



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

Impactos ambientais da potencial nacionalização da produção de células LI-Ion para baterias de veículos elétricos no Brasil

VELANDIA VARGAS, J. E.^{a,*}, MANZI, G. H.^a, COOPER, R. E.^a, SEABRA, J.^a, ANHOLON, R.^a

a. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil

**Corresponding author, jevelandia@unal.edu.co*

Resumo

Este artigo apresenta os resultados da Avaliação de Ciclo de Vida, ferramenta de análise de impacto ambiental, aplicada afim de comparar os benefícios de uma potencial nacionalização da produção de células de bateria de Li-Ion. No intuito de elaborar a análise foram consultadas diversas fontes da literatura especializada e o setor produtivo brasileiro visando modificar os Inventários de Ciclo de Vida (ICV) para células de bateria, presentes no Ecoinvent V 3.1. Os resultados, obtidos a través do método CML2000, assinalam que uma potencial nacionalização das baterias causaria um produto que apresenta desvantagens em cinco de nove categorias de impacto ambiental em comparação com os resultados obtidos da análise da célula de bateria considerada como global, ou seja, a bateria que reflete condições de produção na média mundial. Adicionalmente descobriu-se que o ânodo e o catodo são os contribuintes principais para a maioria das categorias de impacto. Por fim, analisaram-se as contribuições de impacto ao longo do ciclo de vida do processo de manufatura, sem incluir disposição final, para três categorias de impacto: aquecimento global, toxicidade humana e eutrofização, visando procurar as etapas críticas ou de maior contribuição. Os resultados para aquecimento global manifestam que a produção de alumínio se apresenta como a contribuição principal, devido à natureza intensiva de uso da energia na produção de alumínio. A respeito da toxicidade humana e a eutrofização os resultados evidenciam que a extração de metais como o cobre estão atrelados à os maiores impactos.

Palavras-chave: Análise de Ciclo de Vida, Inventários de Ciclo de vida, Célula de bateria de Lítio, processo de desenvolvimento de produtos.

1. Introdução

O setor de transportes é um dos grandes responsáveis pelas emissões atmosféricas antrópicas, ao solo e aos corpos de água. Os efeitos dessas emissões são percebidos por diferentes receptores (humanos, ecossistemas, etc.) tanto no âmbito local quanto global. A influência humana sobre o sistema climático é clara, e as emissões antrópicas de gases de efeito estufa nos últimos 30 anos são as maiores registradas (Environmental Protection Agency 2014). O CO₂ é um Gás de Efeito Estufa (GEE) emitido, entre outros, por combustíveis de origem fóssil (European Commission 2015).

Na Europa, em 2012, só o transporte rodoviário contribuiu com cerca de um quinto das emissões de Dióxido de Carbono (CO₂). Em contraste, no Brasil, em 2014 as emissões associadas ao setor transporte atingiram 45,7% do total de emissões associadas à matriz energética brasileira (Empresa de Pesquisa Energética 2015).

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

São Paulo – Brazil – May 24th to 26th - 2017

A adoção de veículos elétricos (VE) é considerada como uma das principais alternativas para a mitigação de efeitos ambientais nocivos. Porém, do ponto de vista das emissões de GEE, os potenciais benefícios da adoção de carros elétricos dependerão do perfil de geração de eletricidade (o que inclui a matriz de geração em um dado local) e como as baterias serão recarregadas (horário, frequência, período de recarga, etc.) uma vez que um possível choque na demanda de eletricidade poderia ter um impacto direto no despacho do sistema elétrico e, conseqüentemente, nas emissões.

Uma forma de avaliar os impactos da inserção dos VE consiste na ferramenta conhecida como Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Através da ACV são identificados todos os fluxos de entrada (insumos) e de saída (efluentes) do sistema do produto, ou serviço, sendo possível verificar quais são as etapas que mais contribuem para determinado impacto ambiental, normalmente analisando desde a extração de matérias-primas, passando pelo uso e a disposição final para completar o ciclo “do berço ao túmulo”.

Recentes estudos de ACV no setor transporte (Velandia Vargas 2016) apontam que o VE pode apresentar piores resultados, por quilômetro rodado, quando comparado com o veículo *flex* convencional brasileiro para categorias de impacto relacionadas à toxicidade e eutrofização. O autor evidencia que a contribuição da manufatura do carro (especialmente a bateria) para o total do ciclo de vida de um veículo é crucial.

Projeta-se que a demanda mundial de Lítio terá um acréscimo importante durante este século. Alguns especialistas ao redor do mundo preveem uma crise no suprimento mundial de lítio (Greentechmedia 2015) (Vikström et al. 2013). Uma demanda excessiva de lítio poderia causar um acréscimo nos preços que poderia ameaçar a revolução automotiva dos VE. No momento, a reciclagem de lítio não representa uma porção significativa do lítio produzido no mundo, principalmente pela sua inviabilidade econômica atual, de fato só 3% do lítio produzido no mundo tem como origem a reciclagem (Sonoc et al. 2015). O rápido esgotamento das salmouras mais ricas em Lítio, presentes nas salinas do Chile, atualmente as maiores reservas provadas do metal no mundo, fará com que provavelmente no futuro os preços aumentem bloqueando a eletrificação da frota de veículos do mundo.

Dessa forma, as células de bateria (CB) de Li-Ion constituem um componente fundamental das baterias tanto para veículos elétricos quanto para aparelhos eletrônicos. No momento, não há empresas que produzam baterias desse tipo no Brasil (Castro et al. 2013), embora o país seja o oitavo produtor mundial do metal (Investing News 2016).

Por outra parte, avaliar a possibilidade de nacionalização de componentes relacionados com a indústria de autopeças no Brasil cobra relevância, uma vez que os projetos do tipo *follow-source* são os mais comuns nessa indústria (De Toledo et al. 2008).

Diante do cenário exposto acima, o objetivo principal deste trabalho é estabelecer os impactos ambientais da potencial nacionalização da produção de células de bateria de Li-Ion para veículos elétricos no Brasil e a comparação desses resultados com o perfil ambiental da produção de CB no resto do mundo.

