

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

YURI KRAUCS

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA
GASEIFICADOR-GERADOR PARA APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE BIOMASSA VEGETAL**

**VOLTA REDONDA/RJ
2017**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

YURI KRAUCS

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA
GASEIFICADOR-GERADOR PARA APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE BIOMASSA VEGETAL**

Trabalho acadêmico apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental do
UniFOA como requisito à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia

Aluno:

Yuri Kraucs

Orientador:

Dr. Valmir Pereira

VOLTA REDONDA/RJ

2017



Fundação Oswaldo Aranha



Anexo 10
FOLHA DE APROVAÇÃO

Curso: Engenharia Ambiental

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

“ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA GASEIFICADOR-GERADOR PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE BIOMASSA VEGETAL”

Elaborado por:

Acadêmico (s)

Yuri Kraucs

Matrícula (s)

201311338

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental.

Aprovada em 24 de Novembro de 2017

Banca Examinadora:

Professor Orientador: Valmir Pereira, Doutor / UniFOA

Professora Avaliadora: Ana Carolina Callegario Pereira, Pós-Doutora / UniFOA

Professora Avaliadora: Cirlene Fourquet Bandeira, Doutora / UniFOA

Campus Universitário Olavo Góes
Setor Administrativo
Av. Paulo Ezequiel Neves, s/n, 1.325 Três Picos
27240-560 - Volta Redonda - RJ
Tel.: (24) 3340-8400

Campus Universitário João Pessoa Fagundes
Rua 24, n. 619 Tangará
27295-530 - Volta Redonda - RJ
Tel.: (24) 3348-1441

Campus Atarrás
Av. Lacerda Frangipani, n. 862, Atarrás
27295-530 - Volta Redonda - RJ
Tel.: (24) 3338-2764 - 3338-2925

Campus Colina
Rua Nova Senhora da Graça, n. 2734-010
27295-500 - Volta Redonda - RJ
Tel.: (24) 3340-8437

Campus Universitário José Vinícius
Shopping 16
Rua 23-B, Tagarete, Rua 16, n. 39
27260-130 - Volta Redonda - RJ
Tel.: (24) 3348-5991

Campus Universitário Lourivaldo Mello
Rua Lacerda, 1.084-Renô
27277-130 - Volta Redonda - RJ
Tel.: (24) 3344-1830

www.unifoa.edu.br

Às minhas filhas, Ângeles e Antonella, cujos sorrisos e alegria nos dão asas para sonhar. À minha esposa, Shargmelee, por seu amor e compreensão durante esta jornada. A meus pais, Eduardo e Silvia, meu irmão, Yan e meu tio, Sérgio, cujo apoio foi fundamental para meu desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo sopro da vida e pela inquietude em descobrir coisas novas que foi dada.

A meus pais, Eduardo e Silvia, e meu tio Sérgio por todo o amor, apoio e ensinamentos.

A minha esposa por compartilhar as bênçãos e dificuldades comigo, sempre oferecendo seu apoio. A nossas filhas, as maiores das bênçãos concedidas, que fazem tudo parecer possível e nos dão a força para continuar avançando.

A todos os colegas e amigos da universidade, por todos os momentos, alegrias, dificuldades, projetos e experiências compartilhadas.

Aos mestres e orientadores, por sua diligência no ensino da profissão e estímulo para a criação e desenvolvimento das ideias.

RESUMO

O aumento populacional e o desenvolvimento econômico / tecnológico leva ao aumento da demanda por insumos, dentre eles a energia e biomassa vegetal. Isso leva ao aumento do consumo de combustíveis fósseis, geração de GEEs e quantidade de resíduos sólidos descartados no meio ambiente. Neste contexto se destaca a importância da pesquisa e utilização de tecnologias de geração de energia renováveis como a gaseificação, que alia o descarte adequado de resíduos de biomassa vegetal e geração de energias térmica e elétrica. Através da pesquisa acadêmica de trabalhos relacionados ao tema, o objetivo principal do presente trabalho é avaliar a viabilidade econômica de uma central de gaseificação de biomassa vegetal e geração de energia elétrica. Visa-se ainda a formação de base de dados sobre a geração de biomassa por área urbana, eficiência de conversão, entre outras informações relevantes para a avaliação do projeto. O estudo demonstra a quantificação de biomassa vegetal produzida por unidade de área em centros urbanos, a eficiência esperada da conversão energética em motores de ignição interna, bem como a viabilidade econômica do projeto, considerando-se uma vida útil de 20 anos.

Palavras Chave: Biomassa; gaseificação; energia; fontes alternativas.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.1 | Justificativa..... | 15 |
| 1.2 | Objetivos..... | 15 |
| 1.2.1 | Objetivo principal..... | 15 |
| 1.2.2 | Objetivos secundários..... | 15 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 16 |
| 2.1 | A Matriz Energética do Brasil..... | 16 |
| 2.2 | Biomassa A Energia Que Vai Para O Lixo..... | 17 |
| 2.3 | Biomassa A Energia Que Vem Do Lixo..... | 18 |
| 2.4 | A História Da Gaseificação..... | 19 |
| 2.5 | Processo De Gaseificação..... | 20 |
| 2.6 | Combustíveis Na Gaseificação..... | 22 |
| 2.7 | Poder Calorífico E Utilização Do Gás..... | 22 |
| 2.8 | Efeitos Da Utilização Do Gás De Síntese No Meio Ambiente..... | 23 |
| 2.9 | Incentivos Ao Uso Da Energia De Biomassa..... | 24 |
| 2.9.1 | Política nacional de resíduos sólidos..... | 24 |
| 2.9.2 | PROINFA..... | 25 |
| 2.10 | Potencial de Produção de Biomassa..... | 26 |
| 3 | METODOLOGIA DE PESQUISA..... | 27 |
| 3.1 | Estimativa Da Capacidade De Geração..... | 27 |
| 3.1.1 | Calculo de produção de biomassa..... | 27 |
| 3.1.2 | Produção do gás de síntese e eficiência da conversão..... | 28 |
| 3.1.3 | Potencial energético por unidade de área de centros urbanizados e custo com descarte de resíduos..... | 29 |
| 3.1.4 | Potencial energético de geração..... | 29 |
| 3.2 | Ensaio de Viabilidade Econômica do Projeto..... | 30 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 32 |
| 4.1 | Produção de Biomassa..... | 32 |
| 4.2 | Produção do Gás de Síntese e Eficiência da Conversão..... | 33 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 4.3 | Potencial de produção energético por unidade de volume e massa de gás de síntese..... | 34 |
| 4.4 | Potencial energético por unidade de área de centros urbanizados e custo com descarte de resíduos..... | 35 |
| 4.5 | Dados de operação do sistema..... | 38 |
| 4.6 | Entradas e saídas do fluxo de caixa..... | 39 |
| 4.6.1 | Entradas e saídas do fluxo de caixa 01..... | 39 |
| 4.6.2 | Entradas e saídas do fluxo de caixa 02..... | 40 |
| 4.6.3 | Entradas e saídas do fluxo de caixa 03..... | 41 |
| 4.6.4 | Entradas e saídas do fluxo de caixa 04..... | 42 |
| 4.7 | Fluxos de caixa..... | 43 |
| 4.8 | Custo de Geração..... | 43 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 45 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 46 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 47 |
| | ANEXO 01..... | 52 |
| | ANEXO 02..... | 53 |
| | ANEXO 03..... | 54 |
| | ANEXO 04..... | 55 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 01: | Participação por tipo de fonte na matriz elétrica brasileira.... | 16 |
| Tabela 02: | Composição dos gases produzidos em gaseificador contracorrente a carvão vegetal. | 21 |
| Tabela 03: | Quantificação da média da produção de biomassa / m ² .mês em centros urbanos. | 32 |
| Tabela 04: | Taxa de produção de Gás de Síntese por unidade de massa de biomassa vegetal de acordo com diversos autores. | 33 |
| Tabela 05: | Conversão e comparação de resultados de produção unitária de energia por unidade de massa e volume de gás de síntese. | 35 |
| Tabela 06: | Potencial de geração de energia p/ há.mês..... | 36 |
| Tabela 07: | Produção de energia por unidade de área em centros urbanos. | 37 |
| Tabela 08: | Entradas e saídas do fluxo de caixa 01..... | 39 |
| Tabela 09: | Entradas e saídas do fluxo de caixa 02..... | 40 |
| Tabela 10: | Entradas e saídas do fluxo de caixa 03..... | 41 |
| Tabela 11: | Entradas e saídas do fluxo de caixa 04..... | 42 |
| Tabela 12: | Resumo do ensaio de viabilidade econômica dos cenários avaliados. | 43 |
| Tabela 13: | Custo da geração de energia por gás de síntese. | 44 |

