

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Avaliação de Ciclo de Vida

(Lemos, 2012), relata que no início da década de 1990, a *International Organization for Standardization* (ISO) se reuniu para elaborar normas que estruturariam a gestão ambiental do desenvolvimento econômico e industrial. A premissa era padronizar processos que causem dano ambiental e utilizem recursos naturais.

De acordo com (Lemos, 2012), As diretrizes das normas ISO foram divididas em nove áreas diferentes, abordadas por diferentes subcomitês: sistemas de gestão ambiental, rotulagem ambiental, avaliação de desempenho ambiental, análise de ciclo de vida (ACV), definições e conceitos, integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos, comunicação ambiental e mudanças climáticas.

A série ISO 14000 foi a primeira de uma série de outras normas que viriam aperfeiçoar a análise de ciclo de vida. A ACV é um estudo que visa compreender a extensão de um impacto ambiental gerado por determinado processo, sistema de produção, serviço ou produto. Esta abordagem pode variar em certos aspectos – dependendo da análise desejada – como a obtenção de matéria prima, beneficiamento da matéria prima, produção, logística de distribuição, uso/reuso do produto, reciclagem, tempo de vida e disposição final.

Dentre as normas decorrentes da ISO 14000, que abordam a ACV, podemos destacar a *ISO 14040*, *ISO 14041*, *ISO 14042*, *ISO 14043* e *ISO 14048*.

Com a finalidade de facilitar a aplicação, as normas 14040, 14041, 14042 e 14043, foram reunidas em apenas dois documentos (14041 e 14044).

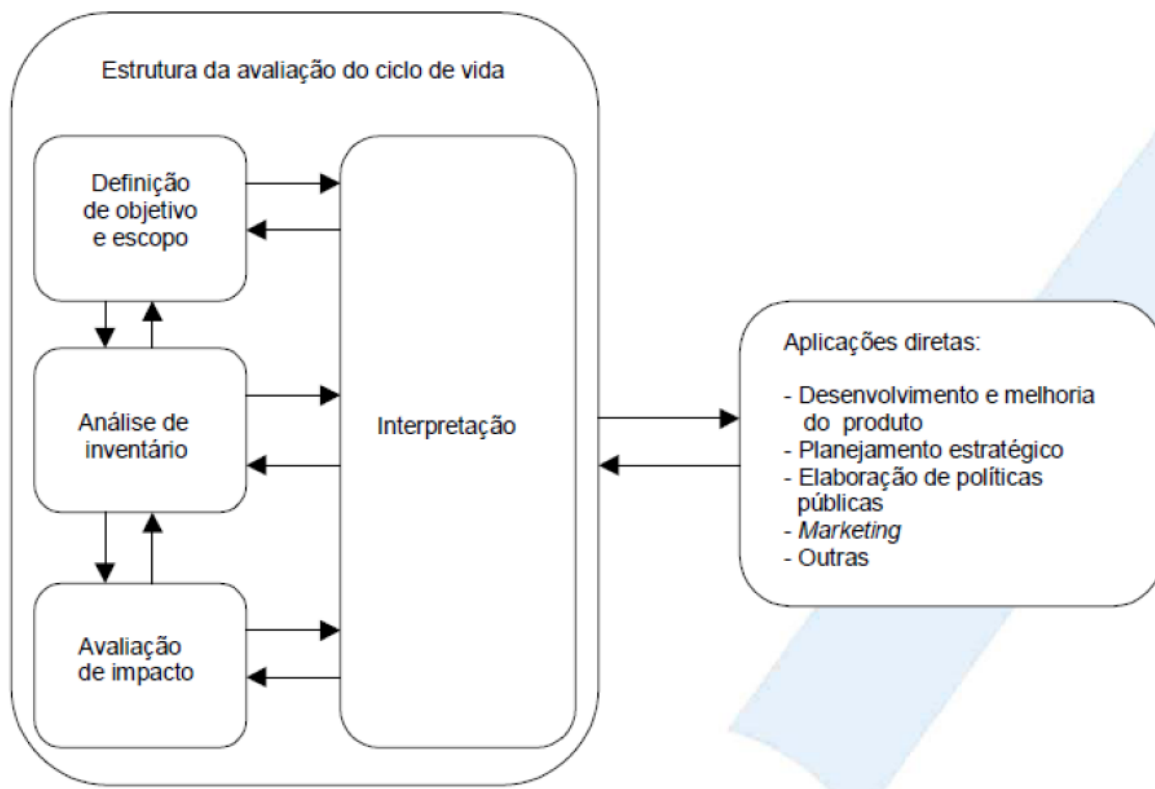
*“A ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um*

*produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas (Abnt, 2001).”*

As normas da série ISO 14000 estabelecem procedimentos para que empresas possam realizar a gestão ambiental de suas atividades, tanto relacionadas aos seus produtos e serviços quanto aos seus processos. Para a elaboração dos estudos é necessário o envolvimento de pessoal técnico capacitado em diversas áreas de conhecimento. Os requisitos a serem atendidos são previamente previstos e o cumprimento desses requisitos deve ser comprovado por meio de registros documentais. As normas da série ISO 14000 podem ser aplicadas a qualquer organização, independentemente da atividade desenvolvida ou porte (Barbieri, 2004)

## **2.2 Metodologia de Análise de Ciclo de Vida**

Segundo a norma ABNT NBR 14040 (ABNT, 2009) um estudo de ACV é composto por quatro fases (Figura 1): a fase de definição de objetivo e escopo, de análise de inventário, a fase de avaliação de impactos e de interpretação.



**Figura 1: Fases de Avaliação de Ciclo de Vida. Fonte: ABNT (2001)**

A primeira etapa, definição de objetivo e escopo, consiste em definir a intenção do estudo e qual a extensão do trabalho a ser realizado, através da definição clara de fronteiras, onde será deliberado quais processos e atividades serão inclusos no trabalho. Estas decisões devem ser tomadas de maneira coerente com o objetivo e devem ser apresentadas de forma que indiquem com clareza a motivação da escolha. O intento do estudo deve ser explicitado junto aos dados que se deseja obter, como por exemplo, a geração de determinado subproduto, a emissão de determinado poluente ou o consumo de determinado recurso natural.

A escolha destes limites e objetivos irá nortear a elaboração do estudo, e sua importância está em fazer com que os resultados se apresentem da forma mais assertiva possível. Para que haja um padrão na elaboração de um estudo de ACV, elementos

básicos são utilizados, como: função do sistema estudado, unidade funcional, fronteiras do sistema e unidades de processo.

Função do sistema é a aplicação prática do material estudado. A função do sistema acaba por consequência determinando o item supracitado, a unidade funcional. Como um sistema pode ter mais de uma função, a fronteira e escopo previamente definidos irão ditar para qual uso específico deste sistema estará sendo avaliado o seu ciclo de vida.

Citando (Diaz, 2010), “Unidade Funcional é o conceito central na ACV. Trata-se do quantum do produto utilizado como normalização.”. A meta de estabelecer uma unidade funcional é referenciar as relações entre entradas e saídas dentro das fronteiras estipuladas no sistema, assim, a unidade funcional acaba dando um valor palpável para o desempenho do produto na função em que se optou por estudá-lo.

No uso de unidades funcionais, é importante que se atente para as bases de comparação. As unidades funcionais irão relacionar valores distintos do processo, e uma vez que grandezas distintas não podem ser comparadas, é preciso seguir uma linha de raciocínio clara, e até certo ponto didática, para que se possa esclarecer relações e resultados do estudo de um produto.

As fronteiras do sistema, já mencionadas, delimitam o mapeamento dos processos a serem inclusos no estudo. Um estudo amplo deve considerar as etapas de obtenção de matéria-prima, processamento, uso, reuso, reciclagem e destinação final de resíduos gerados. De acordo com o interesse do estudo, podem ser consideradas apenas algumas etapas.

Unidade de processo é a denominação da menor parte indivisível de um sistema de produção.