2. Metodologia

Parte fundamental da ACV envolve a construção do Inventário de Ciclo de Vida (ICV). Os ICVs reúnem os dados e informações que serão utilizados na ACV. Os dados que são coletados diretamente (por meio de medições) do processo específico que está sendo modelado são chamados de dados primários, enquanto os dados obtidos da literatura ou fontes externas de dados secundários.

A fim de obter os ICVs emprega-se o software Simapro 8 que utiliza a base de dados de ACV do Ecoinvent 3.1 (Swiss Centre for Life Cycle Inventories 2014). Simapro acessa a base de dados e constrói esquemas de trabalho conhecidos como processos, cada um desses processos contém informações acerca dos fluxos entrando e saindo do sistema, isso significa, o que é necessário para produzir esse produto ou serviço e quais emissões serão criadas no processo. As particularidades geográficas de cada ICV fazem com que os mesmos sejam usualmente válidos só para um determinado local, portanto um dos grandes esforços deste trabalho será “regionalizar” inventários

estrangeiros. A análise utilizará o método de Avaliação de Ciclo de Vida (AICV) conhecido como CML 2000.

No geral, o sistema de produto pode ser entendido como um conjunto de subunidades de processo, que trocam ou compartilham materiais e energia para criar um produto ou serviço. Cada processo pode ser definido como a soma de vários subprocessos que contribuem para o total. A norma ISO 14040 para ACV define uma unidade de processo como "a menor porção de um sistema de produto para o qual os dados são recolhidos ao realizar uma ACV". Embora todas as unidades de processo sejam parte do ciclo de vida do produto, os seus potenciais impactos ambientais podem ser muito diferentes. A Tabela 1 apresenta cada um os componentes (ou subprocessos) necessários para a manufatura de um quilograma de CB Li-Ion.

Tabela 1. Subprocessos requeridos para a manufatura de 1 Kg de CB Li-Ion.
Fonte: Elaborado pelos autores

Componente	Região geográfica	Massa (Kg)
Anodo de grafite para bateria Li-Ion.	Brasil	0,379774
Hexafluorofosfato de lítio.	Brasil	0,018025
Liga de alumínio forjado.	Brasil	0,015609
Polietileno, baixa densidade, em grãos.	Global	0,069393
Catodo de LiMn2O4, para bateria Li-Ion.	Brasil	0,309481
Alumínio rolado em folha.	Brasil	0,015609
Nitrogênio líquido.	Europa sem Suíça	0,009468
Fábrica produtos químicos. *	Global	3,79E-10
Carbonato de Etileno.	Brasil	0,151086
Película plástica estruída.	Brasil	0,069393
Separador de Bateria.	Brasil	0,050802

*Fábrica de químicos amortizada ao longo da sua vida útil, ou seja, precisam-se de 3,79 E-10 fábricas para produzir 1 Kg de CB Li-Ion. Desde outra ótica, cada planta poderia produzir ao redor de 2,638 E9 Kg de CB durante a sua vida útil.

Todos os subprocessos descritos na Tabela 1 são dados secundários obtidos da Ecoinvent V 3.1. A informação da região geográfica diz respeito do trabalho de nacionalização do inventario, ou seja, a palavra Brasil indica que o processo sofreu alterações para ajustar ele do melhor jeito possível à realidade brasileira. Uma das principais ferramentas para nacionalizar os inventários é a adaptação da matriz de geração elétrica. As entradas específicas de eletricidade para cada região são trocadas pelos valores nacionais.

A Tabela 2 apresenta a matriz de geração elétrica como calculada para condições de geração na média em 2014 (Velandia Vargas 2016). Adicionalmente, os inventários são regionalizados modificando as condições de transporte uma vez os potenciais fornecedores são estabelecidos junto com as distâncias. Por fim, destaca-se que qualquer informação referente aos processos Brasileiros de produção pode ser usada a fim de regionalizar inventários, e.g. páginas dos fornecedores, relatórios do governo, etc.

Tabela 2. Matriz brasileira de geração elétrica estimada.
Fonte: Velandia-Vargas (2016).

Fonte	%
Hidráulica	65,2
Eólica	2,3
Nuclear	2,9
Biomassa	8,0
Gás natural	13,0
Carvão mineral	3,2
Óleo combustível	3,2
Óleo Diesel	2,2

3. Resultados

A proposta de nacionalização da produção de inventários inclui a construção de uma fábrica de CB Li-Ion. Embora a escolha de um local para a construção de uma planta não seja trivial e esteja muito influenciada por parâmetros econômicos e legais além de logísticos, a decisão baseou-se principalmente em três critérios: em primeiro lugar, a planta deve ter fácil acesso ao sistema brasileiro de rodovias e ser for possível, portos. Segundo, construir a planta em locais muito afastados dos potenciais fornecedores ou compradores provavelmente significará maiores custos/ impacto ambiental e em terceiro lugar, plantas fora de grandes núcleos urbanos podem trazer vantagens tributárias.

O local escolhido é Resende (RJ), (Lat:- 22.46 s, Long:- 44.44 O) pela sua proximidade com a Rodovia Dutra e a sua posição estratégica entre São Paulo e Rio de Janeiro, além de ter acesso quase equidistante aos portos de Santos (SP) e Rio de Janeiro (RJ). As distancias calculadas na análise estão baseadas na premissa de que a fábrica estará localizada em Resende.

Por fim, assume-se que o processo de geração industrial de calor do Canadá presente no Ecoinvent V 3.1, pode modelar o processo análogo no Brasil. Isso baseado na semelhança dos seus poderes caloríficos para o caso canadense (World-nuclear 2016) e brasileiro (Agência Nacional de Petróleo 2011) e devido à ausência do inventário nacional correspondente no Ecoinvent.

A Tabela 3 apresenta a análise do componente Anodo como exemplo de aplicação da metodologia utilizada na definição do inventário de cada um dos subprocessos principais na manufatura de uma CB Li-Ion e na tabela do Apêndice A aparecem os dados para o restante dos componentes apresentados na Tabela 1, incluindo disposições para o transporte de materiais, potenciais fornecedores e observações.

