

**Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DO BIOCOMBUSTÍVEL ETANOL:  
PROSPECÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) OF ETHANOL BIOFUEL: PROSPECTING IN  
SCIENCE AND TECHNOLOGY**

Caroline Peyrot, Ronaldo Hoffmann, Flávio Dias Mayer e Joceane Azolim

**RESUMO**

A prospecção tecnológica e científica fornece informações sobre o estado da técnica de ACV do etanol para formulação de parâmetros mais específicos e precisos atrelados à gestão do produto e da atividade. Através da base de dados Questel-Orbit e SciVerse Scopus delineou-se a estratégia de busca direcionada a etanol e etanol hidratado / úmido. Os dados de investigação totalizaram 1.201 documentos de patentes, 988 na base bibliográfica para ACV de etanol e 34 registros para ACV etanol hidratado e úmido. A evolução e o estado da técnica demonstram o desenvolvimento do eixo ambiental na concepção e no aprimoramento do etanol no mercado, bem como pesquisas referentes à aplicação de novos graus de hidratação do combustível, desponta como uma tecnologia com grande interesse vinculado a recurso energético alternativo, oportunidade de aperfeiçoar sistema operacional, minimização de impacto ambiental e a criação de novas possibilidades para a agricultura. E a técnica de ACV se revela uma ferramenta versátil à gestão.

**Palavras-chave:** Estado da arte, desenvolvimento sustentável, recurso energético.

**ABSTRACT**

Technological and scientific prospecting provides information on the state of the art of LCA of ethanol for formulation of more specific and precise parameters linked to product and activity management. Through the Questel-Orbit and SciVerse Scopus database the search strategy was focused on ethanol and hydrated / wet ethanol. The research data totaled 1,201 patent documents, 988 in the bibliographic database for ACV of ethanol and 34 records for ethanol hydrated and moist ACV. The evolution and state of the art demonstrate the development of the environmental axis in the design and improvement of ethanol in the market, as well as research concerning the application of new degrees of hydration of the fuel, emerges as a technology with great interest linked to alternative energy resource, opportunity to improve operating system, minimization of environmental impact and the creation of new possibilities for agriculture. And the LCA technique proves to be a versatile tool for management.

**Keywords:** State of the art, sustainable development, energy resource.

## **1 INTRODUÇÃO**

Os biocombustíveis são exemplos de recursos energéticos que vem ganhando cada vez maior representatividade na matriz mundial e nacional, em função de incentivos a renovação de recursos, a mitigação de impactos ambientais, a segurança energética e o desenvolvimento da agricultura.

O panorama energético nacional é composto por quatro biocombustíveis – biodiesel, álcool etílico, álcool etílico anidro e álcool etílico hidratado – onde os três últimos são produtos diretos da cana-de-açúcar que somados representam um total de aproximadamente 28,5 bilhões de litros do combustível, enquadrando o Brasil como responsável por 30% da produção mundial de etanol (BEN, 2015). Essa notabilidade de mercado correlacionada aos mecanismos de desenvolvimento limpo e/ou sustentável imputa responsabilidade social, econômica e ambiental às práticas de produção agrícola, processamento industrial, distribuição, uso final, introdução e expansão da aplicação do etanol.

A compreensão de todos os aspectos e potenciais impactos vinculados ao ciclo de vida do etanol fornece informações importantes para a gestão deste produto nos eixos do desenvolvimento sustentável. Entre as ferramentas disponíveis para essa logística de análise de produto e/ou processo o método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma alternativa que permite determinar os potenciais impactos atrelados a uma determinada atividade, através do inventário das intervenções associadas (ABNT, 2011).

Porém, a formulação de indicadores qualitativos e quantitativos para a criação ou o aperfeiçoamento de uma técnica de avaliação envolve o conhecimento das tecnologias existentes, bem como o estado da arte destas. As pesquisas de prospecção tecnológica têm como propósito mapear de forma sistemática o desenvolvimento técnico e científico envolvidos na pesquisa, no aperfeiçoamento e na inovação com o intuito de auxiliar na tomada de decisão, por gerar dados pertinentes a conhecimento tático de mercado, perspectivas e relevância.

Nesse contexto, a prospecção tecnológica vem de encontro a fornecer informações atualizadas sobre o estado da técnica de ACV para estudos vinculados a aspectos e impactos no ciclo de vida do etanol, por meio de documentos de patentes e bases de pesquisas científicas com o objetivo de compreender os parâmetros atrelados à gestão do produto e da atividade.