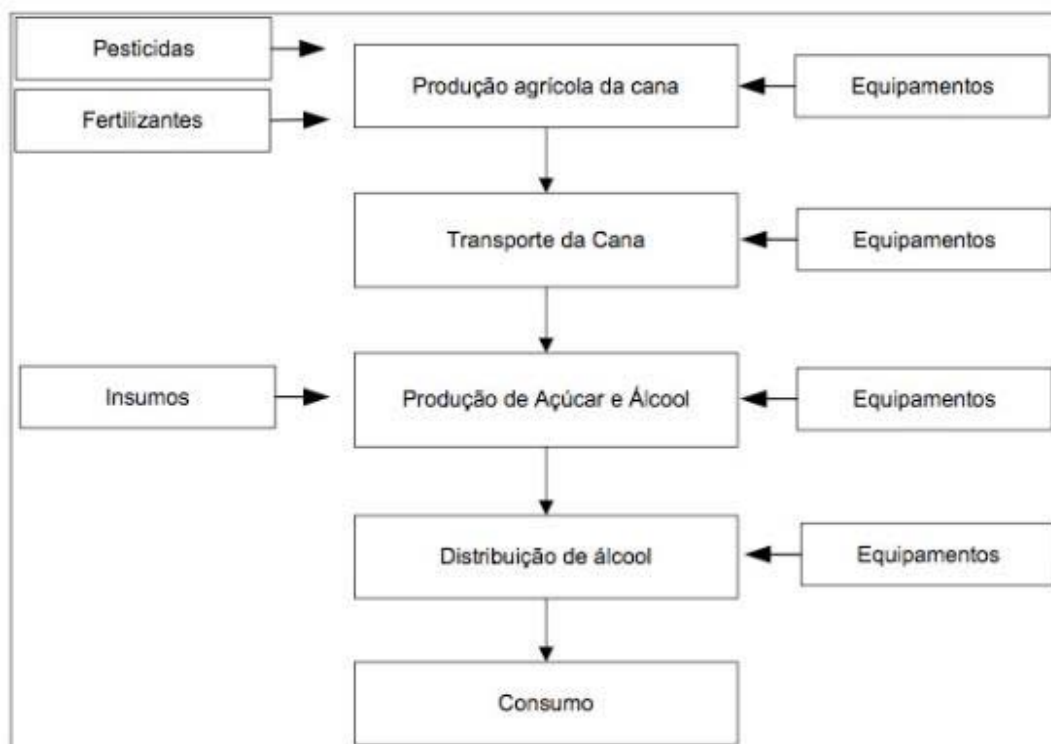
Segundo (Coltro, 2007), além das escolhas apropriadas para os escopos e unidades do estudo, é importante considerar a qualidade e pertinência dos dados coletados:

*“Um estudo de ACV normalmente é um resumo de uma grande quantidade de dados de qualidade variável, portanto a transparência dos dados é crucial. Por exemplo. Dados coletados diretamente de sistemas produtivos e dados obtidos da literatura são dois modos distintos de coleta de dados e que representam a realidade de modos bem diferentes.*

*Para minimizar a variabilidade da qualidade de dados, os requisitos de qualidade dos dados devem ser estabelecidos na fase de definição do objetivo e escopo do estudo, antes do início do inventário.”*

A autora ainda cita a ISO 14041 quando menciona parâmetros para a coleta dos dados, como a idade dos dados, a área onde podem ser considerados relevantes, a abrangência tecnológica, a variância de dados e a representatividade, ou seja, o grau com que o dado pode refletir o valor verdadeiro de (outros) parâmetros buscados.

A partir das decisões tomadas, a etapa seguinte, de acordo com (Wenzel, 1997), é realizar o Inventário de Ciclo de Vida (ICV). Pode-se descrever esse inventário como a compilação de dados coletados e as equações numéricas que transformarão esta informação bruta em entradas e saídas do respectivo sistema de produção. A aquisição de dados será dirigida pelos ideais pré-estabelecidos na primeira etapa do estudo de ciclo de vida, e tratarão de forma assertiva apenas os dados relevantes ao objetivo do estudo. O inventário é indispensável para que se possa quantificar os impactos dos processos estudados. Através dos dados compilados, pode-se junto à respectiva unidade de processo, acrescentar os itens ou atividades que têm peso na análise de ciclo de vida, e, de forma a auxiliar a visualização do processo produtivo como um todo, se desenha um fluxograma indicativo. A Figura 2 exemplifica um fluxograma com a inserção dos respectivos atores em cada unidade de processo.



**Figura 2: Fluxograma de atores envolvidos nas unidades de processo de produção do Etanol. Fonte: (Diaz, 2010)**

Ainda segundo (Wenzel, 1997), uma vez elaborado o ICV, realiza-se uma avaliação de impacto do ciclo de vida. Nesta fase, tomando-se a compilação de dados do ICV, estimam-se os impactos para o meio ambiente de cada etapa do processo produtivo, de acordo com os limites pré-estabelecidos pelo estudo. A (ABNT, 2004) define como obrigatória a utilização das seguintes etapas na ACV: Seleção das categorias de impacto, Classificação dos aspectos – de acordo com importância – dos impactos, Caracterização de dados e Interpretação de dados.

Cabe ressaltar que no presente estudo foram estudados apenas aspectos operacionais de um processo produtivo – no caso uma usina de cana-de-açúcar – omitindo componentes mandatórios de uma análise completa, como os subprodutos deste processo (sendo o mais relevante a vinhaça), os custos e trabalho necessário para montar uma usina e ao final de sua vida útil, desmantelá-la. Estes aspectos, em um estudo completo, são cruciais para entender qual a verdadeira pegada

energética/ecológica deste tipo de empreendimento, e ter o pleno entendimento da viabilidade de realização do mesmo.