Tabela 3. Definição de inventário para o componente Anodo.

Fonte: elaborada pelos autores.

Entrada	Massa (kg)	Fornecedor	Transporte (até Resende)	Observações
Anodo de grafite (1 kg)				
Fábrica química {GLO}	4e-10	-	-	Processo contido na Ecoinvent 3.1, usado sem alterações.
Negro de fumo {BR}	0,01585	Cabotcorp (Cabotcorp, 2016)	300 km Caminhão Mauá (SP)	Petróleo baseado nas frações de produção e importação apresentadas em da Silva (2013)e Morais (2015). Para cada 1 kg de petróleo, 0,564 Kg chegam na Replan e 0,436 na Reduc.
Grafite, grado bateria {BR}	0,49414	Grafite do Brasil (Brasil, 2014)	1200 km Caminhão Maiquinique (BA)	Especialmente importante pela sua escassez (Moore 2016). Eletricidade média global trocada por média brasileira.
Ácido Sulfúrico {GLO}	0,08076	Hexis (Hexis Científica, 2016)	300 km Caminhão Jundiá (SP)	Processo tomado do Ecoinvent sem alterações
Folha, cobre {GLO}	0,52414	Paranapanema (Paranapanema, 2015)	300 km Caminhão Santo André (SP)	Processo alterado com Eletricidade Brasileira
Cobre {GLO}	0,52414	Vale (Vale, 2016)	50 km caminhão Carajás (PA) - Parauapebas + 800 Km trem Parauapebas (PA) -São Luís + 3800 km navio São Luís (MA) - Rio (RJ) + 160 km caminhão Rio-Resende	Processo adaptado usando processo para o cobre em América Latina. Considera-se uma porcentagem de 10 % de cobre com origem da reciclagem. (Valor 2012)
Látex {GLO}	0,01849	LatexSR (Latex São Roque 2016)	300 km caminhão São Paulo (SP)	Emprega-se o processo para condições mundiais (exceto a Europa). Considera-se adequado devido à grande porção de látex importada para o Brasil. (Globorural 2014)
Água, deionizada {GLO}	0,42369	Ecoinvent	Ecoinvent	Processo tomado do Ecoinvent sem alterações.

Na informação apresentada na Tabela 3 e na tabela do Apêndice A é muito importante notar o fato de que só existem alterações nos processos para os quais tivermos evidência de condições diferentes no Brasil. Isso quer dizer que sob o caso de não obter informação fidedigna os processos de Ecoinvent serão mantidos do jeito que eles estão mantendo as condições Globais padrão que são atribuídos a eles.

A Figura 1 ilustra os resultados da comparação, fornecida pelo software, por categoria de impacto para cada uma das quatro opções analisadas nas condições atuais. O gráfico apresenta a contribuição ambiental obtida da análise de três casos: Os dados de ICV para a bateria considerada como Global, ICV da bateria do Canadá e o ICV regionalizado para o Brasil. Considera-se a maior contribuição para cada categoria como 100%, o gráfico foi obtido no *software* Simapro, lembrando que a análise de AICV foi elaborada com o método CML 2000.

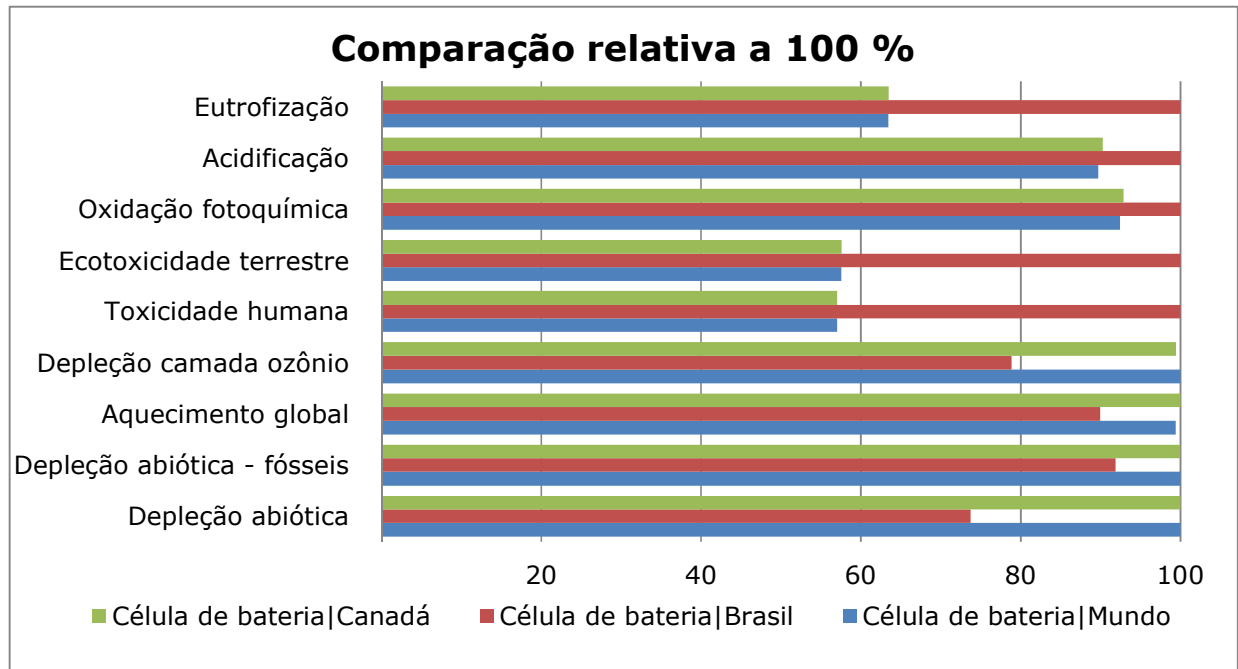


Figura 1. Resultados da comparação por categoria de impacto.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observando os resultados da análise por categoria de impacto para as três opções apresentadas na Figura 1, nota-se que no caso de as células de bateria serem produzidas no Brasil elas estariam em desvantagem ambiental para cinco de nove categorias ambientais analisadas. Porém, as potenciais células brasileiras teriam vantagem em categorias de impacto globais como aquecimento global e depleção da camada de ozônio. As CBs brasileiras demonstrariam ter contribuições especialmente altas para as categorias relacionadas à toxicidade. Os resultados da ACV para os inventários do Canadá e Global apresentam diferenças desprezíveis entre eles.

