



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

Avaliação do desempenho ambiental do aproveitamento do Biogás em indústrias processadoras de mandioca por meio de Indicadores GRI

CELSO EDUARDO GUIMARÃES

Universidade Nove de Julho
celsoeduardo.guimaraes@gmail.com

CLÁUDIA ECHEVENGUÁ TEIXEIRA

Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT
ceteixeira10@gmail.com

MARIO ROBERTO DOS SANTOS

Universidade Nove de Julho
mario.rsantos@terra.com.br

Área temática: Indicadores e modelos de mensuração da sustentabilidade

Avaliação do desempenho ambiental do aproveitamento do Biogás em indústrias processadoras de mandioca por meio de Indicadores GRI

Resumo

O objetivo deste artigo foi a aplicação de um método de avaliação ambiental da tecnologia de aproveitamento energético de biogás, utilizando-se de indicadores de desempenho ambiental selecionados a partir do protocolo da *Global Reporting Initiative* (GRI). A partir de uma avaliação das características da tecnologia em relação às etapas do processo foram selecionados indicadores de desempenho ambiental, relacionados aos aspectos consumo de materiais, emissões atmosféricas, consumo de água, consumo de energia e emissão de efluentes. A pesquisa utilizou o método qualitativo, por meio de estudo de caso em empresas processadoras de mandioca. Essas indústrias utilizam lagoas de decantação para tratar os resíduos e tem, conseqüentemente, como um de seus aspectos ambientais a geração de biogás. O sistema de aproveitamento de biogás apresentou vantagens ambientais positivas, entre as quais economia de combustível, diminuição das emissões atmosféricas de gases de efeito estufa e também não acarretou acréscimo no consumo de água. Uma das empresas economizou 95% da lenha que era utilizada como combustível antes do uso da tecnologia e em todos os casos houve melhoria de desempenho operacional das empresas avaliadas. Esta pesquisa mostrou que o aproveitamento de biogás em operações de agronegócios é uma iniciativa inovadora e apresentou resultados práticos expressivos.

Palavras-chave: Avaliação de Desempenho Ambiental; Biogás; Eco-inovação, Indicadores de Desempenho Ambiental, Inovação.

Environmental performance evaluation of biogas' utilization in cassava process industries by GRI Indicators

Abstract:

The aim of this paper was to apply a method of environmental assessment of energy use of biogas technology, using the environmental performance indicators selected from the Global Reporting Initiative (GRI) protocol. From an assessment of the technology characteristics over the process steps of environmental performance indicators, aspects related to material consumption, air emissions, water consumption, energy consumption, emission and effluent were selected. The research used qualitative methods through a case study in cassava processing companies. These industries use settling ponds to treat waste and are therefore as one of its environmental aspects, biogas generation. It was concluded that the use of biogas system had positive environmental benefits, are among the leading fuel economy, reduced greenhouse gases' atmospheric emissions and also not associated with increases in water consumption. One company saved 95% of the wood that was used as fuel before use of technology and in all cases there was improvement in operating performance of the companies surveyed. Research has shown that the use of biogas in agribusiness operations is an innovative initiative and presented significant practical results.

Key Words: Environmental Performance Evaluation; Biogas; Eco-innovation; Environmental Performance Indicators; Innovation.

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da fécula e da farinha de mandioca têm se destacado no setor agroindustrial brasileiro. Responsável por mais de um milhão de empregos diretos, no campo, trabalham diretamente no cultivo cerca de um milhão de trabalhadores, sendo 85% da produção provenientes da agricultura familiar. A produção de mandioca prevista pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 2014 é de 23,2 milhões de toneladas com crescimento de 9,5% em relação a 2013 (IBGE, 2014). A fécula ganhou destaque como insumo para algumas cadeias produtivas, tais como a alimentícia, a química e a de transformação. Além disso, ela pode ser utilizada como matéria-prima para alimentos pré-gelatinizados (pudins, sorvetes, gelatinas etc.), produção de glucose (xarope), vitamina C, plásticos biodegradáveis, adoçantes entre outros subprodutos. A fécula *in natura* é material básico para as indústrias de papel; alimentos infantis e outros alimentos, tais como tapioca e sagu; álcool; fermento químico; goma para tecidos (ESPM; SEBRAE, 2008).

As preocupações do agronegócio em relação à pauta ambiental ainda são tímidas, ou, às vezes, inexpressivas, quando comparadas com as relacionadas com a pauta econômica. De um modo geral, as atividades empresariais típicas (investimentos, produção, estratégias de marketing etc.) têm ignorado os danos provocados ao meio ambiente e o esgotamento, quase que irreversível dos recursos naturais causados por essas ações (STOCCHETTI, 2012).

O objetivo de reduzir o impacto ambiental da atividade industrial é amplamente aceito como uma meta a ser alcançada. Muitas empresas se orgulham de seus produtos 'verdes' e práticas de negócios 'sustentáveis'. Na produção, essas práticas de negócios podem variar, desde a substituição de materiais, reciclagem de produtos, redução do consumo de energia e das emissões atmosféricas. A implementação dessas práticas empresariais é feita com maior profundidade quando a redução dos impactos ambientais está associada com o aumento dos lucros para o negócio como um todo (HODGE; OCHSENDORF; FERNÁNDEZ, 2010).

Para Boons, Baumann e Hall (2012), aumentar a sustentabilidade das atividades de produção e de consumo exige a fundamentação das ações gerenciais e políticas na análise dos sistemas econômicos, além das empresas e consumidores individuais. Conforme afirmou Abramovay (2012), economia verde é diferente de crescimento verde e o que se deve almejar é o uso cada vez menor de matéria, energia e com menos emissões. Dessa forma, buscam-se processos de produção que causem menos impactos ambientais, racionalizando o uso de matérias-primas, de água, de energia e outros recursos naturais e, conseqüentemente, com uma drástica redução de emissões.

O desenvolvimento de novos produtos sustentáveis é uma tarefa complexa que requer o equilíbrio sistêmico entre todos os envolvidos, desde a produção até o consumo, seja os consumidores finais, a comunidade, o governo, que se relacionam durante todo o ciclo de vida dos referidos produtos (MARX; PAULA, 2011). Demajorovic e Maturuna (2009) defenderam que essa estratégia empresarial deve estar associada com as novas tecnologias e procedimentos, voltadas à sustentabilidade, pois se tornam cruciais para o entendimento e a avaliação dos impactos de suas atividades produtivas.