LISTA DE GRÁFICOS E QUADROS

| | | |
|-------------|---|----|
| Gráfico 01: | Participação por tipo de fonte na matriz elétrica brasileira.... | 17 |
| Quadro 01: | Custos para produção de eletricidade com sistema diesel / gaseificador com consumo de 100 kg/h _{BIOMASSA} | 30 |
| Quadro 02: | Custos para produção de eletricidade com sistema diesel / gaseificador – 100 kg/h _{BIOMASSA} | 31 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 01: | Resíduos de Biomassa com potencial de aproveitamento energético..... | 18 |
| Figura 02: | Formas de aproveitamento energético da biomassa..... | 19 |
| Figura 03: | Perfil de temperatura e esquema de gaseificador contracorrente..... | 22 |
| Figura 04: | Veículos movidos a gás de síntese: Carro movido a gasogênio à esquerda na Itália e um trator adaptado, à direita, nos Estados Unidos da América..... | 23 |
| Figura 05: | Exemplo de ciclo fechado de produção de energia com base em biomassa lignocelulósica..... | 24 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ANEEL | Agencia nacional de energia elétrica |
| BEM | Balanço energético nacional |
| COFINS | Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social |
| EMBRAPA | Empresa brasileira de pesquisa agropecuária |
| GEE's | Gases do efeito estufa |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPI | Imposto sobre produto industrializado |
| ICMS | Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação |
| IN SRF | Instrução Normativa da Secretaria da Receita Federal |
| IPCA | Índice nacional de preços ao consumidor amplo |
| MME | Ministério de minas e energia |
| OIE | Oferta interna de energia |
| PASEP | Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público |
| PCE | Pequena Central Elétrica |
| PIS | Programa de Integração Social |
| PROINFA | Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica |
| TARS | Tipos variados de óleos densos e de cor negra obtidos a partir de matéria orgânica |
| TMA | Taxa mínima de atratividade |
| VPL | Valor presente líquido |

1 INTRODUÇÃO

A energia, em suas diversas formas, sempre foi um dos fatores limitantes ao desenvolvimento humano. O constante crescimento populacional e econômico-tecnológico em nível mundial leva ao aumento da demanda por energia de maneira exponencial ao longo das últimas décadas. O crescimento resultante, que ocorre desde a revolução industrial, é algo não sustentável, representando o futuro colapso civil e ambiental do planeta se nada for alterado. Com o grande desafio de tornar o crescimento algo sustentável, em uma economia onde cerca de 87,6 % da energia mundial ainda é gerada por fontes não renováveis como carvão mineral, gás natural, diesel, energia nuclear, entre outros (BEN, 2016), pesquisadores de diversas regiões do mundo estudam alternativas viáveis à geração de energia de fontes não renováveis, que liberam GEEs e aumentam a pressão sobre o meio ambiente, cada vez mais vulnerável.

As alternativas mais exploradas atualmente constituem a exploração de fontes de energia renováveis, como a eólica, fotovoltaica, marés e geotérmica mais atualmente, além da mais comumente conhecida e difundida no Brasil, a energia hidroelétrica. Estas opções garantem uma geração de energia com as menores emissões de GEEs para a atmosfera, contudo não influem expressivamente na redução do passivo ambiental gerado atualmente no Brasil (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN, 2016).

O próximo passo do futuro da geração de energia não é apenas a geração a partir de fontes renováveis e com baixo impacto, mas também a transformação de rejeitos em energia. O Brasil, como um país de grande capacidade de produção primária, gera uma alta quantidade de resíduos de biomassa vegetal cujo poder calorífico potencialmente pode ser recuperado através de processos de oxidação termoquímicos, a exemplo da gaseificação da biomassa vegetal (CIFERNO, 2002).

O conceito do uso da biomassa vegetal como fonte de energia não é novo, e vem sendo utilizado como fonte primária de energia a milênios, sendo uma das primeiras fontes de energia utilizada pela civilização humana. Já a produção de energia elétrica através da combustão dos gases e líquidos combustíveis gerados

a partir da biomassa vegetal, não está presente no cotidiano, existindo ainda apenas projetos com fins de pesquisa no Brasil e no mundo. Segundo CIFERNO (2002), gaseificação é a conversão de uma fonte orgânica de carbono (biomassa) através de sua oxidação parcial, com a produção de gás de síntese ou “*syngas*” constituído principalmente de Hidrogênio (H_2) e monóxido de carbono (CO), com pequenas quantidades de gás carbônico (CO_2), água (H_2O), hidrocarbonetos mais complexos sob forma de alcatrões e coque (TARS) e nitrogênio (N_2), além de materiais particulados. A pirolise completa da biomassa vegetal gera como resíduos sólidos apenas cinzas, um material com massa e volume muito menores que o material inicial.