A Figura 2 apresenta a contribuição de cada um dos componentes ou subprocessos apresentados na Tabela 1 ao total do ciclo de vida. Os resultados evidenciam uma grande contribuição do ânodo para quase todas as categorias de impacto, o cátodo é também grande responsável pela carga ambiental da bateria. Processos atrelados à extração de metais são também destacados no gráfico.

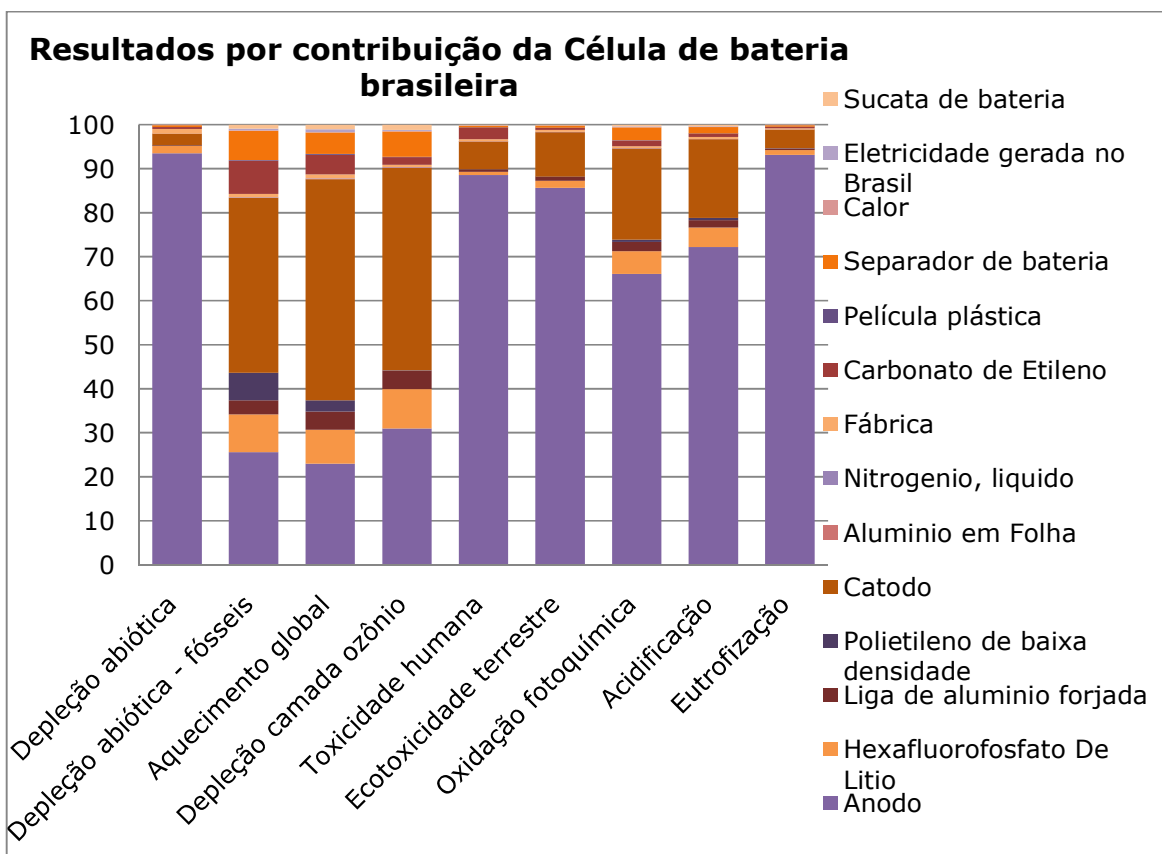


Figura 2. Resultados da ACV por contribuição par as células manufaturadas no Brasil.
Fonte: Elaborado pelos autores.

As Figuras 3, 4 e 5 pretendem ilustrar, respectivamente, as maiores contribuições dos componentes para três categorias de impacto: aquecimento global, toxicidade humana e eutrofização.

No caso do aquecimento global a produção de alumínio desempenha um papel importante, devido ao fato de ser muito intensiva energeticamente falando. Evidencia-se que o alumínio destinado ao cátodo é o principal contribuinte para esta categoria. Este fato está certamente ligado ao consumo de energia, apesar do da geração elétrica brasileira ter um elevado volume de fontes de baixa emissão de carbono. Produtos relacionados ao lítio, como o óxido de lítio manganês também se apresenta uma contribuição significativa.

No que diz respeito ao ânodo, percebe-se que as principais contribuições são devido à extração de cobre e grafite.

Já no caso da toxicidade percebe-se que a extração de cobre na América Latina acaba sendo o principal contribuinte por uma imensa diferença, isso é um claro sinal de que o processo de extração local do cobre podem ser uma fonte de potencial redução de impactos ambientais. A contribuição desse processo em específico ao total é tão grande que qualquer melhora vai afetar muito o resultado final da ACV para as toxicidades.

A respeito da comparação de ICVs regionalizados com inventários considerados como "base", ou seja, inventários padrão, a literatura disponível não é extensa. (Morais et al. 2016) compara inventários de Portugal, fornecidos pela Agri-Footprint com inventários criados pelos autores para a mesma região. Essas estatísticas estão baseadas em dados consistentes para a produção de milho, trigo, cevada e aveia. Os autores assinalam que para cada um dos produtos houve diferenças de até 30% quando comparado ao inventário padrão.