No caso da indústria da mandioca, entre os aspectos ambientais potenciais causador de impactos, destaca-se a geração de diferentes resíduos, que podem ser tóxicos ao meio ambiente, caso sejam emitidos sem os devidos tratamentos. Os processos produtivos também são

caracterizados por serem grandes consumidores de água e energia (CASSONI; CEREDA, 2011; COLIN et al., 2007).

Essas indústrias utilizam lagoas de decantação para tratar esses resíduos, que são normalmente anaeróbias e têm como um de seus aspectos ambientais, a geração de biogás. Os principais constituintes do biogás são o gás metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). O biogás é inflamável devido à presença do CH_4 e ao entrar em combustão, produz calor que poderá ser aproveitado na geração de energia nos processos produtivos das empresas. Algumas agroindústrias do Estado do Paraná instalaram coberturas nas lagoas de tratamento, compostas por geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD). Esse sistema forma um biodigestor que possibilita canalizar e aproveitar o biogás e, dessa forma, as empresas têm substituído a lenha como combustível para aquecimento de caldeiras pelo biogás gerado nos biodigestores.

O uso desse sistema poderá trazer dois potenciais benefícios: (i) econômico: redução na quantidade de lenha utilizada; (ii) ambiental: queimando-se o CH_4 , mitigam-se os impactos ambientais em relação às emissões de CO_2 equivalente. O CH_4 é 21 vezes mais poluente que o CO_2 para efeitos de aquecimento global, conforme o *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC, 2007). Segundo Starr et al. (2012), apesar do crescente interesse nessas tecnologias, há poucas pesquisas sobre seu impacto ambiental.

Nesse contexto, foi estabelecida a seguinte questão de pesquisa:

Como avaliar o desempenho ambiental da tecnologia de aproveitamento energético de biogás?

O objetivo deste artigo foi apresentar e aplicar um método de avaliação ambiental da tecnologia, utilizando-se indicadores de desempenho ambiental selecionados a partir do protocolo da *Global Reporting Initiative* (GRI).

Este trabalho está delineado da seguinte forma: após essa breve introdução, na seção dois será realizada fundamentação teórica; na seção três, os procedimentos metodológicos utilizados; na seção quatro, a análise dos resultados, e na seção cinco, as discussões finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será apresentada a descrição da indústria processadora da mandioca, com foco nas farinheiras e nas fecularias, o desempenho ambiental, os indicadores de desempenho ambiental e as diretrizes GRI.

2.1 Indústrias processadoras de mandioca e desempenho ambiental

Para a produção de farinha e fécula, a matéria-prima principal (mandioca) utilizada é de uma variedade conhecida como ‘amarga’, ou ‘mandioca brava’. Com alta concentração de ácido cianídrico, são as que possuem as maiores concentrações de amido, características que garantem boa produtividade para as indústrias, mas que podem comprometer o desempenho ambiental, devido à toxicidade dos resíduos gerados.

A norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 14001:2004 definiu desempenho ambiental como “[...] os resultados mensuráveis da gestão de uma organização sobre os seus aspectos ambientais” ABNT (2004, p. 3). Já aspecto ambiental, é todo “[...] elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente” ABNT (2004, p. 2). Segundo Barbieri (2007), pode ser resultado de usos de matéria-prima, água, energia, entre outros recursos demandados pelos processos produtivos. Pode ainda ser decorrente dos resíduos desse mesmo processo. O autor definiu “[...] o aspecto ambiental é a causa e o impacto ambiental, o efeito” (BARBIERI, 2007, p. 172). Ou seja,

impacto ambiental é o resultado maléfico ou benéfico causado pelo aspecto ambiental de determinado processo produtivo. A definição de impacto ambiental, segundo a norma ISO 14001:2004 é “[...] qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, em todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização” (ABNT, 2004, p. 2).

Dessa forma, a organização que deseje ter um bom desempenho ambiental, precisa gerir sua pauta ambiental, seja por meio de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) formal ou não. Conforme Barbieri (2007), um SGA requer a formulação de diretrizes, definição de objetivos, coordenação de atividades e monitoramento de resultados. Seiffert (2010) apresentou a identificação de aspectos ambientais associados com as atividades, processos e produtos da organização, como uma das fases mais importantes na elaboração do SGA. Nas atividades de feculárias de mandioca, o aspecto de geração de resíduos, como contém ácido cianídrico, que é tóxico, tem grande potencial de impacto negativo (FELIPE; RIZATO; WANDALSEN, 2009).

Cunico, Cirani e Souza (2012) fizeram uma pesquisa em três feculárias e observaram que essas indústrias vêm se preocupando em entender e gerenciar seus aspectos e impactos ambientais. Dessa forma, buscam o uso de práticas tecnológicas que suportem suas operações de forma a atender a legislação ambiental, principalmente em relação à geração de resíduos.

Os resíduos mais relevantes são derivados dos processos de lavagem, descascamento, ralação e prensagem da mandioca. Essas fases geram uma grande quantidade de resíduos orgânicos, com destaque para a manipueira, que é a água que carrega a maioria dos solúveis presentes nas raízes, incluindo a linamarina, que, por sua vez, são rejeitados nas fases de produção de farinha e fécula de mandioca (OLIVEIRA; IDE; PAULO, 2005). A manipueira é um dos resíduos mais problemáticos, em termos ambientais, nas feculárias, por possuir elevadas cargas de poluentes (BARANA; CEREDA, 2000).

Nesse cenário, o tratamento por processos biológicos tem se mostrado mais eficiente, do ponto de vista econômico, pela sua simplicidade. Nesses processos, destaca-se o tratamento por meio de lagoas de decantação utilizando processos anaeróbios para remoção de matéria orgânica.

2.2 Tratamento de efluentes em lagoas de decantação anaeróbias

Os efluentes das indústrias de feculárias de mandioca são ricos em matéria orgânica. Os poluentes orgânicos presentes na fase aquosa, quando despejados nos sistemas hídricos em grandes concentrações, alteram significativamente os aspectos físico-químicos do meio, interferindo nas condições ambientais que suportam a biodiversidade nativa daquele meio (CREMONEZ et al., 2013; SANT'ANNA JR, 2010). A manipueira evidencia o potencial poluidor dessa indústria, em razão das concentrações elevadas em termos de demanda química e demanda bioquímica de oxigênio (DQO e DBO), nutrientes (nitrogênio e fósforo), substâncias tóxicas (cianetos) e material particulado (sólidos).

