



ESTUDO DOS IMPACTOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO ÁLCOOL COM O SOFTWARE UMBERTO FOR CARBON FOOTPRINT®

Joabe Vieira Andrade Souza (UESC) -joabe.vas@gmail.com

Felipe Vieira Camargo (UESC) -fe_vieirac@hotmail.com

Resumo:

Este artigo tem por finalidade analisar do ciclo de vida (ACV) do produto, utilizando um software denominado de Umberto, que tem como objetivo fornecer um cálculo simples das emissões de gases de efeito estufa, o mesmo permite identificar os produtos de saídas com maior emissão de CO₂ e conseqüentemente suas fases no processamento, possibilitando então, a utilizar as melhores técnicas e métodos a fim de prever, controlar e diminuir as emissões nos processos de maior impacto. O software irá também avaliar o processo produtivo de um determinado produto, nesse artigo, será avaliado a cana de açúcar, demonstrando todas as fases do processo que impactam o meio ambiente, facilitando o gerenciamento ambiental de uma determinada empresa. A cana de açúcar, será a matéria prima utilizada na produção do álcool, analisando toda a sua cadeia produtiva desde a lavagem até o produto final.

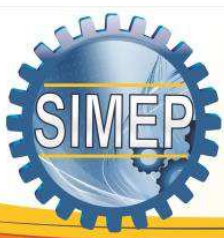
Palavras Chave:

Software Umberto for carbon footprint®; Ciclo de vida; Pegada de carbono

1. Introdução

Neste presente artigo, será feita uma análise da cadeia produtiva do álcool desde a lavagem cana-de-açúcar ao produto final o álcool ensacado que é o produto a ser estudado e devido à preocupação com a exaustão dos recursos naturais e a emissão de gases de efeito estufa, foi utilizado uma análise do ciclo de vida (ACV), análise que surgiu para as empresas como um método de avaliação do processo produtivo de um determinado produto demonstrando todas as fases do seu processo que impactam o meio ambiente, esta análise facilita o gerenciamento ambiental de uma empresa visto que sistematizam as questões do sistema produtivo, melhora a compreensão do processo logo facilitando a identificação de prioridades para tomada de decisão.





Com a identificação das principais etapas de maior impacto ao meio ambiente, que neste trabalho é na água proveniente da lavagem da cana, na evaporação e no produto final, é possível calcular a pegada de carbono utilizando o software Umberto que tem como objetivo fornecer um cálculo simples das emissões de gases de efeito estufa. O software também permite, identificar os produtos de saídas com maior emissão de CO₂ e conseqüentemente suas fases de processamento podendo então utilizar de melhores técnicas e métodos a fim de prever, controlar e diminuir as emissões de gases nos processos de maior impacto. Segundo a empresa Suzano Papel e Celulose o cálculo da pegada de carbono auxilia na gestão de carbono na empresa ajudando a reduzir a emissão das mesmas logo aumentando a eficiência energética e reduzindo custos ao longo da cadeia produtiva, essa redução de emissão de gases de efeito estufa significa para empresa um melhor relacionamento com fornecedores elevando a reputação da marca da mesma propiciando ganho de mercado.

A preocupação da sociedade ao meio ambiente tem crescido devido aos danos sofrido ao meio ambiente, prejudicando a qualidade de vida desta e das futuras gerações, portanto é de suma importância a preocupação das empresas com o meio ambiente visto que são considerados como os maiores poluentes. Uma forma de redução de gases de efeito estufa é nas indústrias de automóvel, a substituição da gasolina pelo álcool seria uma forma de reduzir em 89% a emissão de gases. Portanto é mais vantajosa a utilização de biocombustíveis como o álcool.

2. Referencial Teórico

2.1. Análise do ciclo de vida

Todo produto causa de alguma forma um impacto sobre o meio ambiente. Esse impacto pode ocorrer durante a extração das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação do produto, no próprio processo produtivo, na sua distribuição, no seu uso, ou na sua disposição final.

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo as etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo até a disposição do produto final.

Apesar do termo análise do ciclo de vida, ACV é basicamente um diagnóstico de dados que irá avaliar o fluxo de materiais e de energia usados no sistema da fabricação do produto ou



serviço. Segundo Vigon et al. (1993) a ACV irá fazer um levantamento dos danos ambientais, desde a aquisição da matéria prima até o descarte do produto

Fava et al. (1991) definem o ICV (Inventário de Ciclo de Vida) como um procedimento que quantifica o uso de energia e matéria prima necessária, emissões, efluentes, detritos e outras considerações ambientais do ciclo de vida. Desta forma, o Inventário do Ciclo de Vida é uma Análise do Ciclo de Vida, sem abordar características ambientais em termos de impacto ambiental.

2.2. Pegada de carbono

Segundo a ACV Brasil, a pegada de carbono tem como objetivo fornecer um cálculo simples das emissões de gases de efeito estufa, relacionadas com o clima, associados a fabricação e utilização de um produto ou serviço. A pegada de carbono pode ser dividida em PCF e CCF.

O Produto Carbon Footprint (PCF) mostra as quantidades de gases de efeito estufa gerados por um produto ao longo de toda sua vida útil.