## **2 METODOLOGIA**

Considerando o encadeamento da importância do etanol na matriz energética ao desenvolvimento sustentável, este estudo constituiu-se em um levantamento do estado da arte tecnológica e científica da ferramenta ACV no âmbito do biocombustível etanol. Através da base de dados Questel-Orbit a investigação foi delimitada ao produto etanol, e para a base SciVerse Scopus delineou-se a estratégia de busca direcionada a etanol e etanol hidratado e úmido.

À vista disso, estruturou-se um modelo de pesquisa que compreendeu palavras-chaves e operadores booleanos conforme a base de dados, que se encontram descritos na Tabela 1. O levantamento de dados de patentes foi realizado em quatro de junho/2016 e os dados bibliográficos em vinte e dois de junho/2017.

Tabela 1 - Estratégia de busca por bases de dados

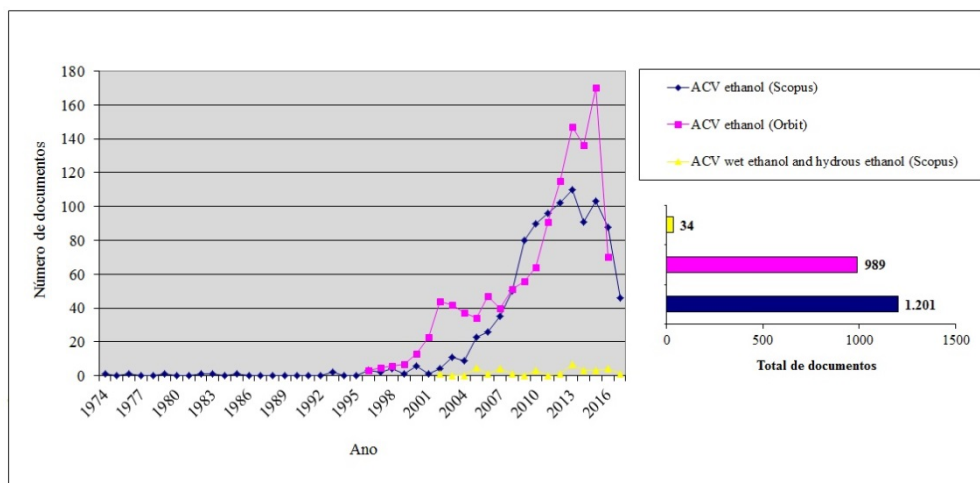
Estratégia de busca	
ACV Etanol (Questel-Orbit)	(((life D cycle) OR life?cycle) 3D (analysis OR assessment OR monitor+ OR investigation OR estimate OR determination OR estimation OR valuation OR rating OR purchase)) AND (ethanol))
ACV Etanol (SciVerse Scopus)	TITLE-ABS-KEY (((life of cycle) AND (analysis OR assessment OR monitoring OR investigation OR estimate OR determination OR estimation OR valuation OR rating OR purchase)) AND ethanol)
ACV Etanol hidratado e úmido (SciVerse Scopus)	TITLE-ABS-KEY (((life of cycle) AND (analysis OR assessment OR monitoring OR investigation OR estimate OR determination OR estimation OR valuation OR rating OR purchase)) AND ((hydrous and ethanol) OR (wet and ethanol)))

Fonte: autores.

### 3 RESULTADOS

A Figura 1 demonstra a evolução e o estado da técnica nos dois bancos de dados, *Questel-Orbit* e *SciVerse Scopus*, a partir da análise constata-se um delineamento similar progressivo seguido de um decréscimo entre os depósitos de patentes e documentos bibliográficos referentes a ACV do etanol entre 1996 e 2016. E em 2002 o início de pesquisas do biocombustível com diferentes proporções de volume de etanol / volume de água que o convencional álcool etílico, álcool etílico anidro e álcool etílico hidratado.

Figura 1 - Delineamento anual de publicações



Fonte: autores.

Com base em avaliação comparativa do comportamento das três curvas o desempenho do eixo ambiental na concepção e no aprimoramento do etanol no mercado, bem como pesquisas referentes à aplicação de novos graus de hidratação do combustível, desponta como uma tecnologia com grande interesse vinculado a recurso energético alternativo, oportunidade de otimizar sistema operacional e criação de novas possibilidades para a agricultura.

Segundo Filho, Saccaro Junior e Luedemann (2016), em vários países a ACV é adotada em políticas públicas – por exemplo, na Alemanha, ela guia as cotas obrigatórias de reuso e reciclagem; no México, no Peru e no Chile, seu uso é obrigatório na legislação de biocombustíveis.