Os sistemas anaeróbios de tratamento de efluentes se caracterizam por serem um processo de biodegradação da matéria orgânica que ocorre mais lentamente, quando comparados com sistemas de tratamento aeróbios (SANT'ANNA JR., 2010).

Devido ao alto custo de energia necessária para promover a aeração, as feculárias optam por sistemas de tratamento por processos anaeróbios em lagoas, que têm poucas exigências quanto aos requisitos de construção, sendo uma opção atrativa do ponto de vista econômico (PARIZOTTO, 2002). São feitas por meio de escavação em terrenos, devem ser impermeabilizadas com argila ou manta plástica e as bordas, reforçadas a fim de diminuir riscos de desmoronamento e vazamentos.

O biodigestor, presente no processo, é constituído por uma câmara onde ocorre a acumulação de gás (SEIXAS; FOLLE; MARCHETTI, 1980). Os materiais orgânicos depositados na câmara são consumidos por bactérias anaeróbias. Esse processo de consumo do material orgânico por bactérias anaeróbias resulta no biogás e nos restos digeridos (sem odor). Os restos digeridos podem ser utilizados na agricultura como composto orgânico de boa qualidade. Além desse uso, essa tecnologia também vem sendo utilizada na gestão de resíduos em aterros sanitários e no tratamento de águas residuais (STARR et al., 2012).

Para aproveitamento do biogás gerado nas lagoas de decantação, algumas feculárias estão instalando uma manta sobre a lagoa. Dessa forma é criado um sistema de biodigestor, com a câmara formada por essa cobertura.

Uma característica do CH_4 , principal componente do biogás, é o poder de aquecimento molecular, que resulta em alta absorção de radiação solar na atmosfera terrestre. Portanto, queimá-lo antes de ser liberado na atmosfera, já torna a atividade produtiva menos poluente, mesmo que não seja aproveitado o seu potencial energético por meio da liberação de calor.

A queima do CH_4 tem a possibilidade de melhorar a sustentabilidade das operações de indústrias processadoras de mandioca, diminuindo emissões de GEEs e economizando recursos financeiros com o aproveitamento da energia calorífica dessa queima, seja para gerar eletricidade, seja para substituir outros combustíveis como, por exemplo, a lenha.

2.3 Indicadores de desempenho ambiental

Os indicadores de desempenho ambiental servem como parâmetro para analisar se as emissões estão dentro dos padrões exigidos pela legislação, pelas normas internas das empresas, estabelecidas por um plano de objetivos e metas, ou para que a comunidade afetada pelas atividades (comunidade do entorno, clientes, acionistas, entre outros) acompanhe o desempenho de uma organização (GALLOPÍN, 1997; SEIFFERT, 2010; SENAI.RS, 2003).

Para este estudo foram utilizados os conceitos dos indicadores de efluentes e emissões atmosféricas de gases do efeito estufa (GEE) porque o escopo do trabalho é a avaliação da instalação de biodigestores nas lagoas de decantação para captação de biogás, seguindo os conceitos da GRI.

A GRI foi criada em 1997 em Boston, nos Estados Unidos da América (EUA), tendo suas raízes nas organizações sem fins lucrativos da *Coalition for Environmentally Responsible Economies* (CERES) e no Tellus Institute (GRI, 2014). Seu objetivo foi criar diretrizes aplicáveis à elaboração de relatórios sobre o desempenho econômico, ambiental e social e garantir que as empresas seguissem os Princípios Ceres de conduta ambiental responsável e tinha como público-alvo os investidores (GRI, 2014; HEDBERG; Von MALMBORG, 2003).

Os indicadores criados para elaboração dos relatórios da GRI estão divididos em três blocos, segundo a abordagem do *triple bottom line*: econômico, ambiental e social (GRI, 2006b).

As Diretrizes GRI recomendam que, em relação aos indicadores ambientais, as organizações devem abordar seus desempenhos relativos a consumo de insumos (material, energia e água), e os aspectos relativos às emissões (atmosféricas, efluentes e resíduos) derivadas de seus processos produtivos (GRI, 2006b). A apresentação dos indicadores de desempenho ambiental da GRI é baseado na eficiência de consumo, na sua influência na biodiversidade e na minimização de impactos (SILVA; SIQUEIRA; GOMES, 2010). Araujo e Oliveira (2008) destacaram que os indicadores de sustentabilidade GRI, são ferramentas importantes no mercado para medição de desempenho de sustentabilidade em operações de manufatura. Os autores (2008)

frisaram a importância de, uma vez definido os principais aspectos e impactos da organização, escolher um modelo de indicadores que contemple os principais pontos de pressão dos processos a serem avaliados.

Os indicadores de sustentabilidade sugeridos pelas diretrizes GRI são utilizados para suportar o relatório de organizações. Neste estudo, utilizou-se a mesma estrutura para avaliar os biodigestores instalados em lagoas de decantação para tratamento de efluentes de agroindústrias da cadeia produtiva de mandioca.

3 MÉTODO

Esta pesquisa utilizou o método qualitativo, por meio de estudo de casos múltiplos (três), em empresas processadoras de mandioca. As empresas estudadas foram duas feculárias e uma farinheira de mandioca da região oeste do Paraná. Uma empresa de engenharia, a Planotec, participou também do projeto colaborando com a coleta de dados junto às empresas pesquisadas, além de fornecer as informações sobre o sistema de biodigestores por ela desenvolvido.

O trabalho desta pesquisa se restringiu ao desenvolvimento e a implantação do sistema de biodigestor. Esse sistema aproveita o biogás produzido em lagoas de decantação para tratamento de efluentes das indústrias, e o utiliza nas próprias caldeiras das empresas processadoras de mandioca.

O objetivo foi avaliar, do ponto de vista ambiental, o desempenho do sistema de aproveitamento energético do biogás gerado nas lagoas de tratamento de efluentes derivados do processamento da mandioca para produção de fécula e farinha, por meio dos indicadores GRI.

A seleção das empresas pesquisadas considerou a importância de se avaliar a tecnologia em mais de uma empresa para fins de comparação em escalas de processamento, tecnologia e estruturas organizacionais diferentes. Desta forma, três empresas foram convidadas a participar desta pesquisa.