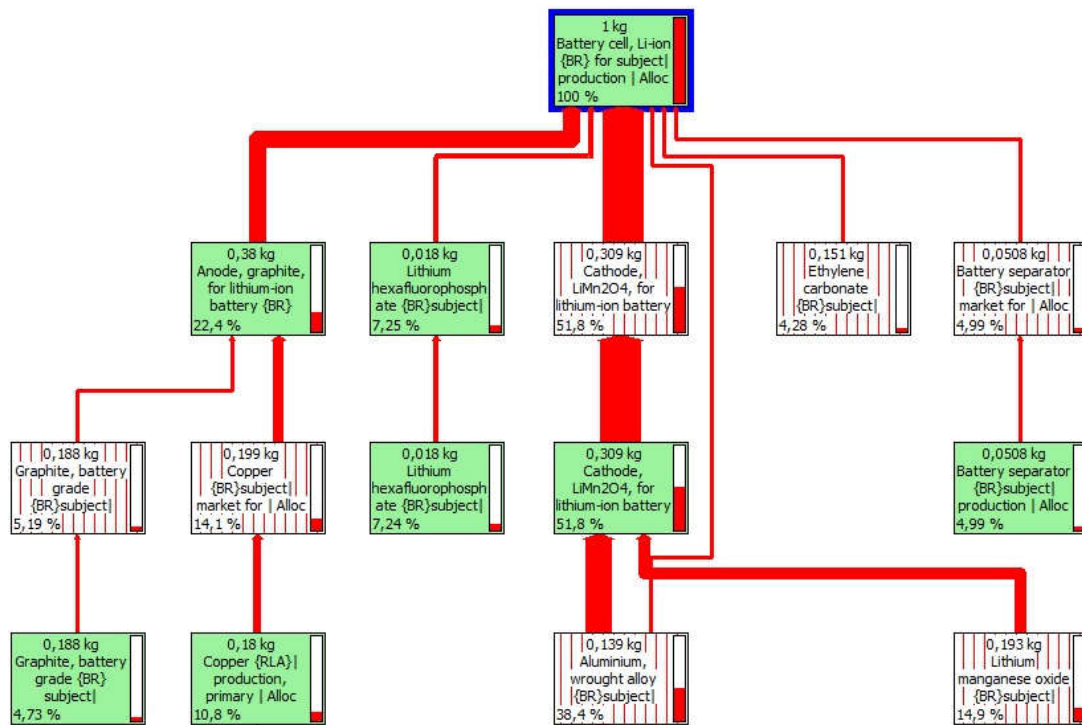


Figura 2. Contribuição desagregada para a categoria de Aquecimento Global.
Fonte: elaborado pelos autores.

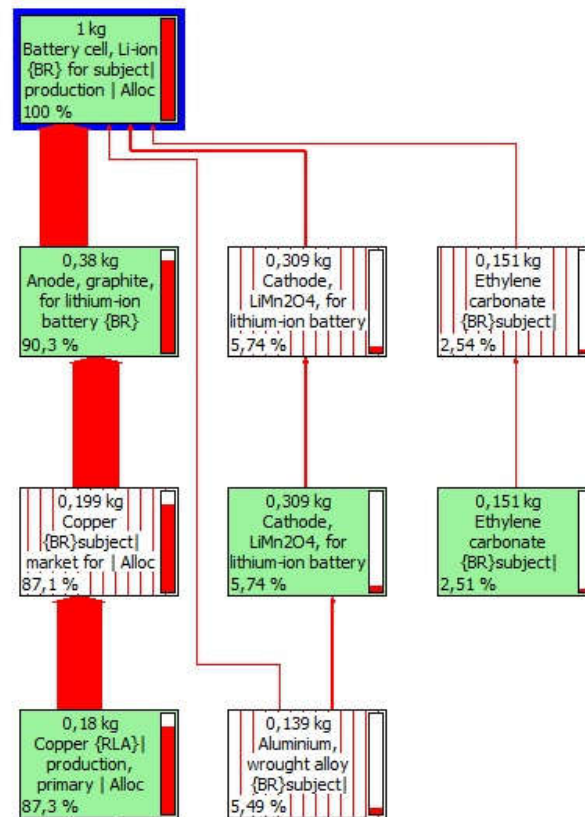


Figura 3. Contribuição desagregada para a categoria de Toxicidade humana.
Fonte: elaborado pelos autores.

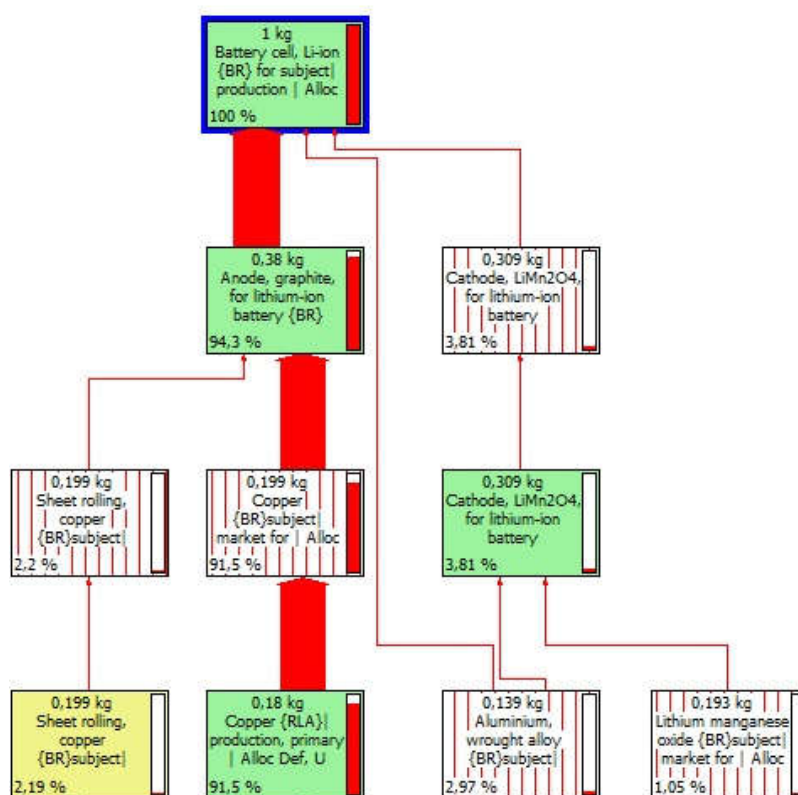


Figura 4. Contribuição desagregada para a categoria de Eutrofização.
Fonte: elaborada pelos autores.