Pegadas de Carbono Corporativa (CCF) pode servir como um parâmetro para medir os efeitos ambientais das emissões de gases de efeito estufa de uma empresa.

2.3. Gases do efeito estufa (GEE)

Segundo o Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa o clima do planeta Terra é regulado por diversos elementos quem envolvam o fluxo de energia solar, a atmosfera a superfície da terra. Uma porcentagem da radiação solar é mandada de volta através de raios infravermelhos. Os gases de efeito estufa ficam na atmosfera e bloqueiam parte dessa radiação. Diversos gases tem sua existência de forma natural, como o vapor d'água, dióxido de carbono (CO₂), Ozônio (O₃), entre outros, e são imprescindíveis para a conservação da vida no planeta Terra.

Com a intervenção do homem, houve aumento na concentração de gases naturais que podem ser nocivos a saúde humana, dentre eles o metano e o dióxido de carbono. Além disso houve o adendo de outros compostos químicos, que são de exclusividade produtiva do ser humano, tais como clorofluorcarbonos (CFC), hidrofluorcarbonos (HFC), hidrofluorclorocarbonos (HCFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆), que foram incorporados na atmosfera terrestre.

2.4. Mercado do etanol

O mercado do etanol está em expansão e a tendência é que continue crescendo segunda a União da Indústria da Cana-de-Açúcar. O momento favorável ao aumento das exportações do açúcar, resultando no início de uma onda de crescimento favorável ao setor sucroalcooleiro que atualmente possui um Produto Interno Bruto setorial de U\$ 48 bilhões.

Segundo o Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e Comércio (2011), as projeções de crescimento do consumo interno de etanol devem estar próximas de 25 bilhões de litros até 2013, e uma oferta total de etanol próxima a 30 bilhões de litros para 2015, já agregado o volume previsto para exportação.

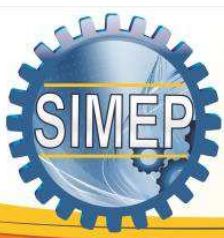
O setor sucroalcooleiro é um dos mais antigos e um dos mais tradicionais no Brasil. O etanol, que sempre fora considerado um subproduto do açúcar, passou a desempenhar um importante papel na economia brasileira e, diante do sucesso da iniciativa, deixou de ser encarado apenas como resposta a uma crise temporária, como ocorreu na década de 1970, mas sim uma solução permanente, como alternativa de produzir combustível ainda sob o alerta mundial em relação ao risco da suficiência das reservas petrolíferas.

A indústria da cana tornou-se a segunda fonte de energia do País (17% da matriz), atrás do petróleo (37%) e acima da hidroeletricidade (13%). O setor sucroalcooleiro emprega cerca de 1 milhão de pessoas, das quais 511.000 trabalham na produção agrária, principalmente no corte de cana, visto que cerca de 80% da safra brasileira é manual (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2011).

3. Metodologia

Este trabalho caracteriza-se por ser uma revisão bibliográfica, o qual se deseja adquirir conhecimentos sobre a produção do álcool a partir da cana de açúcar e analisar a Pegada de Carbono deste processo, baseando em se dados obtidos na literatura, já que não houve pesquisa de campo. Será analisado também toda a cadeia produtiva do álcool, seu ciclo de vida e calcular todos os riscos causados ao meio ambiente, utilizando o software Umberto for Carbon Footprint® para auxiliar e calcular de forma mais precisa a Pegada de Carbono, podendo obter dados mais específicos da quantidade de gases que são despojados no meio ambiente na produção deste álcool. Essa Pegada de Carbono é calculada de forma transparente e compreensível, facilitando sua análise e discussões sobre o assunto.

3.1. Umberto For Carbon Footprint®



Umberto for Carbon Footprint® é um software acessível para modelar, calcular e analisar as pegadas de carbono de produtos e empresas. Esse software permite rapidamente e facilmente calcular a pegada de carbono do processo produtivo de determinado produto. Versões do produto e os cenários podem ser facilmente comparados com relação ao seu potencial de aquecimento global, adaptando o modelo a ser usado. Isso permite, por exemplo, determinar a pegada de carbono de um produto se fossem usadas fibras a partir de recursos renováveis ao invés de apenas materiais sintéticos, ou como a Pegada de Carbono muda, se menos energia é consumida na utilização do produto, devido a um menor peso praticado.

Para poder analisar os dados, os usuários criam o modelo de ciclo de vida do produto com as seguintes fases:

- Matéria- prima;
- Fabricação;
- Distribuição / vendas;
- Utilização;
- Disposição / reciclagem.

O software conta com um banco de dados abrangente de aproximadamente 3000 materiais, porém novos materiais podem ser adicionados pelo usuário. A pegada de carbono do produto para uma unidade do produto investigado é calculado automaticamente, de forma transparente e compreensível. Isto permite que seja feita uma análise detalhada das emissões de carbono nas fases individuais do ciclo de vida do produto. Todos os cálculos podem ser apresentados em formato tabular e em gráficos.

4. Processo produtivo

O processo produtivo do etanol a partir da cana de açúcar segue as etapas descritas abaixo, porém no cálculo da pegada de carbono os processos de Corte da Cana e Transporte não foram contabilizados. A partir do processo de Lavagem e Moagem é que o cálculo de carbono começa a ser feito.