### **2.3 Estudos Antecedentes de Análise de Ciclo de Vida do Etanol**

(Macedo e Seabra, 2007), realizaram um inventário de carbono e balanço de energia de uma usina produtora de açúcar e álcool orgânico, com as fronteiras do estudo indo do “berço ao portão” da usina. Seu trabalho incluiu o consumo de combustível e energia externa, os custos para produzir os insumos e equipamentos necessários para a produção de cana. O trabalho realizado resultou nos consumos de energia e emissões de GEE de cada unidade de processo da produção de açúcar e álcool da Usina São Francisco, e comparou seus valores com outras modalidades de produção de etanol no mundo.

Os diferentes cultivos utilizáveis na produção de biocombustíveis também foram objeto de estudo. (Lave et al, 2000) calcularam o rendimento de veículos movidos, entre outros, a etanol de milho, e concluiu que as maiores emissões de um ciclo de vida completo, estão na queima deste combustível no motor de um veículo; justamente as emissões neutralizáveis pelo crescimento de biomassa. Os autores concluíram também, que entre os combustíveis estudados, o etanol de milho, junto aos veículos elétricos, foram os menos poluentes, quando analisados junto ao diesel, gás natural comprimido e variedades de gasolina.

(Kadam, 2002) estudou a produção de açúcar na Índia, onde não se faz uso do bagaço de cana. O seu estudo demonstra o passivo ambiental que se torna o bagaço de cana e aponta como alternativa, ao invés da incineração, a utilização de bagaço para bioconversão em etanol, para que seja misturado com gasolina. O resultado da ACV do autor aponta redução nas emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, material particulado, dióxido de carbono metano e consumo de energia fóssil.

(Malça e Freire, 2006) estudaram o etanol oriundo de trigo e beterraba na França. Seu estudo calculou a energia usada para transformar tais biomassas em combustível automotivo. A conclusão foi que o uso destes biocombustíveis resulta na diminuição do uso de combustíveis fósseis, e que a eficiência deste combustível está diretamente relacionada ao uso subsequente dos subprodutos gerados nos processos agrícola.

(Souza, 2010) realizou uma análise baseada na dependência de combustíveis fósseis, emissões de GEE e impactos ambientais ao estudar biocombustíveis. Ela conclui que os sistemas produtivos de biocombustíveis dependem de combustíveis fósseis para operar, e para chegar a tal conclusão, avaliou a dependência pelo uso total na cadeia produtiva e pela eficiência energética que apresentou, no caso do etanol de cana, 8,2 (energia em potencial do produto por energia utilizada no processo).

(Ometto, 2005) ressalta a possibilidade de abordar o mesmo tema de diversas perspectivas, e através de três metodologias diferentes, e conclui sobre um ciclo de vida idealizado: necessitaria eliminar queimadas e minimizar do uso de combustíveis fósseis e agrotóxicos na cadeia produtiva.

## **2.4 Estudos Antecedentes Para a Destinação do Bagaço de Cana**

(Castro, Cassiano e Ferreira, 2009), modelaram a gaseificação de biomassa da cana através do software *Aspen Plus*. Seu estudo aponta as transformações sofridas pelo bagaço e palhico de cana nas rotas de gaseificação, e compara os resultados obtidos por experimento e por modelagem, para a geração de calor e hidrogênio. Os autores também enfatizam a baixa utilização da palhada para fins de geração de energia ou subprodutos.

(Hassuani et al, 2005) avaliaram a qualidade e disponibilidade das sobras de biomassa da produção de etanol, as rotas agrônomicas da colheita de cana, testaram a gaseificação de bagaço e sobras de cana através de leitos fluidizados e a integração de



uma turbina de gaseificação a uma usina. O projeto encontrou concentrações de oxigênio e carbono, de 43 e 45%, respectivamente, para a palhada, e para o bagaço como todo, encontrou um maior poder calorífico de 17,5MJ/kg. Para o valor da palhada, os autores Hassuani et al., concluíram que sua massa corresponde à 14% da massa total da planta, que podem ser maiores em outras culturas, mas ainda assim representam um desperdício considerável de energia uma vez que não é utilizada nas caldeiras da usina. A rota mais eficiente para recuperar a palhada da cana, segundo os autores, é a colheita de cana já picada em campo, com a limpeza da mesma feita *in loco*. Os testes de gaseificação em leito fluidizado indicaram que tanto a palhada quanto o bagaço são combustíveis aceitáveis para o processo. Os testes com utilização de uma turbina de gaseificação resultaram na obtenção de energia custando U\$75/MWh, valor considerado alto para a geração convencional de energia, mas, segundo os autores, aceitável para uma primeira usina de tal modalidade.