A queima dos gases combustíveis gerados em um sistema gaseificador-gerador é um processo ainda estudado e desenvolvido para pequenos portes, e com custo ainda elevado, sendo o melhor potencial de uso em áreas afastadas dos grandes centros urbanos, onde a presença e custo da eletricidade são caros, ou inexistentes (HOFFMAN, 1999).

Uma forma de tornar esta fonte de energia mais atraente é buscar a multifunção do projeto. Atualmente cerca de 25% de todos os resíduos residenciais e 40% de todo o resíduo industrial é composto por papel, papelão, madeiras, e outros tipos de biomassa que tem um custo financeiro e ambiental para seu descarte. Estes resíduos representam um potencial energético que atualmente é desperdiçado. A gaseificação e geração de energia pode ser uma alternativa viável na destinação ambientalmente correta destes resíduos, eliminando-se cerca de 95% do volume de biomassa e seus custos de destinação, além de gerar energia para o aproveitamento humano (RIBEIRO, et al. 2014).

A utilização da gaseificação da biomassa tem o potencial para ajudar a resolver problemas ambientais relacionados a destinação de resíduos e energia. A carga poluente gerada pelo descarte de resíduos de biomassa lignocelulósica no meio ambiente, como subproduto da indústria de transformação de produtos de base vegetal de madeira, no meio ambiente pode ter seu potencial energético explorado. Além do potencial para processamento químico e uso para síntese de outros compostos químicos de importância comercial, como metanol, etanol, gás hidrogênio, entre outros (CHAVES, 2007).

1.1 Justificativa

O ciclo vicioso gerado pelo aumento da demanda de energia e, subsequentemente, aumento da geração de resíduos descartados no meio ambiente e a constante busca por fontes viáveis de energia justificam os esforços e estudos para o desenvolvimento de tecnologias e processos que reduzam o descarte de resíduos no meio ambiente e aumente a disponibilidade energética no país.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo principal

Realizar um estudo de viabilidade econômica de uma Pequena Central Elétrica (PCE) baseando-se no uso da tecnologia de gaseificação em modelo de gaseificador contracorrente e queima do gás de síntese gerado em motor de combustão interna, acoplado a um gerador elétrico. Realizando-se a destinação responsável e conversão de resíduos de biomassa vegetal em energia elétrica.

1.2.2 Objetivos secundários

- Estimar a capacidade de geração do sistema.
- Estabelecer a relação entre a massa, em quilogramas de biomassa e o volume, em m³ de gás de síntese gerado.
- Estabelecer a eficiência do gerador abastecido com gás de síntese.
- Estabelecer a quantidade de resíduos de biomassa florestal gerados por unidade de área em ambiente urbano, como fonte para abastecimento do sistema gaseificador / gerador.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Matriz Energética No Brasil

A Oferta Interna de Energia (OIE) é a demanda total de energia que o país demandou em um dado ano. Apesar do efeito da crise Político-Econômica instalada, a demanda por energia cresce constantemente no país. Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME) (2015), o crescimento da demanda entre 2013 e 2014 foi de 3,1%, ante um crescimento simbólico do Produto Interno Bruto (PIB) de 0,1%. Ainda segundo o MME (2015) atualmente a matriz energética elétrica constitui-se de 24,6% de fontes não renováveis e 75,51% de fontes renováveis, segundo dados do ano base de 2015. Embora a composição da matriz energética elétrica brasileira seja predominantemente de fontes renováveis, houve uma queda na participação das mesmas na matriz elétrica brasileira da ordem de 9% entre os anos de 2012, quando a participação era de 84,6 %, e 2015, onde a participação das fontes renováveis foi de 75,51 %, conforme demonstrado na tabela 01.

Tabela 01: Participação por tipo de fonte na matriz elétrica brasileira.

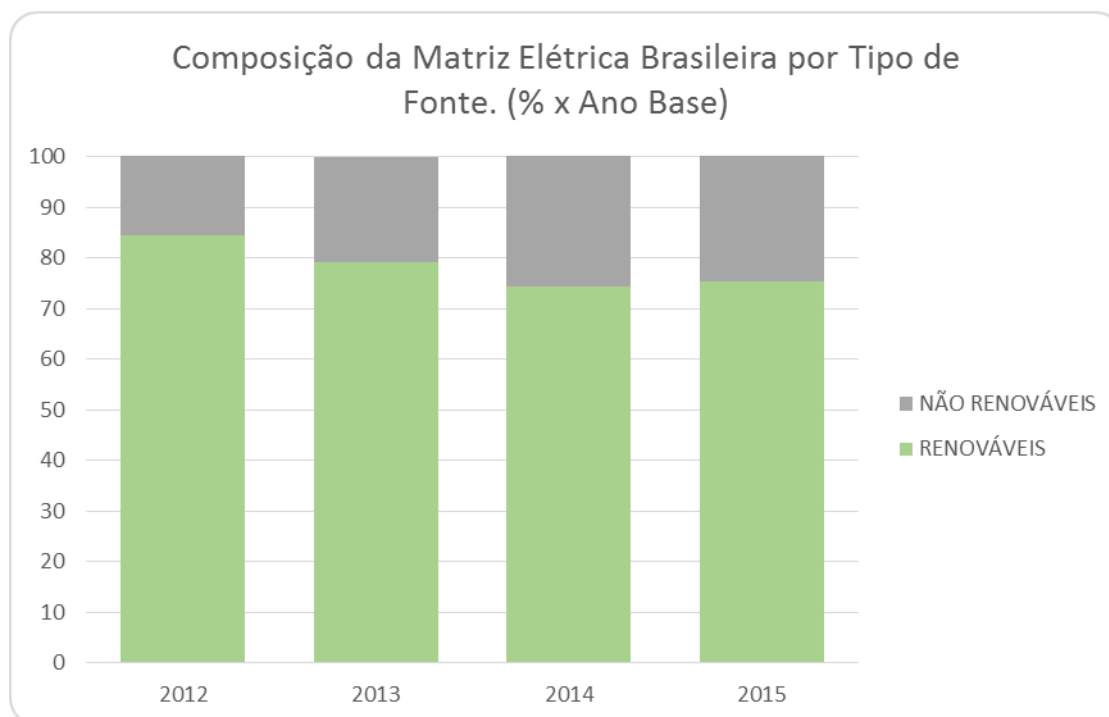
| FONTES | ANO BASE (% da Matriz Elétrica) | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| RENOVÁVEIS | | | | |
| Hidráulica | 76,9 | 70,6 | 65,2 | 64 |
| Biomassa | 6,8 | 7,6 | 7,3 | 8 |
| Eólica | 0,9 | 1,1 | 2 | 3,5 |
| Solar Fotovoltaica | * | * | * | 0,01 |
| TOTAL DE FONTES RENOVÁVEIS | 84,6 | 79,3 | 74,5 | 75,51 |
| NÃO RENOVÁVEIS | | | | |
| Gás natural | 7,9 | 11,3 | 13 | 12,9 |
| Derivados de Petróleo | 3,3 | 4,4 | 6,9 | 4,8 |
| Carvão e Derivados | 1,6 | 2,6 | 3,2 | 4,5 |
| Nuclear | 2,7 | 2,4 | 2,5 | 2,4 |
| TOTAL DE FONTES NÃO RENOVÁVEIS | 15,5 | 20,7 | 25,6 | 24,6 |

* Não há dados disponíveis.