No primeiro momento é feito um levantamento topográfico e avaliação da degradação que venha ocorrer com as safras, posteriormente é feito o plantio, podendo ser de forma manual ou mecânica, compreendendo em três etapas principais, sendo elas o corte de mudas, distribuição no sulco e cobertura.





O planejamento e controle dos canaviais devem ser feito implementando um programa de corte baseado na maturação da cana, de forma que seja possível áreas de cortes em momentos diferentes, permitindo melhor manejo. A maior parte do corte é feito por colhedadeiras, geralmente fazendo com que o corte manual seja necessário apenas em terrenos acidentados, onde as colhedadeiras não fazem um trabalho eficiente.

Depois de cortada e transportada por caminhões para a Usina, à cana-de-açúcar é enviada para a moagem, onde se inicia o processo de fabricação do açúcar e do álcool.

No processo de moagem, a cana é pesada, e posteriormente retirada uma amostra para auferir a quantidade de açúcar presente. Feito isso, começa o processo de limpeza da mesma. Assim, segundo PAYNE (1989):

- a) Efetua-se um processo de tratamento inicial para facilitar a limpeza;
- b) Impurezas são retiradas através de um banho hidráulico;
- c) Lavagem da cana com grande fluxo de água;
- d) Remoção de impurezas fibrosas como folhas e raízes com auxílio de rolos.

A cana colhida vai para o picador, que tem como objetivo facilitar a retirada de caldo e moagem.

Segundo ALCARDE (2007) o caldo é retirado pelo processo de separação do bagaço. Este desmembramento pode ser obtido pela moagem, onde é feito através de rolos compressores da moenda sobre a cana desfibrada e acréscimo de água posteriormente, ou através da difusão, a separação é feita por um fluxo de água que vai de encontro a cana já desintegrada.

Com a extração feita ocorre o tratamento, que segundo ANDRADE e CASTRO (2006), serve para remover algumas impurezas. O caldo obtido é peneirado e posteriormente vai para um banho químico, onde impurezas serão precipitadas e o pH do caldo modificado.

São cinco as etapas para o processo de clarificação do caldo da cana:

- a) Calgem – Cal virgem (CaO): Utilizado para limpeza e clarificação do caldo.
- b) Sulfitação - Anidrido sulfuroso (SO₂): Diminui o pH e viscosidade do caldo. Formação de complexos com os açúcares redutores, preservação e defesa contra alguns microorganismos que podem amarelar o açúcar.





- c) Fosfatação - Ácido fosfórico (P_2O_5): Auxilia na remoção de materiais corantes e parte dos colóides do caldo;
- d) Carbonatação (uso de anidrido carbônico (CO_2)): completa a clarificação;
- e) Uso de óxido de magnésio: Remove impurezas sem afetar o teor de sacarose.

Depois, o caldo é resfriado para $30^\circ C$ e levado para fermentação.

Segundo ANDRADE e CASTRO (2006) a evaporação é feita para concentrar o xarope. Cerca de 80% da água existente no caldo é evaporada. Então segundo CASTRO (2001), o xarope obtido vai para os cozedores, onde irá receber jatos de vapor para que se transforme e tenha uma consistência mais viscosa como o mel. Assim, formam-se os cristais de açúcar, dando mais corpo a massa cozida, que posteriormente é levada para os cristalizadores, onde é alcançada a cristalização do açúcar. Os cristalizadores fazem com que o açúcar contido no líquido viscoso se misture aos cristais, enquanto ocorre resfriamento do processo. Feita a cristalização, a massa obtida é centrifugada, então o melaço dos cristais de açúcar são levados para a fermentação.

Segundo LOPES (2009), o melaço é diluído em água pra ter concentração entre 18° a 22° brix, formando então o mostro, que deve ter o pH levemente ácido, entre 4,5 e 5, aquecido a $100^\circ C$ para retirar impurezas.

Segundo ALCARDE (2007) na fermentação são adicionados alguns microrganismos, geralmente levedos do gênero *Saccharomyces cerevisiae*, que irão modificar o mosto, transformando-o gás carbônico formando em álcool.

A fermentação ocorre em três etapas, segundo LOPES (2009):

- Fermentação preliminar: O fermento é adicionado inicialmente e o processo acaba quando começa haver desprendimento de gás carbônico.
- Fermentação Principal: Ocorre após a fermentação preliminar, o desprendimento vai aumentando cada vez mais em um processo exotérmico, sendo necessário controlar essa reação com o resfriamento.
- Fermentação Complementar: Acontece redução do desprendimento de CO_2 e da temperatura do mosto. O brix é manipulado para atingir um resultado entre 3° à 8° , favorecendo a destilação.



Com a conclusão da fermentação, inicia-se o processo de destilação, no qual o etanol está junto ao vinho fermentado, e a função dessa etapa é recupera-lo dessa mistura.

Nesse processo o líquido é aquecido até evaporar. Posterior, o líquido é condensado, sendo separado o vinho do etanol, ficando pronto o álcool hidratado, com grau alcoólico em cerca de 96%.