4. Conclusão

A nacionalização da manufatura de Células de Li-íon apresenta desvantagens do ponto de vista ambiental em cinco de nove categorias analisadas, porém é importante notar que apresenta vantagens, sim, nas categorias de aquecimento global e depleção da camada de ozônio, as quais apresentam abrangência global devido à inclusão nos inventários regionalizados da matriz elétrica brasileira a qual é menos carbono-intensiva. Outras categorias apresentam importantes contribuições devido à inclusão de processos de extração de metais pesados na América Latina.

Por outra parte, encontra-se que tanto o anodo quanto o cátodo apresentam as maiores contribuições por Kg de célula produzida sendo a sua contribuição a maior para todas as categorias de impacto. Os processos de extração do material de lítio chileno são importantes do mesmo jeito.

Deve ser levado em consideração o fato dos processos regionalizados serem um exercício acadêmico, que ainda deve ser concluído com a construção de Inventários brasileiros para alguns dos subprocessos de extração de metais, especialmente o cobre. A pesquisa permite estabelecer que qualquer tipo de esforço técnico ou econômico de pesquisa ou desenvolvimento poderia apresentar maiores benefícios se for focada principalmente na manufatura do anodo e o catodo e na diminuição da geração de esgoto tóxico durante a extração de metais.

5. Referências

- Agência Nacional de Petróleo, 2011. *Fatores de conversão, densidades e poderes caloríficos inferiores*, Available at: www.anp.gov.br/SITE/acao/download/?id=60993.
- Air Products and Chemicals Inc., 2015. Gases para dispositivos médicos. Available at: <http://www.airproducts.com.br/products/Gases/Specialty-Gases/Medical-Device-Gases.aspx> [Accessed

- November 22, 2016].
- Air Products and Chemicals Inc., 2016. Geração de Nitrogênio on-site. Available at: <http://www.airproducts.com.br/products/Gases/supply-options/onsite-gas-generation/nitrogen-onsite-gas-generation.aspx> [Accessed November 22, 2016].
- Brasil, G. do, 2014. O grafite. Available at: <http://www.grafitedobrasil.com.br/>.
- Braskem, 2015. Unidades Braskem. Available at: <https://www.braskem.com.br/unidades-braskem> [Accessed November 22, 2016].
- Cabotcorp, 2016. Historia. Available at: <http://www.cabotcorp.com.br/company/about-cabot/history> [Accessed November 22, 2016].
- Castro, B.H.R. de, Barros, D.C. & Veiga, S.G. da, 2013. *Baterias automotivas : panorama da indústria no Brasil , as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global*, Companhia Brasileira de Alumínio, 2016. Alumínio CBA. Available at: <http://www.aluminiocba.com.br/mercado-e-produtos/> [Accessed November 22, 2016].
- Cosmoquímica, 2016. Acetona Pura Rhodia. Available at: <http://www.cosmoquimica.com.br/produtosResultado.asp?id=197> [Accessed November 22, 2016].
- Dupont, 2015. Entrevista Leonidas Andrade. Available at: <http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/solar-photovoltaic-materials/solar-photovoltaic-materials-landing/documents/interview-leonidas-portuguese.pdf> [Accessed November 22, 2016].
- Empresa de Pesquisa Energética, 2015. *Balanco Energético Nacional 2015. Relatório Síntese: Ano base 2014*, Available at: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf.
- Environmental Protection Agency, 2014. Causes of Climate Change. Available at: <https://www3.epa.gov/climatechange/science/causes.html>.
- European Commission, 2015. Climate action. Available at: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/index_en.htm.
- Globo Rural, 2014. Brasil produz apenas 35% da demanda nacional por borracha natural. Available at: <http://revistaglobo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2014/06/brasil-produz-35-da-demanda-nacional-por-borracha-natural.html> [Accessed November 22, 2016].
- Greentechmedia, 2015. Is There Enough Lithium to Maintain the Growth of the Lithium-Ion Battery Market? Available at: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/Is-There-Enough-Lithium-to-Maintain-the-Growth-of-the-Lithium-Ion-Battery-M> [Accessed November 22, 2016].
- Hexis Científica, 2016. Produtos- Ácido sulfúrico. Available at: http://www.hexis.com.br/produtos/?search=acido-sulfurico&utm_source=adwords&utm_medium=rede-pesquisa&utm_campaign=consumiveis&gclid=CKSk7Z67q9ACFYpahgodVREHw.
- International Energy Agency, 2016. *Electricity generation by fuel: Chile*, Available at: <https://www.iea.org/stats/WebGraphs/CHILE2.pdf>.
- Investing News, 2016. Top Lithium-Producing Countries. Available at: <http://investingnews.com/daily/resource-investing/energy-investing/lithium-investing/top-lithium-producing-countries/> [Accessed November 22, 2016].
- José Guilherme da Rocha Cardoso et al., 2010. A indústria do alumínio : estrutura e tendências. *BNDES Setorial*, Insumos Bá, pp.43–88. Available at: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3302.pdf.
- Latasa Reciclagem, 2014. Lingotes. Available at: <http://www.latasa.ind.br/pt/produtos/lingotes> [Accessed November 22, 2016].
- Latex São Roque, 2016. Látex São Roque. Available at: <http://www.latexsr.com.br/> [Accessed November 22, 2016].
- Manágas, 2015. Óxido de Eteno. Available at: <https://www.managas.com.br/gases/8-propriedades-dos-gases/46-oxido-de-eteno> [Accessed November 22, 2016].
- Mineração Darcy, 2016. Areia. Available at: <http://www.mineracaodarcy.com.br/produtos/areia/?gclid=CKKMqeDRsNACFYUGkQodS0MDdA> [Accessed November 22, 2016].
- Moore, S., 2016. Battery grade graphite shortage on horizon as demand rockets. *Benchmark Magazine Q2 2016*. Available at: <http://www.slideshare.net/sdmoore/battery-grade-graphite-shortage-on-horizon-as-demand-rockets>.
- Morais, J.M. de, 2015. Brasil: Evolução da capacidade de refino. In *Petrobras: Uma história das explorações de petróleo em águas profundas e no Pré-sal*. Campos. Available at: <https://books.google.com.br/books?id=ZGDjBwAAQBAJ&pg=PA18&lpg=PA18&dq=capacidade+reduc+v+s+capacidade+replan&source=bl&ots=8bTDgEoHvi&sig=cyqVhQ38AC1AnW4MrtL-3zWQe4o&hl=en&sa=X&ved=0ahUKewiRh7U2bXQAhVGIZAKHUSMAAUQ6AEISjAG#v=onepage&q&f=fa>