Fonte: (Adaptado de Balanço Energético Nacional - BEN, 2012 – 2015)

Fatores como o aumento da demanda e a baixa produção das usinas hidroelétricas em períodos de estiagem levou ao uso de fontes não renováveis para a geração da energia necessária para suprir o espaço deixado pelas hidroelétricas. Tornando assim a geração de energia no país mais poluente, com um aumento da ordem de 9% e um máximo de 10% entre 2012 e 2014, conforme o demonstrado no gráfico 01 (BEN, 2012 – 2015).

Gráfico 01: Participação por tipo de fonte na matriz elétrica brasileira.



Fonte: (Adaptado de BEN, 2012 – 2015)

A tendência evidenciada do aumento do uso das fontes de energia não renováveis, em detrimento das renováveis acende um alerta sobre a necessidade de pesquisa e aprimoramento constantes do uso das fontes renováveis de energia no país (BEN, 2012 – 2015).

2.2 Biomassa a Energia Que Vai Para o Lixo

A totalidade da energia utilizada no nosso planeta provém direta ou indiretamente da energia solar, sob forma de biomassa e combustíveis fósseis, excetuando-se as fontes geotérmicas e nucleares. As plantas convertem a

energia solar em energia química, na forma de moléculas de carboidratos (PRADO e CASALI, 2006), uma forma de energia aproveitável, pelos seres vivos. Através da aplicação de processos de transformação, esta energia pode ser convertida em eletricidade, combustível ou calor. Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa (ANEEL, 2002). Os seres humanos aproveitam essa energia mesmo antes do início das civilizações, para produção de luz e calor. Atualmente, os vários usos da biomassa pelo ser humano, desde a agricultura, transformação de materiais lignocelulósicos e indústria alimentícia, geram grandes quantidades de resíduos de biomassa, que, na falta de um descarte correto, como a compostagem e queima, são descartados na natureza, onde eventualmente serão decompostos, mas aumentam a pressão poluidora no meio ambiente.

Figura 01: Resíduos de Biomassa com potencial de aproveitamento energético



Fonte: (PORTAL BIOENERGIA, 2017)

2.3 Biomassa a Energia Que Vem do Lixo

Os resíduos de biomassa da indústria de transformação de materiais lignocelulósicos, quando não descartados, são reaproveitados na queima em caldeira para aproveitamento de energia térmica a muitos anos. Com a preocupação crescente sobre o impacto do consumo de combustíveis fósseis no planeta, desenvolvem-se maneiras de se utilizar com mais eficiência as fontes de

energia alternativas aos combustíveis fósseis. Atualmente as três formas principais de aproveitamento da biomassa na geração de energia são: (Figura 02). (BEN, 2016; CIFERNO, 2002)

- Combustão direta para geração de calor – mais utilizado.
- Transformação Bioquímica – Combustíveis líquidos, sendo o etanol como principal e biogás.
- Gaseificação – Oxidação térmica da biomassa e formação da mistura de gases combustíveis denominado gás de síntese.

Figura 02: Formas de aproveitamento energético da biomassa.



Fonte: (Adaptado de ABESCO, 2016; PENSAMENTO VERDE, 2013)

2.4 A História Da Gaseificação

A Tecnologia da utilização de gasogênios data do fim do século XIX, quando foram utilizados em motores estacionários. As primeiras experiências com motores móveis iniciaram-se na primeira década do século XX, sem maiores progressos e foram desativados no início da segunda década. Posteriormente, Berliet, Panhard e Renault, industriais franceses, procuraram fazer adaptações às tecnologias existentes, obtendo-se bons resultados na adaptação de gasogênios

para motores de ciclo Otto e Diesel, como tratores e colhedoras (SIQUEIRA, 1981).

O interesse pelo uso dos gaseificadores aumentou com a ocorrência da segunda guerra mundial, devido a dificuldade de acesso ao petróleo na época. Isto estimulou o uso de gaseificadores em pequena escala para transporte urbano e aquecimento na Europa. Após o fim da segunda guerra, devido à volta da estabilidade comercial e baixo preço dos derivados de petróleo, o uso da gaseificação perdeu espaço (BIODIESELBR, 2009).

Apenas a partir de 1970, com o choque do petróleo, que elevou drasticamente os preços do barril do petróleo, o interesse pela gaseificação em pequena escala retornou, gerando diversas linhas de pesquisa para o uso mais eficiente da biomassa, com os objetivos de aquecimento, geração de energia em polos de uso da biomassa principalmente (FAAJ et al., 2005). Como é o caso das pesquisas realizadas pela EMBRAPA, no Centro nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão, que realizou experiências com gaseificadores para uso na irrigação, comprovando sua viabilidade técnica e econômica para estes fins. Na ELETROBRÁS foi desenvolvido o sistema para a geração de energia elétrica, obra conjunta da Rio-Light e Eletrobrás. (CHAVES, 2007)

2.5 Processo de Gaseificação

A gaseificação consiste no processo de conversão termoquímica, a elevadas temperaturas, da biomassa vegetal em gás de síntese com potencial energético e cinzas como resíduo. O gás de síntese possui uma parte combustível formado por monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H₂), metano (CH₄) e outros gases combustíveis. Além disso o gás de síntese apresenta contaminantes como dióxido de carbono, coque, cinzas, alcatrão e outros óleos pesados, o qual necessita passar por um processo de limpeza para anterior a sua utilização (BAIN et al., 2002).

O gás produzido é chamado de gás pobre, por seu baixo poder calorífico, da ordem de 900 a 1450 kcal/N.m³, ou 3 a 6 MJ/Nm³, como demonstrado na Tabela 02 (ASSUMPÇÃO, 1981; DIAS, 1986; SANTOS, 1981).

Tabela 02: Composição dos gases produzidos em gaseificador contracorrente a carvão vegetal.