Por fim a desidratação do álcool hidratado é feita retirando a água restante contida, fazendo assim o álcool anidro

O processo produtivo do álcool gera resíduo, na sua maioria reaproveitável. As empresas do ramo, estão se esforçando para reaproveitar esses resíduos com a finalidade de aumentar a produtividade e gerar vantagem competitiva. Resíduos como bagaço, pontas e folhas, e vinhaça podem ser utilizados como fonte de energia elétrica e calor, sendo empregada também na ração animal, fabricação de papel, fabricação de elementos estruturais, e hidrolise para produção de álcool. Existem estudos no sentido da produção de etanol a partir da hidrolise do bagaço, sendo futuramente uma oportunidade de tratamento de resíduo, e um aproveitamento econômico.

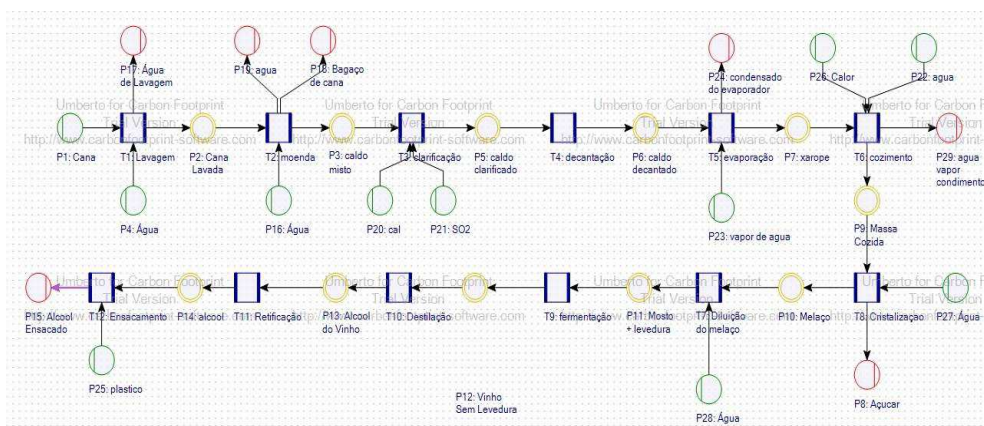
Vinhaça trata-se de um resíduo líquido da destilação que ocorre durante o processo, sendo rico em potássio, um nutriente importante para a adubação da cana-de-açúcar. A vinhaça é aplicada para fertirrigação, uma técnica de adubação que utiliza a água de irrigação para levar nutrientes ao solo.

5. Resultados e discussões

Utilizando o software Umberto® e os conhecimentos adquiridos na literatura, com fontes de pesquisas e estudos, foi possível modelar o fluxograma com todas as etapas de processamento da cana de açúcar e com todas as entradas e saídas dos respectivos processos, para chegar ao produto final, o álcool ensacado.

Para poder modelar o programa foi necessário criar alguns insumos e subprodutos não existentes na biblioteca do programa, alguns valores de entradas e saídas não encontrados na literatura tiveram que ser manipulados ou desconsiderados e sujeitos a diversos testes, em relação as quantidades, para saber qual a real influência de cada insumo ou subproduto para o processo e o cálculo da pegada de carbono, considerando os de maiores relevâncias.

Figura 1: Fluxograma do processo produtivo da cana de açúcar.



Fonte: Autoria própria

Através de pesquisas, foi possível identificar valores de entradas e saídas de cada processo, como identificam as figuras 2 e 3.

Figura 2 - Tabela de material de entrada de cada processo.

Processos	Material de entrada	Valores de entrada	Kg CO ₂ -eq
Lavagem	Cana	1000 kg	0,02
	Água da lavagem	5000 kg	3,19E-04
Moenda	Cana lavada	1000kg	0,02
	Água da moenda	1000kg	3,19E-04
Clarificação	Cal	10kg	0,60
	SO ₂	10kg	0,42
	Caldo misto	730 kg	-
Decantação	Caldo clarificado	750kg	-
	Caldo decantado	750kg	-
Evaporação	Vapor de Água	20kg	3,19E-04
Cozimento	Calor de gás natural	1,3 MJ	0,06
	Xarope	250 kg	0,29
	Água	340 kg	3,19E-04
Cristalização	Massa cozida	180 kg	-
	Água	20 kg	3,19E-04
Diluição	Melaço	190 kg	0,29
	Água	50 kg	3,19E-04
Fermentação	Mosto + levedura	240 kg	1,04
Destilação	Vinho sem levedura	240 kg	0,43
Retificação	Álcool do vinho	240kg	0,41
Ensacamento	Álcool (etanol)	240 kg	0,41
	Plástico (polipropileno)	2,4 kg	1,90

Fonte: Autoria própria

Figura 3 - Tabela de material de saída de cada processo.