As informações foram coletadas por meio dos seguintes procedimentos:

- a) Entrevistas e visitas *in loco* com os responsáveis pela operação das indústrias para coleta e registro das observações. As entrevistas foram realizadas no mês de agosto de 2013, nas instalações das três indústrias processadoras de mandioca.
- b) Algumas questões não respondidas totalmente durante as entrevistas ou que necessitavam de levantamento histórico de dados, foram respondidas por intermédio de trocas de correio eletrônico com os gestores em setembro de 2013.
- c) Entrevistas com os proprietários da empresa de projetos de biodigestores Planotec.
- d) Coleta de amostras e análises *in loco* da composição físico-química do biogás das três indústrias processadoras de mandioca, com medições efetuadas pela Planotec por meio de um analisador de gás portátil industrial para medições em aterros sanitários. O equipamento foi alugado por intermédio do financiamento concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O fornecedor do equipamento foi a empresa Landtec do município de São Paulo.

Para medir o fluxo de gás, foi alugado o equipamento tubo de pitot que é utilizado pela Planotec em conjunto com o equipamento GEM2NAV. Segundo Jahn, Dadam e Nicolau (2006, p. 3) “[...] o tubo de Pitot fornece uma medida de pressão dinâmica do escoamento; com a pressão estática e a temperatura do ponto medido, estima-se a densidade dos gases e calcula-se a vazão mássica”.

Foram selecionados oito indicadores e estão apresentados no Quadro 1, com suas respectivas nomenclaturas (códigos), aspectos ambientais relacionados e títulos. Os indicadores foram selecionados a partir do levantamento de aspectos e impactos do processo e validação simplificada com o engenheiro responsável pelo desenvolvimento da tecnologia na indústria da mandioca.

Código	Aspecto ambiental	Título
EN1	Consumo de Materiais	Materiais usados por massa e volume
EN3	Consumo de Energia	Consumo de energia direto por fonte de energia primária
EN5	Consumo de Energia	Energia economizada devido a melhorias em conservação e eficiência
EN8	Consumo de água	Total de água retirada por fonte
EN16	Emissões Atmosféricas	Total de emissões diretas e indiretas de gases de efeito estufa, por massa.
EN18	Emissões Atmosféricas	Iniciativas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e as reduções obtidas
EN20	Emissões Atmosféricas	Nox, Sox e outras emissões atmosféricas significativas, por tipo e massa.
EN21	Efluentes	Descarte total de água, por qualidade e destinação.

Quadro 1 – Indicadores de desempenho ambiental GRI selecionados

Fonte: Adaptado de Diretrizes GRI (2006a).

4 RESULTADOS E ANÁLISE

Esta seção apresenta as empresas pesquisadas, os indicadores de desempenho ambiental, os valores quantitativos dos indicadores, as discussões e conclusões em relação ao desempenho ambiental do sistema de captação e a utilização de biogás, produzido a partir de resíduos em unidades processadoras de mandioca.

4.1 Empresas pesquisadas

As três empresas estão localizadas nas regiões oeste e noroeste do Estado do Paraná: Amidonaria C.Vale – unidade Assis Chateaubriand; Amidos Pasquini – Cianorte; e Alimentos do Zé – Nova Esperança.

a) Amidonaria C. Vale – unidade Assis Chateaubriand

A empresa faz parte de um conglomerado de indústrias agrícolas atuante no Brasil nos Estados do Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e com unidades também no Paraguai. A C.Vale é uma cooperativa com 50 anos de existência, possui 111 unidades de negócios, 14.600 associados e 6.038 funcionários. Seus principais produtos são soja, milho, trigo, mandioca, leite, frangos e suínos. Atua também na prestação de serviços à agricultores e à agroindústria (C.VALE, 2014).

A unidade está localizada em Assis Chateaubriand, produz amido modificado a partir de fécula de mandioca para atender a indústria de papel. A produção média diária de amido modificado é na ordem de 70 toneladas e consumo médio de 400 toneladas de mandioca. Essa foi a primeira indústria na qual a Planotec instalou o sistema de biodigestor em agosto de 2011.

b) Amidos Pasquini

É uma empresa produtora de fécula de mandioca para fins alimentícios. Possui uma estrutura administrativa familiar e foi fundada no ano de 1990 para produção de farinha de mandioca. A partir de 2001 passou a produzir a fécula *in natura* e seus principais clientes são as indústrias alimentícia, papel e têxtil.

Sua produção média diária de fécula é da ordem de 80 toneladas, com consumo médio de mandioca de 200 toneladas. O sistema de biodigestor foi instalado em setembro de 2012 e depois de um ano de funcionamento, a empresa adquiriu uma nova caldeira, em instalação, para uso do biogás e deverá aumentar sua capacidade produtiva em 45%.

c) Alimentos do Zé

É uma empresa produtora de alimentos à base de mandioca cujos principais produtos são farinha e polvilho. É uma empresa familiar e está no mercado desde o ano de 1967. A empresa possui campos ao redor da indústria com plantações de eucalipto para produção de lenha, pasto para criação de gado e cultivo de mandioca. A princípio, a empresa cultivava sua própria mandioca para a produção da farinha, mas hoje a maior parte da matéria-prima é comprada no mercado. O sistema de biodigestor foi instalado em maio de 2013 e a empresa passou a comercializar a lenha economizada com a utilização do biogás.

A produção diária média é de 53 toneladas de farinha e cinco toneladas de polvilho, consumindo, aproximadamente, 200 toneladas de mandioca como matéria-prima.

4.2 Biodigestores desenvolvidos pela empresa Planotec

A criação do projeto dos biodigestores partiu da ideia de cobrir a lagoa de decantação utilizada para o tratamento dos efluentes das fecularias e farinheiras. Em determinados pontos da cobertura, canalizou-se o biogás até o ponto de queima da caldeira com mangueiras e encanamentos. Instalou-se um ventilador para forçar o deslocamento do biogás (por exaustão) e uma válvula para controlar o fluxo do gás. Com a energia resultante da queima do biogás, menor quantidade de lenha foi necessária para produzir a energia requerida pelo processo produtivo.

4.3 Critérios de seleção dos indicadores ambientais

O Quadro 2 apresenta os critérios adotados para seleção dos oito indicadores e suas respectivas justificativas de escolha. Na terceira coluna está a descrição do conteúdo dos indicadores. Para aplicação dos critérios, o primeiro passo foi conhecer os processos e identificar quais os aspectos e impactos poderiam ser avaliados. A quarta coluna apresenta as fontes de informações que foram utilizadas para quantificar os indicadores.