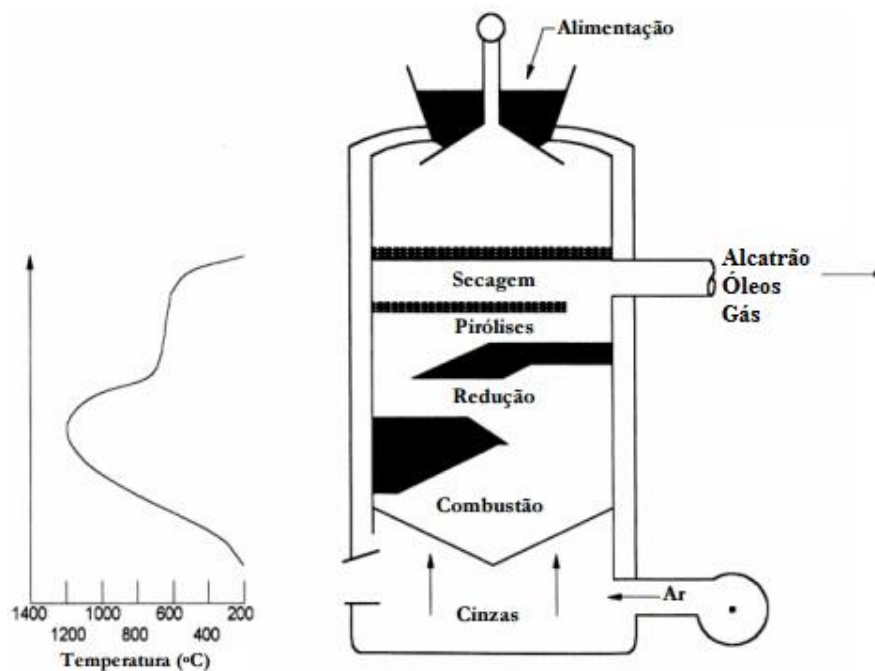
| Características dos Gases | Participação na Composição (%) |
|--|--------------------------------|
| Componentes | |
| Monóxido de carbono (CO) | 28,00 |
| Hidrogênio (H ₂) | 15,00 |
| Metano (CH ₄) | 1,50 |
| Hidrocarbonetos leves (C _m H _n) | - |
| Dióxido de carbono (CO ₂) | 8,00 |
| Nitrogênio (N ₂) | 47,50 |
| Poder calorífico | 1.200 kcal/Nm ³ |

Fonte: (Adaptado de ASSUMPÇÃO, 1991)

Segundo Chaves (2007) o processo de gaseificação ocorre em quatro etapas principais, demonstradas na figura 03, em zonas distintas do gaseificador, que são:

- Secagem – Remoção da humidade do material por evaporação, usando o calor das zonas inferiores, o que melhora a conversão da biomassa em gás.
- Pirólise / Destilação – Degradação térmica irreversível da biomassa, gerando as frações sólida (carvão), líquida (alcatrão e outros óleos) e gasosa (vapor de água, CO₂...).
- Redução – conversão do carvão em gás pela reação com o gás quente vindo da zona de oxidação. É onde são gerados a maioria dos gases combustíveis do gás de síntese: H₂, CO e CH₄.
- Combustão / Oxidação – Combustão de parte da biomassa para fornecimento de energia para as reações.

Figura 03: Perfil de temperatura e esquema de gaseificador contra-corrente.



Fonte: (Adaptado de CHAVES, 2007)

2.6 Combustíveis na Gaseificação

Os combustíveis mais utilizados na gaseificação são a lenha (diversas espécies), coco, carvão mineral, carvão vegetal e restos de culturas agrícolas, esta última a qual tem sido constante foco de estudos com objetivo de melhoramento da eficiência e uso da energia em indústrias de transformação de biomassa e agronegócio. Sendo a lenha e carvão vegetal os mais empregados para gaseificação no Brasil. (MIGLIORINI et al).

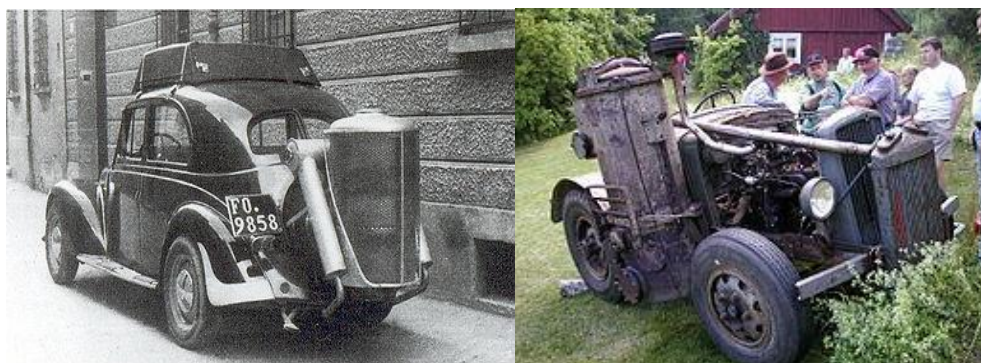
2.7 Poder Calorífico e Utilização do Gás

O poder calorífico do gás gerado pelo processo de gaseificação varia muito conforme o agente oxidante usado.

No caso do uso do ar, a adição de N_2 à mistura do gás, na proporção de 80% de N_2 para 20% de O_2 , gera uma grande diluição do gás, o que leva a um poder calorífico baixo, da ordem de 3 a 6 MJ/Nm³ (900 a 1450 kcal/Nm³),

chamado de gás pobre e mais utilizado para aquecimento por combustão direta, ou geração de energia elétrica pela combustão em motores adaptados, como em exemplo demonstrado na Figura 04 (CIFERNO 2002).

Figura 04: Veículos movidos a gás de síntese: Carro movido a gasogênio à esquerda na Itália e um trator adaptado, à direita, nos Estados Unidos da América.