Processos	Material de saída	Valores de saída	Kg CO ₂ -eq
Lavagem	Água de lavagem	5000 kg	3,19E-04
	Cana lavada	1000kg	0,2
Moenda	Água	1000 kg	3,19E-04
	Baraço de cana	270 kg	0,1
	Caldo misto	730 kg	-
Clarificação	Caldo clarificado	750 kg	-
Decantação	Caldo decantado	750 kg	-
Evaporação	Condensados de vapor	520 kg	-
	Xarope	250 kg	0,29
Cozimento	Água, vapor_e condimentos	410 kg	-
	Massa cozida	180 kg	-
Cristalização	Açúcar	10 kg	0,20
	Melaço	190 kg	0,29
Diluição	Mosto + levedura	240 kg	1,04
Fermentação	Vinho sem levedura	240 kg	0,43
Destilação	Álcool do vinho	240kg	0,41
Retificação	Alcool (etanol)	240kg	0,41
Ensacamento	Álcool ensacado	240 kg	-

Fonte: Autoria própria

A figura 4, retirada da biblioteca do programa, permite uma melhor análise dos insumos de entrada e saída e seus respectivos valores, pode-se perceber que para todos valores de entrada há um mesmo valor de saída. O total dos valores de entrada é igual a 7,452 kg, e os valores de saída são de igual valor, 7,452 kg.

Figura 4 - Entrada e saída de insumos do processo.

Process	Material Group	M	Material	Quantity	Unit
T6: cozime	ecoinvent 2.2	▲	electricity, bagasse, suga	0,36	kVh
T3: clarifica	ecoinvent 2.2	▲	lime mortar, at plant [CH]	10,00	kg
T12: Ensac	ecoinvent 2.2	▲	polypropylene, granulate,	2,40	kg
T1: Lavage	ecoinvent 2.2	▲	sugarcane, at farm [BR]	1.000,0	kg
T3: clarifica	ecoinvent 2.2	▲	sulphur dioxide, liquid, at	10,00	kg
T1: Lavage	ecoinvent 2.2	▲	tap water, at user [RER]	5.000,0	kg
T7: Diluicã	ecoinvent 2.2	▲	tap water, at user [RER]	50,00	kg
T8: Cristali	ecoinvent 2.2	▲	tap water, at user [RER]	20,00	kg
T2: moend	ecoinvent 2.2	▲	tap water, at user [RER]	1.000,0	kg
T6: cozime	ecoinvent 2.2	▲	tap water, at user [RER]	340,00	kg
T5: evapor	Material Group	▲	vapor de agua	20,00	kg
Sums:				7.452,...	kg
				1,30	MJ

Process	Material Group	M	Material	Quantity	Unit
T12: Ensac	ecoinvent 2.2	▲	alcool ensacado	242,40	kg
T2: moend	ecoinvent 2.2	▲	bagasse, from sugarcane	270,00	kg
T8: Cristali	ecoinvent 2.2	▲	sugar, from sugarcane, a	10,00	kg
T1: Lavage	ecoinvent 2.2	▲	tap water, at user [RER]	5.000,0	kg
T2: moend	ecoinvent 2.2	▲	tap water, at user [RER]	1.000,0	kg
T6: cozime	Material Group	▲	agua vapor e condimento	410,00	kg
T5: evapor	Material Group	▲	condensado de vapor	520,00	kg
Sum:				7.452,...	kg

Fonte: Printscreen da tela do programa Umberto Carbon Foot Print ©

Após inseridos insumos e seus dados no software, é possível fazer o cálculo da pegada de cabano para o produto final, e todos os processos de saída. O programa disponibiliza os dados de entrada e saída de cada processo, demonstrados na figura 4, disponibiliza também uma tabela com cálculo de pegada de carbono para cada processo, demonstrados na figura 5, e um

gráfico com o cálculo da pegada de carbono de cada processo, demonstrado na figura 8, que permite melhor identificar e comparas os valores de cada processo.

Figura 5: Saídas e respectivos cálculos para pegada de carbono.

Phase	Quantity	Unit
Product: alcool ensacado [A26 (T12 -> P15)] (242,40 kg): 5,92 kg CO2-eq.		
Other	5,92	kg CO2-eq.
Product: sugar, from sugarcane, at sugar refinery [BR] [A13 (T8 -> P8)] (10,00 kg): 0,06 kg CO2-eq.		
Other	0,06	kg CO2-eq.
Product: agua vapor e condimentos [A34 (T6 -> P29)] (410,00 kg): 2,73 kg CO2-eq.		
Other	2,73	kg CO2-eq.
Product: condensado de vapor [A37 (T5 -> P24)] (520,00 kg): 7,94 kg CO2-eq.		
Other	7,94	kg CO2-eq.
Product: tap water, at user [RER] [A30 (T2 -> P19)] (1.000,00 kg): 2,13 kg CO2-eq.		
Other	2,13	kg CO2-eq.
Product: tap water, at user [RER] [A28 (T1 -> P17)] (5.000,00 kg): 19,72 kg CO2-eq.		
Other	19,72	kg CO2-eq.
Product: bagasse, from sugarcane, at sugar refinery [BR] [A29 (T2 -> P18)] (270,00 kg): 0,58 kg CO2-eq.		
Other	0,58	kg CO2-eq.
Sum:	39,08	kg CO2-eq.

Fonte: Printscreen da tela do programa Umberto Carbon Foot Print.