(Rípoli et al, 2000), estudaram o potencial da biomassa de cana e compararam poderes caloríficos de diferentes formas de combustível, de acordo com a Tabela 1:

**Tabela 1: Calor específico de diversas biomassas e combustíveis**

<b>Material</b>	<b>Calor líquido (kJ/kg)</b>	<b>Autor</b>
<i>Eucaliptus Tereticornis</i>	34,518	Brito (1986)
<i>Pinus strobus</i>	22,118	Sunmer et al. (1983)
Pinhão	20,381	
Polpa de pomelo	19,381	
Polpa de pêsego	19,284	
Palha de cana	18,87	Ripoli et al. (1991)
Pomelo	18,682	Sunmer et al. (1983)
Palha de cereais	18,602	Atchison (1977)
Folhas de cana	18,439	Ripoli et al. (1991)
Bagaço de cana	18,322	
Carvão Vegetal	28,45	
Gasolina	43,943	Goldenberg (1979)
Lenha	23,336	Brito (1986)
Alcool Anídrido	26,784	
Alcool Hidratado	19,67	

**Fonte: (Rípioli et al, 2000)**

## **2.5 Estudos Antecedentes da Caracterização e Destinação de Algas**

Existe uma extensa literatura relacionada à bactérias em geral, e neste trabalho apresentaremos apenas publicações direcionadas ao aspecto energético do metabolismo destas bactérias, especificamente a capacidade de realizar fotossíntese.

(Piscotta et al, 2010) estudaram a fixação de carbono das cianobactérias e concluíram que elas representam entre 20 e 30% da produtividade mundial de fotossíntese, além de armazenarem aproximadamente 450TW de energia química oriunda da conversão de energia solar em sua biomassa. Os autores também mencionam a importância da doação de elétrons sobressalentes para o meio externo, por parte das

cianobactérias, que segundo os autores possivelmente possibilitarão explorar tecnologias que convertam energia solar em quantidades limitadas de eletricidade de maneira autossustentável e isenta de emissões de CO<sub>2</sub>.

(Angermayr et al, 2009), estudaram a biotecnologia associada à cianobactérias com vistas ao setor energético. Os autores ressaltam os avanços na engenharia metabólica de micro-organismos heterotróficos e destaca que as duas maiores funções para tais organismos atualmente são a fermentação de açúcares para produzir etanol e a extração de lipídios para refino em biodiesel, e que ambas atribuições dos micro-organismos não sofrem com muitas das desvantagens das atuais tecnologias de geração de combustíveis. O autor sugere que a cianobactéria – procarionte fotossintético oxigenado – seria a opção mais apropriada para gerar biocombustíveis, por serem facilmente cultiváveis com baixa demanda nutritiva.

(Deng e Coleman, 1999), demonstraram que é possível produzir etanol de CO<sub>2</sub> absorvido por um organismo fotossintético através de seu metabolismo foto-autotrófico. Em seu estudo, os autores utilizaram uma determinada variedade de cianobactéria geneticamente modificada e relatam terem conseguido produzir 5mM (miliMolar) de etanol em seu tanque de algas após 4 semanas de cultivo. Apesar do resultado – devido à pouca densidade de células de cianobactérias em seu cultivo, 10<sup>8</sup> células/ml – considerado baixo pelos autores, os mesmos ressaltam que se valendo de processos industriais de fermentação microbiana seria possível obter uma concentração maior de etanol.

(Dexter e Fu, 2009), realizaram um estudo similar à Deng e Coleman, com uma série de mudanças na abordagem genética das cianobactérias. A base de ambos os estudos foi a mesma, mas passados dez anos da publicação do estudo de Deng e Coleman, Dexter e Fu fizeram uso de uma maior gama de conhecimentos, nas áreas de genética, química, biologia e engenharia, para, através de uma manipulação genética mais sucinta e eficiente obter resultados significativamente melhores que seus predecessores. No estudo de Dexter e Fu, em dadas condições foi documentada a

concentração de etanol em um tanque de algas de 10mM com apenas seis dias de cultivo. O avanço das técnicas dos autores é claro, em relação a um tempo de cultivo quatro vezes menor para obtenção de etanol em concentração duas vezes superior.