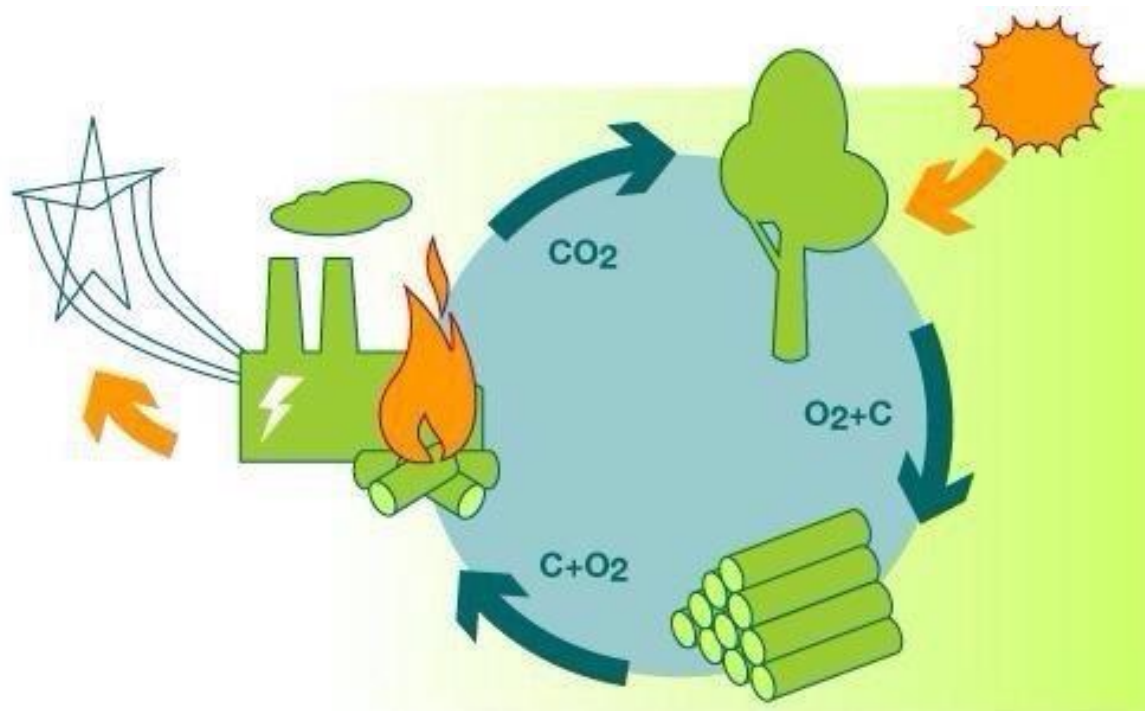
Fonte: (BANDINI, 2006; *Per Larssons Museum,2006*)

Ainda de acordo com Ciferno (2002) o uso do oxigênio puro ou uma mistura O_2 e vapor d'água, o poder calorífico sobe a uma faixa de 10 a 19 MJ/Nm³ (2380 a 4500 kcal/Nm³). Com um gás mais puro, este é mais utilizado para a obtenção de combustíveis líquidos como etanol e biodiesel.

2.8 Efeitos da Utilização do Gás de Síntese no Meio Ambiente

O uso das tecnologias de gaseificação traz grandes benefícios ao meio ambiente, uma vez que retira-se de circulação resíduos poluentes que gerariam GEE's com sua decomposição como CH_4 e CO_2 principalmente, e transformam-se estes resíduos em energia, proveniente de uma fonte renovável, aumentando a disponibilidade energética e fechando um ciclo de carbono. Em teoria a utilização de fontes alternativas tende a prevenir a obtenção de energia através da queima de combustíveis fósseis o que pode favorecer um "equilíbrio" da emissão dos GEEs para meio ambiente, conforme ilustrado na figura 05.

Figura 05: Exemplo de ciclo fechado de produção de energia com base em biomassa lignocelulósica.



Fonte: (BIOBRIKET, 2015)

2.9 Incentivos ao Uso da Energia de Biomassa

Devido a grande necessidade de diversificação de fontes de energia e do aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira, instituições governamentais têm oferecido ou planejam oferecer incentivos à produção de energia com base na utilização de fontes alternativas (MME,2015; TAVARES, 2007).

2.9.1 Política nacional de resíduos sólidos

Um grande avanço para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias manejo e reaproveitamento energético de resíduos se deu com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305 de 02/08/2012), que tem entre seus princípios básicos e objetivos o desenvolvimento sustentável (Art 6º- IV), a articulação e cooperação entre o poder público e o empresarial (Art 6º- VI) na gestão de resíduos sólidos, adoção, desenvolvimento e aprimoramento de

tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais (Art. 7º - IV) e valoração dos resíduos sólidos e exploração comercial.

O art. 8 estabelece seus instrumentos, dentre os quais cita-se o caput VI “a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos” e caput VII “a pesquisa científica e tecnológica” e caput IX “os incentivos fiscais e tecnológicos”. Logo, obtém-se base legal para o desenvolvimento e financiamento de pesquisas voltadas à temática do presente trabalho, de manejo de resíduos sólidos de biomassa vegetal e aproveitamento energético.

2.9.2 Programa de Incentivo às Fontes de Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA

Para auxiliar a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira, o governo deu origem a programas como o PROINFA, de fomento da implantação de plantas geradoras de energia elétrica utilizando formas alternativas, como a Eólica, a Biomassa e as Pequenas Centrais hidroelétricas, também conhecidas como “Fio d’água” (Decreto nº 5.025, de 2004).

São disponibilizados créditos, através de financiamento com recursos do BNDS a investimentos em projetos de geração de energia através de fontes renováveis, através da lei nº 10.438/02.

Há, ainda, incentivos fiscais para estimular a comercialização dos equipamentos utilizados para a geração de energia alternativa, reduzindo ou zerando a incidência dos principais impostos como Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI, Imposto de Importação, Programa de Integração Social – PIS, Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público - PASEP, Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social - Confins e Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - ICMS (TAVARES, 2007).

2.10 Potencial de Produção de Biomassa

O plantio de culturas específicas para a produção de biomassa torna o uso da superfície, e logo, o processo de gaseificação mais produtivo e eficiente. Como o âmbito deste trabalho é apenas o uso da biomassa de refugo gerada após processos, ou da poda de áreas urbanas arborizadas, será contemplada a geração média de biomassa por área neste último tipo de fonte de biomassa, com o objetivo de estimar a quantidade de biomassa gerada por unidade de área em centros urbanos e, logo, o potencial de produção de energia elétrica por unidade de área.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para a elaboração do presente trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com trabalhos acadêmicos, experimentais e teóricos, desenvolvidos em temática similar ao presente trabalho.

Os dados foram trabalhados de forma a obter-se os parâmetros base para os cálculos de viabilidade econômica e os objetivos secundários.

O presente trabalho constitui-se de uma pesquisa acadêmica qualitativa e quantitativa, abordando o tema do aproveitamento energético de resíduos de biomassa vegetal.

3.1 Estimativa da Capacidade de Geração

3.1.1 Cálculo de produção de biomassa

Para o cálculo de produção de biomassa por unidade de área, foram utilizados os dados obtidos por Cortez Lima (2012) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2015) acerca da quantidade em volume (m³) de poda vegetal em diversas cidades.

Adotando-se o peso específico de madeira proveniente do desbaste de árvores em média =148,4 kg/m³, foi possível o cálculo da média do volume e de peso da biomassa vegetal produzida por unidade de área. (CASTRO ALVES 2012).