Código	Critério para seleção	Conteúdo do Indicador	Fonte de informações
EN1	Avaliar a economia do uso de lenha nos processos produtivos da indústria com a instalação do sistema de biodigestor.	Volume médio diário de lenha utilizado como insumo nas caldeiras antes e após a instalação dos biodigestores por unidade produzida.	Registros históricos da empresa fornecidos por meio de entrevistas com gestores operacionais.
EN3	Apurar a energia consumida com o combustível lenha para aquecer as caldeiras antes e depois dos biodigestores.	Energia consumida (lenha transformada em potencial energético - quilocalorias por quilograma) por massa de mandioca moída para o processo produtivo de farinha e/ou fécula	Registros históricos da empresa fornecidos por meio de entrevistas com gestores operacionais e cálculos para transformação da massa de lenha consumida em potencial energético.
EN5	Apresentar de forma direta a energia economizada proveniente da lenha com a utilização do biogás, que antes era dissipado diretamente na atmosfera.	Total de energia derivada de lenha economizada com o aproveitamento do biogás gerado pelos biodigestores.	Cálculo da diferença entre o que se consumia (em potencial energético da lenha consumida) antes e após o aproveitamento do biogás produzido por biodigestores.

EN8	Responder a questão se há influência direta no consumo de água nos processos da fecularia com o sistema de biodigestor.	Água consumida por toneladas de mandioca processada antes e depois dos biodigestores.	Dados históricos dos registros de produção da empresa e dos volumes de água captada obtidos por entrevistas.
EN16	Avaliar a diminuição das emissões de GEEs após a instalação dos biodigestores.	Medição das emissões no bico do queimador do biogás.	Medições no local por meio de equipamento específico do biogás gerado pelo biodigestor.
EN18	Avaliar a diminuição das emissões de GEEs após a instalação dos biodigestores.	Apresentação das emissões de CO _{2e} antes e após a instalação dos biodigestores.	Derivação do indicador utilizando metodologia IPCC para cálculo de CO _{2e} .
EN20	Apurar as emissões de H ₂ S provenientes dos processos de tratamento de efluentes.	H ₂ S em partes por milhão (ppm).	Medições no local por meio de equipamento do biogás gerado pelo biodigestor.
EN21	Avaliar se houve mudanças na qualidade da água com a instalação do sistema de biodigestores	Serão relatados os indicadores de qualidade dos efluentes na entrada e na saída dos biodigestores (DBO, DQO).	Medição em laboratório credenciado de amostras de efluentes na entrada e saída do biodigestor.

Quadro 2 – Critérios e conteúdos dos indicadores GRI de desempenho ambiental

Fonte: Adaptado do GRI (2006a).

Com esse conjunto de indicadores selecionado e com as informações colhidas pela pesquisa, construiu-se uma base comparativa entre as três indústrias e para cada empresa antes e depois do uso dos biodigestores. Os valores relativos ao consumo de matérias-primas, tais como mandioca, água e lenha, juntamente com as quantidades produzidas de fécula e farinha de mandioca, teve como objetivo possibilitar conclusões quanto aos processos mais eficientes em relação aos insumos (economia de matérias e energia), e obter conclusões por meio dos indicadores de emissões atmosféricas e verificar quanto os biodigestores contribuíram, positiva ou negativamente, para essas emissões, principalmente em relação ao CO_{2e}.

4.4 Avaliação e quantificação dos indicadores por empresa

A Tabela 1 apresenta os valores antes e após a instalação dos equipamentos de aproveitamento de biogás para cada uma das empresas estudadas.

Tabela 1 – Consumo de lenha: indicador EN1 (Materiais usados por massa e volume)

Caso de estudo	Amidonaria C. Vale	Amidos Pasquini	Alimentos do Zé
Consumo médio diário de lenha antes do aproveitamento do biogás	32 toneladas	18 toneladas	9 toneladas
Consumo médio diário de lenha após aproveitamento do biogás	9,6 toneladas	0,9 toneladas	4,5 toneladas
Percentual de economia do combustível lenha com o aproveitamento do biogás	70%	95%	50%
Quantidade média de mandioca moída diariamente	400 toneladas	200 toneladas	200 toneladas
Consumo médio diário de lenha antes do aproveitamento do biogás por tonelada de mandioca moída	80 kg	90 kg	45 kg
Consumo médio diário de lenha após aproveitamento do biogás por tonelada de mandioca moída	24 kg	4,5 kg	22,5 kg

Fonte: Dados da pesquisa.

Na Tabela 1 verifica-se que a Amidos Pasquini teve a maior economia de combustível lenha, com o aproveitamento do biogás nas caldeiras com uma redução de 95% no consumo. O consumo residual de 4,5 kg é necessário para manter a chama piloto da caldeira acesa. Já a Alimentos do Zé possui a menor taxa de economia (50%), provavelmente, porque a lagoa havia sido reformada poucos meses antes da pesquisa e há necessidade de maior tempo para que o processo de biodigestão se estabilize.

O próximo indicador ambiental analisado pela pesquisa é em relação ao consumo de energia direto por fonte de energia primária (EN3 e EN5). Eles permitiram a comparação entre a energia consumida com o combustível lenha antes e após o aproveitamento de biogás.

Na Tabela 2 verificam-se os volumes médios de lenha consumidos por empresa, assim como o valor numérico em quilocalorias dessa lenha. Com as quantidades de mandioca processadas por dia, foi calculado o consumo médio energético, em quilocalorias, para moagem de um quilo de mandioca, antes e após o aproveitamento do biogás nos biodigestores.

Tabela 2 – Energia derivada de lenha consumida por empresa por unidade de produção – indicador EN3.

Empresa	Lenha consumida diariamente em média (kg)		Poder Calorífico consumido diariamente em lenha (kcal)		Mandioca Moída por dia (kg)	Poder calorífico consumido por quilo de mandioca moída (kcal)	
	Antes do biogás	Após biogás	Antes do biogás	Após biogás		Antes do biogás	Após biogás
C. Vale	32.000	9.600	83.200.000	24.960.000	400.000	208	62,4
Amidos Pasquini	18.000	900	43.200.000	2.160.000	200.000	216	10,8
Alimentos do Zé	9.000	4.500	22.500.000	11.250.000	200.000	112	56

Fonte: Dados da pesquisa.

O indicador EN5 mostra os valores economizados, em unidade energética, de combustível lenha, conforme Tabela 3.