Brondani (2014) e Ometto (2009) empregaram a técnica de ACV na produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil, com fronteira de sistema *well-to-tank* (berço ao tanque) e *well-to-wheel* (berço ao tûmulo), respectivamente. A análise global comparativa do processo considerando todos os *inputs* e *outputs* demonstrou o setor agrícola como o de maior potencial de impacto ambiental, principalmente em consequência da utilização de fertilizantes, herbicidas e a utilização de diesel nas máquinas agrícolas para preparo do solo, tratos culturais e colheita.

Fagundez (2017) avaliou a eficiência energética do etanol com cinco graduações de hidratação diferentes na faixa de 95 a 60 v/v de etanol em motor de ignição por centelha, os resultados obtidos na destilação indicaram vantagens em produzir combustível de etanol com misturas de combustível contendo acima de 10% v / v de água, e operação estável do motor em todos os testes realizados.

Kun-Balog *et al.* (2017) comparou as emissões poluentes de seis níveis de hidratação de etanol na faixa de 96 a 50 v/v de etanol em forma líquida e gasosa utilizando como referência o óleo diesel. A combustão de Et50 sobre Et96 reduziu 90% de emissão de NOX e as emissões de CO e THC tornaram-se notáveis apenas em Et60 e Et50.

### 3.1 Base de documentos de patentes

Estabelecendo o sistema de Classificação Internacional de Patentes (IPC), delineou-se a classificação em subclasses, grupos e subgrupos predominantes. As subclasses com maior representatividade são pertencentes à classe G06 sobre Informática; Cálculo; Contagem, sendo a G06Q (Sistemas ou métodos de processamento de dados, especialmente adaptados para propósitos administrativos, comerciais, financeiros, de gerenciamento, supervisão ou predição) e a G06F (Processamento elétrico de dados digitais). Três grupos – *G06Q 10* (Administração e gestão), *G06Q 50* (Sistemas ou métodos especialmente adaptados para um sector específico), *G06F 17* (Equipamento de computação ou processamento de dados digital ou métodos, especialmente adaptados para funções administrativa, comercial, financeira, de gestão, de fiscalização) – são responsáveis por 39,8 % dos depósitos, considerando os cinquenta grupos mais relevantes, com 497 documentos. Os subgrupos mais significativos representam 55,9 % do total analisado, com 743 documentos, destacando-se o subgrupo G06Q 10/00 (Administração e gestão) com 115 documentos de patentes.

Os países detentores do desenvolvimento e modelagem do algoritmo de ACV do biocombustível considerando depósitos de documentos de patente nacionais e internacionais são a China (399 depósitos), os Estados Unidos (371 depósitos), o Japão (191 depósitos) e a Espanha (146 depósitos). O Brasil ocupa a décima quarta colocação com um total de 10 depósitos de documentos de patentes, todos internacionais.

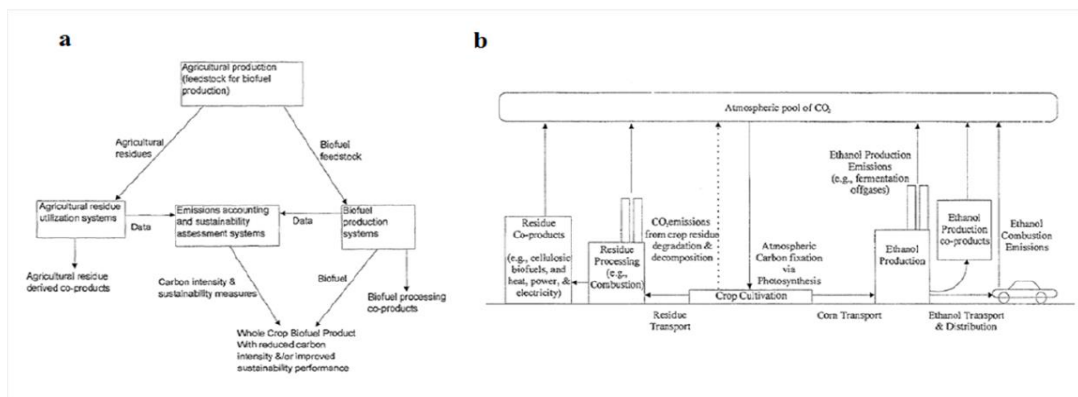
As empresas com maior desenvolvimento do tema em ordem decrescente são de nacionalidade japonesa, americana e chinesa. Quanto à origem do documento de patente, o ramo que predomina percentualmente em função da atividade é o empresarial, destacando-se a japonesa HITACHI e a americana IBM, com 17 documentos cada. Contudo, é a estatal energética SGCC que sobressai na quantificação de documentos de patentes, com 29 depósitos A americana, US 2014/0351153 A 1, intitulada *Racking, accounting, and reporting machine*, com classificação CPC G06Q 30/018, relata o método de acompanhamento, representação e contabilização do fluxo de carbono (CO<sub>2</sub>) para os sistemas de produção de combustível considerando quatro componentes: (i) produção agrícola; (ii) a produção de combustíveis; (iii) utilização agrícola do resíduo; e contabilidade de gás com potencial efeito estufa (iv). Empregando o padrão Intensidade de Carbono (IC) como medida de emissões líquidas de gases de efeito estufa em todo o ciclo de vida do biocombustível. A Figura 2 explana o fluxo dos quatro componentes considerado pela inventão e o modelo aplicado a etanol, nessa ordem.