- Ise.
- Morais, T., Teixeira, R. & Domingos, T., 2016. Comparative analysis of regionalized inventories : Life Cycle Assessment of Portuguese maize , wheat , barley and oat. , (October). Available at: https://www.researchgate.net/publication/309415184_Comparative_analysis_of_regionalized_inventories_Life_Cycle_Assessment_of_Portuguese_maize_wheat_barley_and_oat.
- Paranapanema, 2015. *Relatório de Sustentabilidade 2015*, Available at: <http://www.paranapanema.com.br/list.aspx?idCanal=E+4shz8vOlqBRtmkNSUEkg==>.
- Petrom, 2015. Petroquímica Mogi das Cruzes. Available at: <http://petrom.net.br> [Accessed November 22, 2016].
- Promaflex, 2015. Promaflex | Grupo Velletri. Available at: <http://www.promaflex.com.br/empresa-promaflex-grupo-velletri/> [Accessed November 22, 2016].
- Replas, 2016. Produtos. Available at: <http://www.replas.com.br/produtos> [Accessed November 22, 2016].
- Rockwood Lithium, 2016. Sales de Litio. Available at: <http://www.rockwoodlitio.cl/quienes-somos/rockwood-lithium-en-el-mundo/productos/sales-de-litio/> [Accessed November 22, 2016].
- da Silva, C.R.U., 2013. *Perspectivas de longo prazo sobre o perfil ambiental do etanol de cana-de-açúcar no Brasil* *Perspectivas de longo prazo sobre o perfil ambiental do etanol de cana-de-açúcar no Brasil*. Unicamp.
- Sindicato das industrias minerais do estado do Pará, 2015. Calcário. Available at: <http://www.simineral.org.br/mineracao/4> [Accessed November 22, 2016].
- Sonoc, A., Jeswiet, J. & Soo, V.K., 2015. Opportunities to Improve Recycling of Automotive Lithium Ion Batteries. *Procedia CIRP*, 29(DECEMBER), pp.752–757. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115000797>.
- SQM, 2016. Litio. Available at: <http://www.sqm.com/en-us/productos/litio.aspx> [Accessed November 22, 2016].
- Talens Peiró, L., Villalba Méndez, G. & Ayres, R.U., 2013. Lithium: Sources, production, uses, and recovery outlook. *Jom*, 65(8), pp.986–996.
- The shift project, 2014. Breakdown of Electricity Generation by Energy Source. Available at: <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart> [Accessed November 22, 2016].
- De Toledo, J.C. et al., 2008. Práticas de gestão no desenvolvimento de produtos em empresas de autopeças. *Produção*, 18(2), pp.405–422.
- Unipar Carbochloro, 2016. Soda Cáustica Líquida. Available at: http://www.uniparcarbochloro.com.br/uniparcarbochloro/web/conteudo_pt.asp?idioma=0&conta=28&tipo=48942&id=181908 [Accessed November 22, 2016].
- Usiquimica, 2015. Identificação Ácido fluorídrico. Available at: http://www.usiquimica.com.br/adm_img/fichatec-28.pdf [Accessed November 22, 2016].
- Vale, 2016. Cobre. *Mineração*. Available at: <http://www.vale.com/brasil/PT/business/mining/copper/Paginas/default.aspx> [Accessed November 22, 2016].
- Valor, 2012. Cobre - Reciclagem ainda é um desafio no país. Available at: <http://www.valor.com.br/empresas/2883368/reciclagem-ainda-e-um-desafio-no-pais> [Accessed November 22, 2016].
- Velandia Vargas, J.E., 2016. *Análise da competitividade ambiental de veículos elétricos no Brasil no cenário atual e futuro*. Universidade Estadual de Campinas.
- Viana, K.M. de S., 2009. *Diafragmas de PEUAPM para aplicação no processo de produção eletrolítica de cloro-soda*. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. Available at: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp087411.pdf>.
- Vikström, H., Davidsson, S. & Höök, M., 2013. Lithium availability and future production outlooks. *Applied Energy*, 110, pp.252–266.
- World-nuclear, 2016. Heat Values of Various Fuels. Available at: <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx> [Accessed November 22, 2016].