Segundo a GRI, o indicador EN5 visa prover informações de economia e conservação de energia, com foco nas “[...] melhorias tecnológicas e outras iniciativas de conservação de energia” (GRI, 2006a, p. 13). Observando-se os resultados do Tabela 3, pode-se considerar, que a tecnologia aplicada no aproveitamento do biogás trouxe resultados positivos.

Tabela 3 – Energia derivada de lenha economizada por empresa por unidade de produção com a recuperação e utilização do biogás produzido nas lagoas de decantação – indicador EN5.

Empresa	Combustível	Poder calorífico consumido por quilo de mandioca moída		Economia em kcal por tonelada de mandioca processada	Percentual de economia
		Antes do biogás	Após o uso do biogás		
C. Vale	Lenha	208 kcal	62,4 kcal	145,6	70%
Amidos Pasquini	Lenha	216 kcal	10,8 kcal	205,2	95%
Alimentos do Zé	Lenha	112 kcal	56 kcal	56	50%

Fonte: Dados da pesquisa.

O indicador EN8 (água consumida por toneladas de mandioca processada antes e depois dos biodigestores), apesar de ser importante do ponto de vista ambiental para a cadeia de processamento de mandioca, não teve alteração nos valores, portanto, não houve influência da instalação das coberturas nas lagoas de tratamento de efluentes na relação com consumo de água.

Com relação às emissões diretas de gases de efeito estufa por massa (EN16), a pesquisa obteve, por meio de medições efetuadas pela Planotec, os valores de biogás emitido no período de junho de 2013 a dezembro de 2013. Foi apurado o percentual de CH₄ presente em cada medição. As mensurações ocorreram em um dia por mês, em cada uma das indústrias, duas vezes no dia.

A Tabela 4 apresenta os resultados médios dessas medições. Pode-se verificar que o teor de CH₄ presente no biogás varia entre 55% e 60%. Observa-se que a Alimentos do Zé, que tem a produção voltada quase que exclusivamente para farinha de mandioca, têm a geração na ordem de um terço de CH₄ por tonelada de matéria-prima processada, quando comparada com a Amidos Pasquini, cujo produto é a fécula. Acredita-se que o motivo seja porque a produção de fécula gera maior quantidade de carga orgânica nos efluentes que a produção de farinha. O gestor da Alimentos do Zé relatou que, quando se produz polvilho (processo similar ao de fécula, com lavagem adicional da polpa da mandioca), foi observado aumento na geração de biogás.

Do ponto de vista de emissão de GEEs, a farinheira produz menor quantidade de CO_{2e} que as fecularias, por unidade de mandioca processada. Porém, do ponto de vista econômico, as fecularias se mostraram mais satisfeitas com a instalação dos equipamentos para aproveitamento do biogás, pois produz maior economia de lenha, reduzindo os custos do processo produtivo.

Tabela 4 – Geração média de biogás e percentual de metano – indicador EN16

Empresa	Toneladas de mandioca moída por hora na produção de fécula e/ou farinha	Produção média de biogás (normal metro cúbico por hora - nm ³ /h)	% médio de CH ₄ no Biogás	Produção média de CH ₄ por hora (nm ³ /h)	CH ₄ produzido por tonelada de mandioca processada (nm ³ /h)
C. Vale	20	460	55,1%	253	13
Amidos Pasquini	10	340	55,4%	188	19
Alimentos do Zé	10	78,4	59,9%	47	5

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 5 apresenta a conversão das emissões diárias de CH₄ em CO_{2e} (EN18) de acordo com a metodologia do IPCC. Foram calculadas as emissões evitadas de CO_{2e} considerando-se que, antes do sistema de aproveitamento do biogás, o CH₄ era emitido livremente na atmosfera e, posteriormente, passou a ser consumido nas caldeiras.

Tabela 5 – Geração média de CH₄ e emissões de CO_{2e} evitadas com a queima do gás (EN18)

Empresa	Produção média de CH ₄ (normal metro cúbico por hora - nm ³ /h)	Produção média de CH ₄ por dia (kg)	Emissões de CO _{2e} evitadas com a queima do CH ₄ por dia em toneladas	Emissões de CO _{2e} evitadas com a queima do CH ₄ por ano em toneladas
C. Vale	253	3401	71	17.858
Amidos Pasquini	188	2528	53	13.271
Alimentos do Zé	47	630	13	3.309

Fonte: Dados da pesquisa.

Na última coluna da Tabela 5, é possível verificar-se o total de emissões, em massa, de CO_{2e} que seriam emitidos em um ano, caso o biogás continuasse a ser dispersado sem a queima. Outras emissões indiretas também podem ser consideradas com a iniciativa, uma vez que lenha de plantações de eucalipto deixaram de ser usadas. Não foram computados, por exemplo, a necessidade de novas áreas para plantio e o uso de combustíveis para transporte de madeira, entre

outros.

O indicador EN20 é relativo às emissões do gás sulfídrico (H_2S). Esse gás pode ser prejudicial ao homem e ao meio ambiente: (i) causar irritações nos olhos e nariz e tonturas, diarreias, irritações no sistema respiratório e danos neurológicos (PRICE; CHEREMISINOFF, 1981); (ii) impactos ambientais relacionados com a geração de chuva ácida e odor nas vizinhanças das indústrias. O H_2S possui também a característica de ser corrosivo e poderá danificar equipamentos quando em contato direto.

Tabela 6 - Concentração de H_2S X tempo de exposição e efeitos

Concentração H_2S (ppm)	Tempo de Exposição	Efeitos
0,0005 - 0,13	1 minuto	percepção do odor
10-21	6-7 horas	irritação ocular
50-100	4 horas	conjuntivite
150-200	2-15 minutos	perda do olfato
200-300	20 minutos	inconsciência, hipotensão, edema pulmonar, convulsão, tontura e desorientação
900	1 minuto	inconsciência e morte
1.800-3.700	Instantes	Morte

Fonte: Lins et al. (2005).

Na Tabela 6, pode-se observar possíveis riscos à saúde humana provocado pelo H_2S , de acordo com sua concentração e o tempo de exposição e, na Tabela 7 verificam-se os valores médios, medidos nas empresas, de H_2S em partes por milhão (ppm). As medições compreenderam o período de junho de 2013 a dezembro de 2013, uma vez ao mês com duas medições.

Tabela 7 – Valores de H_2S mensurados no biogás gerado pelas lagoas de decantação – indicador EN20

Empresa	H_2S (ppm) média
C. Vale	123,4
Amidos Pasquini	123,1
Alimentos do Zé	127,8

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores das empresas estão muito próximos, pois o tipo de carga orgânica dos efluentes das três indústrias são similares. Comparando-se os valores da Tabelas 6 com os valores medidos da Tabela 7, verifica-se que as empresas deverão analisar a necessidade de instalação de sistemas de remoção do H_2S antes da queima do biogás.