A equação utilizada para o cálculo do peso médio da biomassa vegetal produzida por unidade de área é representada pela Eq. 01.

$$P_B = [V_{BT} / A_U] \cdot Y \quad (1)$$

Onde:

P_B = Peso de Biomassa produzida por hectare.mês (kg/ha.mês)

A_U = Área Urbanizada (ha)

V_{BT} = Volume de biomassa total produzida por mês (m³/mês)

Y = Peso específico de madeira de desbaste arborícola (kg/m³)

Para o cálculo do volume de biomassa produzida por unidade de área foi utilizada a equação (2).

$$V_B = [V_{BT} / A_U] \quad (2)$$

Onde:

V_B = Volume de Biomassa produzida por hectare.mês ($m^3/ha.mês$)

A_U = Área Urbanizada (ha)

V_{BT} = Volume de biomassa total produzida por mês ($m^3/mês$)

3.1.2 Produção do gás de síntese e eficiência da conversão

O valor de referência para a quantificação da geração de gás de síntese por unidade de massa de biomassa foi obtido através da média simples de resultados obtidos em diferentes trabalhos científicos, para o mesmo parâmetro.

Os estudos analisados tiveram como foco central o uso do gás de síntese para geração de energia elétrica a partir da queima em motor de combustão interna, acoplado a um gerador compatível.

Os experimentos e os resultados foram obtidos observando-se a taxa de consumo de gás, a quantidade de energia gerada em kWh, e eficiência de geração com o uso do gás, em comparação com a gasolina uma vez que variou-se a carga de potência no motor. Sob condições normais de operação com o combustível normal (gasolina) a carga de operação do motor indica a quantidade de energia que será produzida no gerador. Como o poder calorífico do gás de síntese é menor que o poder calorífico da gasolina, a quantidade de energia gerada e a carga do motor tende a ser diferentes (CHAVES, 2012; FIGEREDO, 2012).

3.1.3 Potencial energético por unidade de área de centros urbanizados e custo com descarte de resíduos

O potencial de geração de energia por unidade de área em centros urbanos foi obtido através do produto dos dados levantados quanto a produção de biomassa por unidade de área em centros urbanos e a média de produção de energia por unidade de massa, de acordo com a relação disposta na equação (3).

$$P_G = P_{EM} \cdot P_B \quad (3)$$

Onde:

P_G = Potencial de geração (kWh/ha.mês)

P_{EM} = Constante de produção de energia por unidade de massa (kWh/kg)

P_B = Peso de Biomassa produzida por hectare.mês (kg/ha.mês)

O custo da destinação de resíduos de biomassa vegetal foi calculado a partir do produto do peso total de biomassa produzida por mês por cada cidade e o custo de disposição em aterro sanitário de R\$ 123,00 por tonelada, por meio da equação (4) (SONTAG ET. AL. 2014).

$$C_D = C_A \cdot P_{TB} \quad (4)$$

Onde:

C_D : Custo para a destinação de biomassa vegetal (R\$/mês)

C_A : Custo de disposição de resíduos em aterro por tonelada (R\$/ton)

P_{TB} : Peso total produzida de biomassa por mês (ton/mês)

3.1.4 Potencial energético de geração

Potencial de geração de energia elétrica é o produto do fluxo de massa no gaseificador (\dot{m}_B), o tempo de trabalho em horas (t) e a produção de energia por unidade de massa (P_{EM}).

O potencial energético gerado ficará em função do tempo de operação do sistema, de acordo com a equação 05.

$$P_G = \hat{m}_B \cdot t \cdot P_{EM} \quad (5)$$

$$P_G = 2,13 \cdot t \text{ kWh}$$

Onde:

$$\hat{m}_B = 100 \text{ kg/h}$$

$$P_{EM} = 2,13 \text{ kWh/kg}$$

$$t = \text{Tempo de operação (h)}$$

3.2 Ensaio de Viabilidade Econômica do Projeto

Os custos e fluxo de caixa foram calculados com base no trabalho de Kinto (et al., 2002), de acordo com a quadro 01, e corrigidos de acordo com o índice inflacionário do período de 2002 – 2015, e adotando-se a cotação de dólar comercial média de novembro de 2015 de USD \$ 1,00 – BRL R\$ 3,30.

Quadro 01: Custos para produção de eletricidade com sistema diesel / gaseificador com consumo de 100 kg/h_{BIOMASSA}.

| Descrição | Quantidade |
|--|----------------------|
| Capital de Investimento (Incluindo equipamento e instalação) | \$ 75.000,00 |
| Consumo de Biomassa | 100 kg/h |
| Consumo de Diesel | 10 l/h |
| Mão de obra | 2 operadores / turno |
| Manutenção | \$ 750,00 /ano |

Fonte: (Adaptado de KINTO et al., 2002).

Com base neste contexto, foram idealizados 4 cenários básicos de funcionamento para o sistema, cujo fluxo de caixa varia em função do preço do kWh e do tempo de operação do sistema, com um fator de operação de 60%. As taxas de custo do kWh, foram adotadas a partir das taxas praticadas pela

concessionária de energia elétrica AMPLA em 2015 de acordo com o exposto no quadro 02, no valor de aproximadamente R\$ 0,50 /kWh e extrapoladas para um cenário de energia mais caro, com um custo de R\$ 0,90 /kWh e um período de operação previsto de 20 anos.

Quadro 02: Preço da energia elétrica, praticado entre 2015 e 2016, em R\$/kWh

| Descrição | Preço Unitário (R\$ /kWh) |
|--|---------------------------|
| B1 – Residencial | 0,50692 |
| B2 - Residencial Baixa Renda | |
| Consumo mensal superior a 30 Kwh e inferior a 100 kWh | 0,17537 |
| Consumo mensal superior a 30 Kwh e inferior a 100 kWh | 0,30064 |
| Consumo mensal superior a 100 Kwh e inferior a 220 kWh | 0,45095 |
| Consumo mensal superior a 220 kWh | 0,50106 |

Fonte: (Adaptado de AMPLA ,2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Produção de Biomassa

Através do trabalho com os dados obtidos de Cortez Lima (2012), Castro Alves (2012) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2015) foi possível a confecção da Tabela 03, que detalha resultados de quantificação de produção de biomassa relacionada a área das cidades estudadas.

Obteve-se a média do volume e de peso da biomassa vegetal produzida por unidade de área de 1,41 (m³/ha.mês) e 209,11 (kg/ha.mês) respectivamente, conforme detalhado na tabela 03.