### 3.2 Base de documentos científicos

Os dados de investigação bibliográfica para ACV de etanol totalizou 988 documentos e ACV etanol hidratado e úmido 34 registros, com predomínio de artigos científicos como fonte de informação referente às duas pesquisas, com 730 e 19 documentos, respectivamente.

As áreas com maior concentração de publicações correlacionadas às estratégias de pesquisa são a *Environmental Science* seguida pela *Energy*. Os principais veículos de divulgação com maior representatividade para ACV do etanol são o *Journal Of Cleaner Production* (52 doc.) e o *International Journal Of Life Cycle Assessment* (51 doc.), para ACV de etanol hidratado e úmido a *Biomass And Bioenergy* (3 doc.) e a *SAE Technical Papers* (3doc.). Considerando a soma de todos os tipos de publicações das duas linhas de estudo (ACV etanol e ACV etanol hidratado e úmido) a origem das pesquisas aponta os Estados Unidos (385 doc.), a China (88 doc.), o Reino Unido (78 doc.) e o Brasil (76 doc.) como os principais pesquisadores dos impactos ambientais vinculados ao ciclo de vida do etanol.

Figura 2 - Os componentes considerados (a) e modelo aplicado ao biocombustível etanol (b)



Fonte: Adaptado de US 2014/0351153 A1.

## CONCLUSÃO

O levantamento de informações nas bases de dados utilizadas demonstra a crescente relevância da responsabilidade ambiental vinculada à produção, invenção e / ou aperfeiçoamento do etanol como recurso energético alternativo, em função da necessidade de uma gestão sustentável. E a técnica de ACV se revela uma ferramenta versátil à gestão, em virtude da aferição de potenciais impactos e do auxílio no desenvolvimento de melhorias, no planejamento estratégico e formulação de políticas públicas.

Além disso, a concepção e o emprego de modelos matemáticos como a ACV para quantificar e qualificar os aspectos ambientais e respectivos impactos ambientais restringe a incerteza na tomada de decisões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. ABNT. 2011. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-14.040-Gest%C3%A3o-Ambiental-avaliac%C3%A3o-do-ciclo-de-vida-principios-e-estrutura.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório de 2015: Ano base 2014**. Empresa de Pesquisa Energética EPE. Rio de Janeiro. 2015. Disponível em:<[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2017.

BRONDANI, Michel. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da produção de bioetanol hidratado em pequena escala: abrangência agrícola e industrial**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Eng. De Processos da Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. Santa Maria: 2014. Disponível em:<[http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=6670](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=6670)>. Acesso em: 24 jun. 2017.

EUROPEAN PATENT OFFICE. **Espacenet Patent Search**. Disponível em:<<https://worldwide.espacenet.com/>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

FAGUNDEZ, J. L. S. et al. **Determination of optimal wet ethanol composition as a fuel in spark ignition engine**. Revista Applied Thermal Engineering, ed. 112, pg. 317–325. 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1359431116324309>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

FILHO, Osmar Coelho; SACCARO JUNIOR, Nilo L.; LUEDEMANN, Gustavo. **A Avaliação de Ciclo de Vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil**. Ipea: 2016. Disponível em:<[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6685/1/td\\_2205.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6685/1/td_2205.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2017.

KUN-BALOG, Attila; SZTANKÓ, Krisztián; JÓZSA, Viktor. **Pollutant emission of gaseous and liquid aqueous bioethanol combustion in swirl burners**. Revista Energy Conversion and Management. 2017. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0196890417302753>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

OMETTO, Aldo R.. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da produção de bioetanol hidratado em pequena escala: abrangência agrícola e industrial**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Eng. De Processos da Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. Santa Maria: 2014. Disponível em:<[http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=6670](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=6670)>. Acesso em: 24 jun. 2017.