Quanto ao impacto ambiental odor, foi constatado nas entrevistas, relatos diferenciados entre as empresas. A Amidonaria C. Vale declarou que o odor nunca foi um problema na planta. As outras empresas, informaram que perceberam impacto positivo com a cobertura das lagoas, pois antes era perceptível o odor proveniente das lagoas e depois de cobertas resultaram em significativa diminuição.

Outra melhora citada durante as entrevistas, porém não quantificadas, foi a redução das emissões atmosféricas de fuligem. A diminuição do uso de lenha e da fuligem gerada pela queima também melhorou o desempenho ambiental do processo quanto ao aspecto emissões atmosféricas de material particulado.

O indicador EN21 relacionado aos efluentes descartados no meio ambiente, seja em cursos d'água ou diretamente ao solo, não foi abordado pela pesquisa porque não se conseguiu efetuar as medições necessárias para apurar os valores de DBO e DQO e calcular o indicador.

Foram obtidos somente dados qualitativos por meio das entrevistas com os gestores: a C. Vale declarou que houve melhora considerável na qualidade dos efluentes, sendo que, após a cobertura das lagoas, os parâmetros em relação ao DBO observados em auditorias legais, permaneceram com maior folga com a tecnologia do biodigestor. As outras duas empresas não souberam afirmar se houve alteração nos efluentes em decorrência das coberturas das lagoas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Delimitou-se a pesquisa em um escopo que abrange a seguinte fronteira: moagem da mandioca, à queima do biogás e lenha nas caldeiras, tendo como uma das saídas, os resíduos orgânicos gerados, conduzidos por efluentes líquidos e tratados nas lagoas de decantação às quais se tornaram biodigestores.

O objetivo foi responder a questão de pesquisa:

Como avaliar o desempenho ambiental da tecnologia de aproveitamento energético de biogás?

Os principais aspectos e impactos ambientais pertinentes às atividades das três indústrias foram: consumo de energia e de água, geração de efluentes tóxicos (manipueira) e emissões atmosféricas de GEEs.

À partir desses aspectos, foram identificados indicadores de desempenho ambiental baseados nas diretrizes GRI para relatórios de sustentabilidade, e os critérios para escolha foram baseados nos principais aspectos e impactos das três empresas pesquisadas. Dos 30 indicadores sugeridos pela GRI, foram utilizados oito, ou seja, 26% do total.

Devido aos diferentes processos produtivos das empresas, verificou-se que a farinha gera menor carga orgânica nos efluentes do que as fecularias. Dessa forma, há menor geração de biogás. Isso evidencia que a farinha gera menores quantidades de GEEs durante o processo de tratamento de efluentes que as fecularias. Isso mostra que o aproveitamento de biogás é tão mais importante em agroindústrias quanto maior for a geração de efluentes com altas cargas orgânicas.

Entre as empresas pesquisadas, a Amidos Pasquini, conseguiu o máximo de economia com o aproveitamento do biogás, chegando a 95% na redução do uso de combustível (lenha). Os 5% ainda são necessários para manter acesa a chama piloto do gás queimado na caldeira. A C. Vale possui sistema que detecta automaticamente e, em tempo real, a quantidade de combustível que deve ser injetado no processo, isso maximiza o uso do sistema de biodigestores. Observa-se que há potencial para que melhorias tecnológicas no aproveitamento do biogás em empresas que alimentam o combustível nas caldeiras de forma manual, isto é, passar a utilizar a detecção automática de injeção de combustível.

Nesta pesquisa, apresentou-se o poder calorífico consumido de lenha, antes e depois do aproveitamento do biogás, por quantidade de mandioca processada. Utilizando-se essa unidade de medidas foi possível comparar as empresas dentro dos mesmos valores relativos por quilo de mandioca processada. A Amidos Pasquini e Alimentos do Zé processam valores próximos (200.000 kg) de mandioca diariamente e usam também valores próximos de energia (216 e 150 kcal respectivamente), mas, após o uso do biogás, os valores são bastante diferentes (10,8 e 56 kcal) para o uso da lenha.

Outro aspecto ambiental relevante para as indústrias pesquisadas é em relação ao consumo de água. Observou-se que não houve alteração nesse ponto quando se instalaram os biodigestores, não afetando o desempenho ambiental quanto a esse aspecto.

Provavelmente o aspecto ambiental avaliado mais importante, foi a emissão de GEEs. Isso porque o CH₄ era emitido livremente na atmosfera antes do aproveitamento do biogás nas caldeiras, e esse é de grande potencial para efeito de aquecimento global. A produção de farinha gera menor quantidade de GEEs, uma vez que para uma tonelada de mandioca processada, essa produz 5 nm³/h de CH₄, enquanto as fecularias produzem mais que o dobro dessa quantidade.

Em decorrência disso, é natural que a queima do biogás traga mais benefícios ambientais para as fecularias do que para as farinheiras. Isso é mostrado pelo indicador de emissões de CO_{2e} (evitados), derivado do CH₄, em uma projeção de um ano de produção. A empresa C. Vale, com a queima de biogás, evita emitir em torno de 18 mil toneladas, a Amidos Pasquini pouco mais de 13 mil e a Alimentos de Zé, evita emitir pouco mais de três mil toneladas de CO_{2e} em forma de CH₄ por ano.

Outro indicador é relativo às emissões atmosféricas de H₂S, um gás tóxico que impacta o meio ambiente, seja pela inalação direta por homens e animais, seja por meio das chuvas ácidas. Os resultados mostraram que os valores obtidos são de significância suficiente para que haja monitoramento constante pelos gestores das empresas desse indicador.

O último indicador representa a qualidade da água descartada pelas empresas, pois, conforme constatado na pesquisa, os efluentes das atividades processadoras de mandioca geram efluentes tóxicos ao meio ambiente. Este trabalho não conseguiu obter esses dados.