A tabela apresentada pelo programa, demonstrado na figura 5 apresenta o cálculo da pegada de carbono, mostrando que no processo da cadeia da cana de açúcar, para obter o álcool ensacado como produto final, existem sete processos onde ocorre o cálculo da pegada de carbono, pois existem 7 processos de saída, logo para cada saída há um cálculo para pegada de carbono assim como o cálculo para o produto final.

Ainda com a tabela, é possível identificarmos insumos e produtos de saída com seus valores calculados pela pegada de carbono, sendo eles:

- Água de lavagem;
- Condensado de evaporado;
- Álcool ensacado;
- Água, vapor e condimentos;
- Agua de moagem;
- Bagaço da cana;
- Açúcar.

Figura 6 - Relação pegada de carbono dos insumos 1.

Product: alcool ensacado [A26 (T12 -> P15)] (242,40 kg): 5,92 kg CO2-eq.			
Phase: Other: 5,92 kg CO2-eq.			
Type: Indirect Emissions of Resources and Energy Consumption: 5,92 kg CO2-eq.			
T12: Ensacamento	▲	polypropylene, granulate, at	4,76 kg CO2-eq.
T8: Cristalização	▲	tap water, at user [RER]	6,05E-03 kg CO2-eq.
T7: Diluição do melão	▲	tap water, at user [RER]	0,02 kg CO2-eq.
T6: cozimento	▲	electricity, bagasse, sugarca	1,88E-03 kg CO2-eq.
T6: cozimento	▲	tap water, at user [RER]	0,03 kg CO2-eq.
T3: clarificação	▲	sulphur dioxide, liquid, at pla	0,39 kg CO2-eq.
T3: clarificação	▲	lime mortar, at plant [CH]	0,57 kg CO2-eq.
T2: moenda	▲	tap water, at user [RER]	0,01 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	tap water, at user [RER]	9,12E-03 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	sugarcane, at farm [BR]	0,13 kg CO2-eq.
Product: sugar, from sugarcane, at sugar refinery [BR] [A13 (T8 -> P8)] (10,00 kg): 0,06 kg CO2-eq.			
Product: agua vapor e condimentos [A34 (T6 -> P29)] (410,00 kg): 2,73 kg CO2-eq.			
Phase: Other: 2,73 kg CO2-eq.			
Product: condensado de vapor [A37 (T5 -> P24)] (520,00 kg): 7,94 kg CO2-eq.			
Phase: Other: 7,94 kg CO2-eq.			
Type: Indirect Emissions of Resources and Energy Consumption: 7,94 kg CO2-eq.			
T3: clarificação	▲	sulphur dioxide, liquid, at pla	2,83 kg CO2-eq.
T3: clarificação	▲	lime mortar, at plant [CH]	4,06 kg CO2-eq.
T2: moenda	▲	tap water, at user [RER]	0,08 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	tap water, at user [RER]	0,07 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	sugarcane, at farm [BR]	0,91 kg CO2-eq.
Product: tap water, at user [RER] [A30 (T2 -> P19)] (1.000,00 kg): 2,13 kg CO2-eq.			
Product: tap water, at user [RER] [A28 (T1 -> P17)] (5.000,00 kg): 19,72 kg CO2-eq.			
Phase: Other: 19,72 kg CO2-eq.			
Type: Indirect Emissions of Resources and Energy Consumption: 19,72 kg CO2-eq.			
T1: Lavagem	▲	tap water, at user [RER]	1,33 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	sugarcane, at farm [BR]	18,39 kg CO2-eq.
Product: bagasse, from sugarcane, at sugar refinery [BR] [A29 (T2 -> P18)] (270,00 kg): 0,58 kg CO2-eq.			
Sum:			39,08 kg CO2-eq.

Fonte: Printscreen da tela do programa Umberto Carbon Foot Print ©

Figura 7 - Relação pegada de carbono dos insumos 2.

