ciclo de vida dos fertilizantes químicos SSP e TSP (amplamente consumidos para o cultivo de cana-de-açúcar) levou a grandes alterações em relação aos resultados que podem ser obtidos a partir dos dados disponíveis na base de dados do ecoinvent. No caso do SSP, o resultado das categorias de impacto de Mudanças climáticas, Acidificação terrestre, Toxicidade humana, Formação fotoquímica de oxidantes, Depleção de água e Depleção de recursos fósseis é, em média, apenas 28% da carga ambiental resultante quando são considerados os resultados obtidos a partir de inventários do ecoinvent. Já no caso do TSP, para o qual há uma grande influência da produção que é importada, os resultados indicaram que a adaptação dos dados ao contexto do Brasil implicou resultados, em média, 50% menores do que aqueles que seriam obtidos sem qualquer adaptação.

Assim, conclui-se que a adaptação foi relevante neste caso e pode corrigir a situação de superestimação das cargas ambientais que é observada ao se usar os inventários do ecoinvent no caso específico destes fertilizantes.

Salienta-se, ainda, que os resultados obtidos são representativos para a realidade da região Centro-Sul do Brasil (usada como referência neste estudo). Em princípio, extrapolações dos resultados deveriam ser evitadas. Porém, considerando-se que as indústrias produtoras de SSP e TSP estão concentradas principalmente nesta região, estima-se que os erros associados a uma eventual extrapolação seriam atenuados caso os interessados tomem o cuidado de considerar a etapa adicional de transporte destes produtos até o centro consumidor.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em função do suporte prestado por meio do projeto ACV Cana.

Referências Bibliográficas

- ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. (2015) Anuário da Indústria Química Brasileira: 2014. São Paulo: ABIQUIM.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009) ABNT NBR ISO 14044:2009. Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.
- ALICEWEB. (2014) Importação Brasileira. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em 20 Out 2014.
- ANDA – Associação Nacional para a Difusão de Adubos. (2014) Anuário Estatístico: 2013. ANDA: São Paulo.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2014) Balanço Energético Nacional 2014: ano base 2013. EPE: Rio de Janeiro.
- FRISCHKNECHT, R. (2006) Notions on the Design and Use of an Ideal Regional or Global LCA Database. *International Journal of Life Cycle Assessment*. V. 11, N. 1, pp. 40-48.
- IEA – International Energy Agency. (2014) Statistics Search by Country. Disponível em: <<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>>. Acesso em: 20 Nov. 2014.
- KULAY, L. A. (2004) Uso da análise de ciclo de vida para comparação do desempenho ambiental das rotas úmida e térmica de produção de fertilizantes fosfatados. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014. 314 p.
- MARTINHO, H. M. (2014) Avaliação da efetividade de arranjos tecnológicos e processuais na melhoria do desempenho ambiental da produção de fosfato bicálcico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014. 156 p.
- NEMECEK, T., KÄGI, T. (2007) Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent data v2.0, N° 15. ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Dübendorf. 360 p.
- SEARATES. (2014) Distances & Transit Time [map]. Scale undetermined. Disponível em: <<https://www.searates.com/reference/portdistance/>>. Acesso em: 15 Jun. 2014.



V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 - Fortaleza, CE

SILVA et al. (2015) Development of a method for adapting international LCI data for Brazilian building products. In.Proceedings of the Sixth International Conference on Life Cycle Assessment – CILCA2015. Puc Peru: Lima. 458 p.