De uma forma geral, a investigação apontou vários pontos que mostraram o desempenho ambiental favorável ao uso da tecnologia de aproveitamento do biogás em indústrias processadoras de mandioca, sejam elas fecularia ou farinheiras. Dentro dos limites desta pesquisa pode-se inferir que é possível avaliar o desempenho ambiental do uso da tecnologia de aproveitamento energético de biogás baseando-se nos indicadores GRI e que as três empresas pesquisadas apresentaram resultados ambientais favoráveis.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVAY, R. **Muito além da economia verde**. São Paulo: Abril, 2012.
- ARAUJO, J. B.; OLIVEIRA, J. F. G. Proposta de metodologia para a análise e seleção de indicadores para sistemas de avaliação de desempenho em sustentabilidade. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE PESQUISA EM INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE. 2., 2008. São Carlos. **Anais...** São Carlos - SP: WIPS, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14001**: 2004 - Sistemas de Gestão Ambiental: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: 2004.
- BARANA, A. C.; CEREDA, M. P. Cassava wastewater (manipueira) treatment using a two-phase anaerobic biodigester. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 183-186, 2000.
- BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.
- BOONS, F.; BAUMANN, H.; HALL, J. Conceptualizing sustainable development and global supply chains. **Ecological Economics**, v. 83, p. 134-143, nov. 2012.
- CAMPOS, A. T. et al. Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 235-242, jan/abr 2006.
- CASSONI, V.; CEREDA, M. P. Avaliação do processo de fermentação acética da manipueira. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n.4, p. 101-113, 2011.
- C.VALE. **Breve historico C.Vale**. Disponível em: <http://www.cvale.com.br/nossa_empresa.html>. Acesso em: 26 jul. 2014.

- COLIN, X. et al. Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 8, p. 1602-1607, 2007.
- CREMONEZ, P. A. et al. Biodigestão anaeróbia no tratamento de água residuária de fecularia. **Acta Iguazu**, v. 2, n.2, p. 89-99, 2013.
- CUNICO, E.; CIRANI, C. B. S.; SOUZA, M. T. S. D. Eco-inovação: Implementação da tecnologia de biodigestores com desempenho ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 14., 2012, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ENGEMA, 2012.
- DEMAJOROVIC, J.; MATURANA, L. M. Desenvolvimento de produtos sustentáveis: purificadores de água Brastemp e Carpetes Interface. **RGSA – Revista de Gestão social e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 102-119, 2009.
- ESPM; SEBRAE. Estudo de mercado sobre a mandioca (farinha e fécula). **Série Mercado SEBRAE**, 08 jan. 2008.
- FELIPE, F. I.; RIZATO, M.; WANDALSEN, J. V. Potencial econômico dos resíduos de mandioca provenientes de fecularias no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. 47., 2009. Porto Alegre. **Anais...** Brasília: SOBER, 2009.
- GALLOPÍN, G. C. Indicators and their use: Information for decision-making. In: MOLDAN, B.; BILLHARZ, S. **Sustainability indicators**. Wiley, 1997. Cap. 1. Disponível em: <<http://www.scopenvironment.org/downloadpubs/scope58/ch01-introd.html>>. Acesso em: 29 ago. 2011.
- GLOBAL REPORTING INITIATIVE. **Conjunto de protocolos de indicadores**: EN. al Reporting Initiative, 2006a. Disponível em: <<http://www.globalreporting.org>>. Acesso em: 18 jun. 2013.
- GLOBAL REPORTING INITIATIVE. **Diretrizes para relatório de sustentabilidade**. Amsterdam: GRI, 2006b. Disponível em: <<http://www.globalreporting.org>>. Acesso em: 18 jul. 2013.
- GLOBAL REPORTING INITIATIVE. **What is GRI?**. Disponível em: <<https://www.globalreporting.org/information/about-gri/what-is-GRI/Pages/default.aspx>> Acesso em: 15 abr. 2014: GRI 2014.
- HEDBERG, C. J.; Von MALMBORG, F. The Global Reporting Initiative and corporate sustainability reporting in Swedish companies. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 10, n. 3, p. 153-164, 2003.
- HODGE, M.; OCHSENDORF, J.; FERNÁNDEZ, J. Quantifying potential profit from material recycling: a case study in brick manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 12, p. 1190-1199, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estatística de Produção Agrícola** – Junho de 2014. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201406.pdf>. Acesso em 11 jul. 2014: IBGE, 2014.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **IPCC Fourth Assessment Report**: Climate Change 2007.

- JAHN, T. G.; DADAM, A. P.; NICOLAU, V. P. Estudo da eficiência energética de forno a rolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 50, 2006, Blumenau, **Anais...** São Paulo: ABCERAM, 2006.
- LINS, E. A. M. et al. Avaliação da insalubridade causada pelo biogás de um aterro de resíduos sólidos urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais.** Rio de Janeiro - RJ: ABES, 2005.
- MARX, A. M.; PAULA, I. C. Proposta de uma sistemática de gestão de requisitos para o processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis. **Produção**, v. 41, n. 3, p. 417-431, 2011.
- OLIVEIRA, K. R. F. D.; IDE, C. N.; PAULO, P. L. Processos ecotecnológicos no tratamento de efluentes líquidos de feccularia. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA. 11., 2005, Campo Grande, **Anais...** Brasília - DF: Embrapa. 2005.
- PARIZOTTO, A. A. Minimização de custos econômicos e ambientais pelo uso de lagoas de sedimentação no tratamento de despejos de feccularias. **Revista de Ciências Empresariais da UNIPAR**, v. 3, n. 2, p. 211-218, 2002.
- PRICE, E. C.; CHEREMISINOFF, P. N. **Biogas**: production and utilization. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1981.
- SANT'ANNA JR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes**: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- SEIFFERT, M. E. B. ISO 14001 **Sistemas de gestão ambiental - implantação objetiva e econômica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: EMBRAPA, 1980.
- SENAI. RS. **Implementação de programas de produção mais limpa**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003.
- SILVA, F.; SIQUEIRA, J. R. M.; GOMES, M. Z. **A decomposição do modelo da Global Reporting Initiative (GRI) para avaliação de relatórios de sustentabilidade**. Revista do BNDES, v. 34, p. 102, 2010.
- SOUZA, L. S.; FIALHO, J. F. **A Cultura da mandioca para a região do Cerrado**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2003.. Disponível em: <http://paraiso.ifto.edu.br/docente/admin/upload/docs_upload/material_8f3ef977a3.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2012.
- STARR, K. et al. Life cycle assessment of biogas upgrading technologies. **Waste Management**, v. 32, n. 5, p. 991-999, 2012.
- STOCCHETTI, A. The sustainable firm: from principles to practice. **International Journal of Business Management**, v. 7, n. 21, p. 34-48, 2012.