Process	M	Material	Quantity
Type: Indirect Emissions of Resources and Energy Consumption: 0,06 kg CO2-eq.			
T8: Cristalização	▲	tap water, at user [RER]	3,19E-04 kg CO2-eq.
T6: cozimento	▲	electricity, bagasse, sugarcane	9,89E-05 kg CO2-eq.
T6: cozimento	▲	tap water, at user [RER]	1,65E-03 kg CO2-eq.
T3: clarificação	▲	sulphur dioxide, liquid, at pla	0,02 kg CO2-eq.
T3: clarificação	▲	lime mortar, at plant [CH]	0,03 kg CO2-eq.
T2: moenda	▲	tap water, at user [RER]	5,76E-04 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	tap water, at user [RER]	4,80E-04 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	sugarcane, at farm [BR]	6,65E-03 kg CO2-eq.
Product: agua vapor e condimentos [A34 (T6 -> P29)] (410,00 kg): 2,73 kg CO2-eq.			
Phase: Other: 2,73 kg CO2-eq.			
Type: Indirect Emissions of Resources and Energy Consumption: 2,73 kg CO2-eq.			
T6: cozimento	▲	electricity, bagasse, sugarcane	4,51E-03 kg CO2-eq.
T6: cozimento	▲	tap water, at user [RER]	0,08 kg CO2-eq.
T3: clarificação	▲	sulphur dioxide, liquid, at pla	0,94 kg CO2-eq.
T3: clarificação	▲	lime mortar, at plant [CH]	1,36 kg CO2-eq.
T2: moenda	▲	tap water, at user [RER]	0,03 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	tap water, at user [RER]	0,02 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	sugarcane, at farm [BR]	0,30 kg CO2-eq.
Product: condensado de vapor [A37 (T5 -> P24)] (520,00 kg): 7,94 kg CO2-eq.			
Product: tap water, at user [RER] [A30 (T2 -> P19)] (1.000,00 kg): 2,13 kg CO2-eq.			
Phase: Other: 2,13 kg CO2-eq.			
Type: Indirect Emissions of Resources and Energy Consumption: 2,13 kg CO2-eq.			
T2: moenda	▲	tap water, at user [RER]	0,16 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	tap water, at user [RER]	0,13 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	sugarcane, at farm [BR]	1,84 kg CO2-eq.
Product: tap water, at user [RER] [A28 (T1 -> P17)] (5.000,00 kg): 19,72 kg CO2-eq.			
Product: bagasse, from sugarcane, at sugar refinery [BR] [A29 (T2 -> P18)] (270,00 kg): 0,58 kg CO2-eq.			
Phase: Other: 0,58 kg CO2-eq.			
Type: Indirect Emissions of Resources and Energy Consumption: 0,58 kg CO2-eq.			
T2: moenda	▲	tap water, at user [RER]	0,04 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	tap water, at user [RER]	0,04 kg CO2-eq.
T1: Lavagem	▲	sugarcane, at farm [BR]	0,50 kg CO2-eq.
Sum:			39,08 kg CO2-eq.

Fonte: Printscreen da tela do programa Umberto Carbon Foot Print ®

Os produtos com maior valor calculado de pegada de carbono, ou seja, de maior emissão de CO₂ na atmosfera, foram a água de lavagem; condensado de evaporador e o álcool ensacado, liberando na atmosfera uma quantidade de CO₂ de 19,72 kg, 7,94 kg e 5,92 kg respectivamente. Os demais produtos de saída como a água, vapor e condimento; água de moagem; bagaço da cana e açúcar tiveram uma emissão de CO₂ na atmosfera de respectivamente 2,73 kg; 2,13 kg; 0,50 kg e 0,06 kg.

A partir das figuras 4 e 5, podemos perceber que a água de lavagem, maior emissor de CO₂ no processo, com 19,72 Kg CO₂-eq, é decorrente do processo de lavagem da cana, por receber uma quantidade de 5.000,00 kg de água e 1.000,00 kg de cana de açúcar, e liberando a mesma quantidade de água, como saída do processo, faz com que, mesmo sendo pequena a quantidade de Kg CO₂-eq da água, a quantidade de CO₂ emitida no processo seja significativa.

A partir das figuras 4 e 5, podemos perceber que o produto de saída, condensado de evaporador, decorrente do processo de evaporação do caldo misto, é o segundo produto de maior emissão de CO₂, com 7,94 kgCO₂-eq, e recebe uma influência da emissão indireta de outros resíduos emitidos e energia consumida, decorrentes de outros processos, como 4,06 Kg

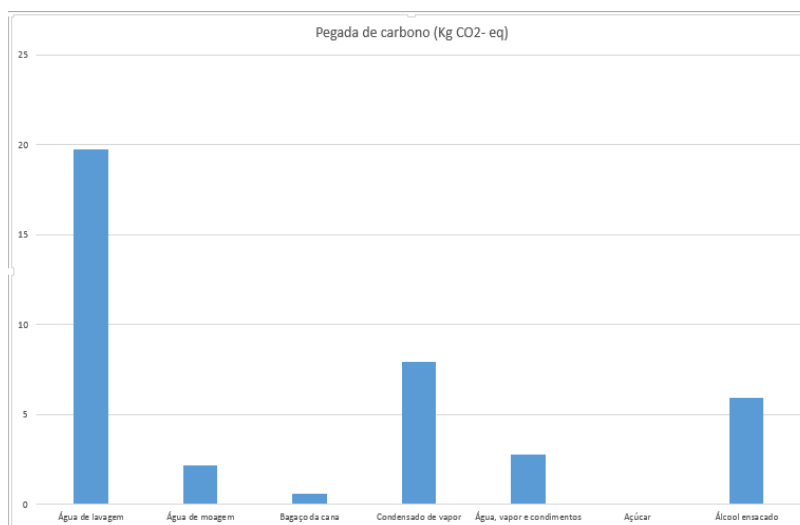
CO₂-eq de Cal e o 2,83 Kg CO₂-eq de SO₂ (dióxido de enxofre) decorrentes do processo de clarificação, e 0,91 Kg CO₂-eq de cana de açúcar e 0,15 Kg CO₂-eq de água decorrentes do processo de lavagem e moenda.

A partir da análise das figuras 5, 6 e 7, podemos perceber que o produto final, álcool ensacado, é o terceiro maior emissor de CO₂ no processo, tendo uma emissão de 5,92Kg CO₂-eq. O produto final recebe influência de todos os processos, recebendo e liberando indiretamente CO₂ decorrentes dos processos de lavagem, moagem, clarificação, cozimento, diluição, cristalização e ensacamento. O insumo de maior influência na emissão de CO₂ do álcool ensacado é o polipropileno, decorrente do processo de ensacamento.