APÊNDICE A

Entrada	Massa (kg)	Fornecedor	Transporte (até Resende)	Observações
Hexafluorofosfato de lítio (1 kg)				
Nitrogênio Líquido {RER}	0,00125	Air products (Air Products and Chemicals Inc. 2016)	Ecoinvent	Deixa-se o processo do Ecoinvent sem alterar.
Penta cloreto de fósforo {GLO}	1,97649	Ecoinvent	Ecoinvent	Processo do Ecoinvent sem alterar
Fábrica química {GLO}	4e-10	-	-	Processo do Ecoinvent sem alterar
Fluoreto de hidrogênio {BR}	4,04039	Usiquímica (Usiquímica 2015)	300 km Caminhão São Paulo (SP)	Eletricidade brasileira
Fluoreto de Lítio {BR}	0,19696	Rockwood Lítio - Chile (Rockwood Lithium 2016)	270 km Caminhão Salar Atacama-Antofagasta (Chile) 8400 km Navio Antofagasta-Rio (RJ) 150 km Caminhão Rio-Resende	Ecoinvent não contém informações sobre a matriz elétrica do Chile, portanto, procurou-se uma opção dentro da base de dados que refletisse do melhor jeito possível as condições chilenas de geração. A matriz da Eslovênia (The shift project 2014) foi escolhida pela semelhança das porcentagens da geração Hidrelétrica e por carvão com a matriz do Chile. (International Energy Agency 2016). Os processos do fluoreto de Lítio contém uma entrada adicional de Carbonato de Lítio, processo no qual a matriz elétrica da Eslovênia foi adotada também.
Calcário hidratado {BR}	7,43729	Simineral (Sindicato das indústrias minerais do estado do Pará 2015)	400 km Caminhão Mossoró (RN)-Natal (RN) 2600 km Navio Natal (RN)- Rio (RJ)	Só as distâncias de transporte foram alteradas a respeito do processo do Ecoinvent.
Água {Europa sem suíça}	4,23018	Ecoinvent	Ecoinvent	Processo do Ecoinvent sem alterar.
Liga de alumínio forjado (1 kg)				
Liga de alumínio forjada {BR} em lingote	0,648	Alumar (Alcoa/BHP Billiton)	3200 km Navio São Luís (MA)- Santos 230 km caminhão Santos (SP)- Pindamonhangaba	64,8% do alumínio produzido no Brasil não tem como origem a reciclagem de Sucata (José Guilherme da Rocha Cardoso et al. 2010).
Liga de alumínio forjada {BR} reciclada	0,352	Latasa (Latasa Reciclagem 2014)	140 km Caminhão Pindamonhangaba	Processo do Ecoinvent sem alterar.
Polietileno de baixa densidade (1 kg)				
Polietileno de baixa densidade {GLO}	1	Replas (Replas 2016)	150 km Caminhão Rio de Janeiro	Processo do Ecoinvent sem alterar.
Folha de Alumínio (1 kg)				
Folha, Alumínio {BR}	0,648	(Companhia Brasileira de Alumínio 2016)	350 km Caminhão Alumínio (SP)	Eletricidade Brasileira empregada, só os sub-processos de transporte foram alterados.
Nitrogênio Líquido (1 kg)				
Nitrogênio líquido {RER}	0,00946	Europa sem Suíça	Ecoinvent	Processo do Ecoinvent sem alterar.
Fábrica (1 kg Unidade)				
Fábrica química {GLO}	3,79e-10	-	-	Ecoinvent sem alterar
Película plástica (1 kg)				
Película plástica extrudida {GLO}	1	Promaflex (Promaflex 2015)	300 km Caminhão	Eletricidade Brasileira

Entrada	Massa (kg)	Fornecedor	Transporte (até Resende)	Observações
Cátodo de LiMn2O4 (1 kg)				
Água da torneira {GLO}	0,20014	Ecoinvent	Ecoinvent	Processo do Ecoinvent sem alterar.
Látex {BR}	0,00987	LatexSR (Latex São Roque 2016)	300 km caminhão São Paulo (SP)	Igual ao látex do ânodo.
Hidróxido de sódio solução 50% {BR}	0,12997	Carbochloro (Unipar Carbochloro 2016)	300 km caminhão São Paulo (SP)	No Brasil a tecnologia mais utilizada para a obtenção de soda é o diafragma 71%, seguido do processo por mercúrio com 25% e membrana com apenas 4%. (Viana 2009). A eletricidade média internacional foi trocada pela Eletricidade média do Brasil.
Liga de alumínio forjada {BR} em lingote	0,39250	Latasa (Latasa Reciclagem 2014)	3200 km Navio São Luís (MA) - Santos 230 km caminhão Santos (SP) - Pindamonhangaba	64,8% do alumínio produzido no Brasil não tem como origem a reciclagem de Sucata (José Guilherme da Rocha Cardoso et al. 2010).
Óxido de manganês Lítio {GLO}	0,62234	SQM (SQM 2016)	270 km Caminhão Salar Atacama - Antofagasta (Chile) 8400 km Navio Antofagasta-Rio (RJ) 150 km Caminhão Rio-Resende	O Óxido de manganês lítio precisa de carbonato de lítio (Talens Peiró et al. 2013) para ser produzido, portanto, tanto para ao primeiro quanto para o segundo a geração elétrica foi trocada pelo processo da Eslovênia, buscando modelar a geração de eletricidade no Chile.
Negro de fumo {GLO}	0,02634	Cabotcorp (Cabotcorp 2016)	300 km Caminhão Mauá (SP)	Igual ao negro de fumo do ânodo
Fábrica química {GLO}	3,99e-10	-	-	Processo do Ecoinvent sem alterar.
Carbonato de Etileno (1 kg)				
Óxido de eteno {GLO}	0,50053	Managas (Managas 2015)	1400 km Caminhão Bahia	Eletricidade Brasileira
Fábrica química {GLO}	4e-10	Ecoinvent	Ecoinvent	Ecoinvent sem alterar
Dióxido de Carbono líquido {GLO}	0,50497	Ecoinvent	Ecoinvent	Ecoinvent sem alterar
Separador de bateria (1 kg)				
Película plástica extrudida {GLO}	1	Promaflex (Promaflex 2015)	300 km Caminhão	Eletricidade Brasileira
Separador de bateria (1 kg)				
Areia de sílica {BR}	0,21450	Mineração Darcy (Mineração o Darcy 2016)	550 km caminhão São Simão (SP)	Eletricidade Brasileira
Polietileno velo {BR}	0,34463	Braskem (Braskem 2015)	350 km caminhão Paulínia (SP)	Eletricidade Brasileira
Anidrido ftálico {BR}	0,28599	Petrom (Petrom 2015)	250 km caminhão Mogi/Bertioga	Eletricidade Brasileira
Hexafluoroetano {GLO}.	0,02574	Air products (Air Products and Chemicals Inc. 2015)	9500 km Navio Algeciras (ESP)-Rio (RJ) 350 km trem Planta-Algeciras Rio (RJ)-Resende 150 km	Produto importado da Espanha
Fábrica química {GLO}	3,92e-10	Ecoinvent	Ecoinvent	Ecoinvent
Fluoreto de poli vinil {GLO}	0,18875	Dupont (Dupont 2015)	350 km caminhão Paulínia (SP)	Eletricidade Brasileira
Acetona líquida {GLO}	0,01412	Cosmoquímica (Cosmoquímica 2016)	300 km caminhão São Paulo (SP)	Eletricidade Brasileira