Com a tabela ainda é possível também identificar que dos produtos no processo que tem impacto no ambiente, o açúcar refinado é o produto que sai do processo com menor quantidade de emissão de CO₂, emitindo apenas 0,01 Kg CO₂-eq, o açúcar recebe maior influência no cálculo da pegada de carbono dos insumos Cal e SO₂ com 0.03 e 0.02Kg CO₂-eq respectivamente. Vale ressaltar que nos estudos apresentados e no processo de fabricação do álcool, a fabricação de açúcar ocorre como uma consequência do processo e não com um objetivo, sendo o processo realizado com o objetivo de maximizar a produção de álcool, e consequentemente minimizar a produção de açúcar, por isso, a quantidade de açúcar produzido, e a quantidade de CO₂ emitidos são considerados baixos em relação aos demais produtos e processos.

A análise das figuras 5, 6 e 7 mostram também que o valor total de CO₂ total emitido no processo da cana – de – açúcar é de 39,08 kg, sendo a soma de todos os valores de CO₂ emitidos em todos os processos de saída.

Figura 8 - Demonstra gráfica e comparado do cálculo da pegada de carbono.



Fonte: Autoria própria

6. Conclusão

Com o uso do software Umberto foi possível calcular e modelar cada processo do ciclo produtivo da cana-de-açúcar até o seu produto final, álcool ensacado. Nesses cálculos foi possível se obter a pegada de carbono de cada processo da fabricação do álcool para cada saída do processo, percebendo que o valor total de entrada tem que ser igual ao valor total de saída dos processos. Analisando cada cálculo e os números encontrados da pegada de carbono de cada processo, podemos avaliar e perceber quais as quantidades de CO₂ emitidos por cada processo e cada componente do sistema produtivo e poder averiguar e ter a consciência de qual componente é o mais prejudicial para o meio ambiente. No processo produtivo do álcool, percebemos então que a água de lavagem, água que saído processo de lavagem da cana, é o componente que mais dispersa o CO₂ no meio ambiente, liberando na atmosfera uma quantidade de CO₂ de 19,72 kg.

Podemos perceber que no processo do álcool, o bagaço da cana-de-açúcar, pode ser reaproveitado para servir como fonte de energia no próprio processo produtivo, sendo um método encontrado para reduzir os impactos causado com processo produtivo da cana. A fabricação do álcool é vista como um efeito prejudicial ao meio ambiente, apesar de nem se comparar com o efeito causado pelo petróleo. O álcool por sua vez está melhorando sua produção com a tecnologia, diminuindo principalmente os efeitos da queima da palha de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS



III Simpósio de Engenharia de Produção

GESTÃO DE INFORMAÇÕES COMO APORTE DE COMPETITIVIDADE PARA ORGANIZAÇÕES PRODUTIVAS

FAVA, J. et al. **A Technical Framework for Life-Cycle Assessment**, SETAC, Washington, 1991.

VIGON, B. W.; TOLLE, D. A.; CORNARY, B. W., **Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles**. US EPA, Document EPA/600/R-92/245, Cincinnati, OH. 1993.

ALTING, L.; HAUSCHILD, M.; WENZEL, H.: **Environmental assessment product development**. Phil Trans.R.Soc.Lond.A 355, 1373-1388, 1997.

PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**; tradução FlorenalZarpelon. São Paulo: Nobel S.A., 1989.

CASTRO, H.F. **Indústria Açucareira**. 2001. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/>. Acesso em 4 de junho de 2014 .

ALCARDE, A.R. **Processamento da cana-de-açúcar**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Brasília, DF. Anais, 2007.

ANDRADE, S.A.C.; CASTRO. S.B. **Engenharia e tecnologia açucareira**. Departamento de Engenharia Química CTG – UFPE. Pernambuco. Anais. 2006

LOPES, A. **A usina de açúcar e sua automação**. 2009. Disponível em< <http://www.scribd.com>>. Acesso em 3 de junho de 2014.

UNIÃO DA INDÚSTRIA CANA DE AÇÚCAR – Disponível em: <www.unica.com.br>. Acessado em 04 de junho de 2014.

ACV Brasil – Disponível em:

<http://www.acvbrasil.com.br/wpcontent/uploads/2012/07/Umberto_carbonfootprint_flyer_web_en.pdf>.

Acesso em 05 de junho de 2014.

PEGADA DE CARBONO – Disponível em: <http://www.pegadadecarbonosuzano.com.br/pegada-carbono/beneficios>. Acesso em 27 de maio de 2014.

INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA– Disponível em:

<http://www.mct.gov.br/upd_blob/0004/4199.pdf>. Acesso em 14 de junho de 2014.

SUZANO PAPEL E CELULOSE – **Vantagens de calcular a pegada de carbono** – Disponível em:

<www.pegadadecarbonosuzano.com.br>. Acesso em 16 de junho de 2014.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. (2011), Disponível em

<<http://mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=999>>. Acesso em 20 de maio de 2014.