Tabela 03: Quantificação da média da produção de biomassa / m².mês em centros urbanos.

| CIDADE | Área total urbanizada (ha) | Volume de Biomassa produzida (m ³ /mês) | Volume de Biomassa produzida por unidade de área (m ³ /ha.mês) | Peso específico de madeira proveniente do desbaste de árvores em média (kg/m ³) | Peso de Biomassa produzida por unidade de área.mês (kg / há.mês) | Peso total de Biomassa produzida por dia (ton/ha.dia) | Peso de Biomassa produzida por mês (ton/mês) |
|----------------------------|----------------------------|--|---|---|--|---|--|
| Maringá- PR | 992,00 | 2160,00 | 2,18 | 148,40 | 323,13 | 10,68 | 320,54 |
| Parnamirim - RN | 12000,00 | 70754,72 | 5,90 | 148,40 | 875,00 | 350,00 | 10500,00 |
| Aracaju - SE | 2191500,00 | 1004,08 | 0,0005 | 148,40 | 0,07 | 4,97 | 149,01 |
| Goiânia - GO | 739700,00 | 22035,04 | 0,03 | 148,40 | 4,42 | 109,00 | 3270,00 |
| Londrina - PR | 165000,00 | 36388,14 | 0,22 | 148,40 | 32,73 | 180,00 | 5400,00 |
| Natal - RN | 16700,00 | 16172,51 | 0,97 | 148,40 | 143,71 | 80,00 | 2400,00 |
| São Bernardo do Campo - SP | 40900,00 | 220,00 | 0,005 | 148,40 | 0,80 | 1,09 | 32,65 |
| São José dos Campos - SP | 35400,00 | 20215,63 | 0,57 | 148,40 | 84,75 | 100,00 | 3000,00 |
| MÉDIA | 451613,14 | 24104,30 | 1,41 | 148,40 | 209,11 | 119,24 | 3577,08 |

Peso específico de madeira de desbaste de árvores em média (Kg/m³)[CASTRO ALVES 2012] = 148,4

Fonte: (Adaptado de CORTEZ LIMA, 2012; IBGE, 2015.)

A avaliação da produção de biomassa mostrou uma boa produção em áreas urbanas densamente arborizadas como Maringá e Parnamirim, com 323 e 875 kg_{BIOMASSA}/ha.mês, e produção pequena nos grandes centros urbanos como

Aracaju e Goiânia, com 0,67 e 4,42 kg_{BIOMASSA}/ha.mês, respectivamente. A grande variação entre as cidades avaliadas pode ter sua causa na forma de manejo e registro dos resíduos de biomassa vegetal praticados em cada uma delas, bem como a área de abrangência do serviço de coleta de biomassa proveniente do corte e poda de árvores em relação a área total da cidade.

4.2 Produção do Gás de Síntese e Eficiência da Conversão

Conforme os resultados dos trabalhos relacionados, foi utilizada a taxa de produção de gás de síntese a partir da gaseificação de biomassa vegetal de 2,395 m³/Kg.

Tabela 04: Taxa de produção de Gás de Síntese por unidade de massa de biomassa vegetal segundo diferentes autores.

| Referência | Produção de Gás de Síntese (Nm ³ /kg) |
|-------------------------|--|
| SHAPFER E TOBLER (1937) | 2,12 |
| FONTES (1981) | 2,2 |
| REED E DAS (1988) | 2,5 |
| APUD NASCIMENTO (1991) | 2,6 |
| MARTINEZ (2011) | 2,4 |
| CHAVES (2012) | 2,55 |
| MÉDIA | 2,395 |

Fonte: (O autor, 2017)

A eficiência do sistema naturalmente apresentou uma perda de potência em comparação ao uso da gasolina sendo que em seus experimentos, Chaves (2012) obteve um aproveitamento de 48,7% da potência máxima utilizando gás de síntese e Figueredo (2012) obteve resultados parecidos, com 54,1% da eficiência em relação ao uso da gasolina.

Figueredo (2012) apresenta como causa plausível da perda de potência, além da diferença do poder calorífico, o fato de o motor utilizado não estar otimizado para o uso do gás de síntese, apresentando uma taxa de compressão do gás diferente da ótima para a combustão do gás. Fossum (et al., 2001) sugere modificações no motor, como aumentar o diâmetro das válvulas, altura dos pistões e taxa de compressão, para aumentar a eficiência do uso do gás de síntese na geração de energia.

Baseando-se nos dados obtidos, será adotado uma eficiência conservadora de 50%, para ser utilizada no presente trabalho.

4.3 Potencial de produção energético por unidade de volume e massa de gás de síntese

Segundo o experimento já citado de Assumpção (1981), o poder calorífico médio encontrado para o gás de síntese é de 1200 kcal/Nm³ ou 5,03 MJ/Nm³. Realizando-se as devidas conversões, obteve-se valores aproximados de 1,4 kWh/Nm³ e 3,53 kWh/kg_{BIOMASSA}.

Este valor refere-se ao potencial energético do gás de síntese, logo, aplica-se o fator de eficiência do sistema gerador de 50%, sobre o qual obteve-se um valor de geração hipotético de aproximadamente 1,68 kWh/kg_{BIOMASSA} e 0,7 kWh/Nm³ segundo dados trabalhados de Assumpção (1981).

Figueiredo (2012) e Chaves (2012) abordaram em seus trabalhos a geração de energia elétrica a partir do gás de síntese e encontraram resultados da ordem de 2,2 kWh/kg_{BIOMASSA} e 2,5 kWh/kg_{BIOMASSA} respectivamente, resultados estes já considerando o fator de eficiência na conversão de energia. Foi realizada a conversão das unidades de kWh/m³ para a unidade de kWh/kg_{BIOMASSA}, obtendo-se uma média da produção de energia de 2,13 kWh/kg_{BIOMASSA} de biomassa. A comparação dos resultados e conversões encontram-se na tabela 05.

Tabela 05: Conversão e comparação de resultados de produção unitária de energia por unidade de massa e volume de gás de síntese.

| Referência | Produção de Energia por Unidade de Volume de Gás de Síntese (kWh/Nm ³) | Média de Produção Gás de Síntese por Unidade de Massa (Nm ³ /kg) | Produção de Energia por Unidade de Massa (kWh/kg) |
|------------------|--|---|---|
| ASSUMPÇÃO (1981) | 0,7 | 2,39 | 1,68 |
| FIGUEREDO (2012) | 0,92 | 2,39 | 2,2 |
| CHAVES (2012) | 1,04 | 2,39 | 2,5 |
| MÉDIA | 0,89 | - | 2,13 |

Fonte: (Adaptado pelo autor, 2017)

4.4 Potencial energético por unidade de área de centros urbanizados e custo com descarte de resíduos

O potencial de de geração de energia elétrica por unidade de área apresentou grande variação entre as cidades avaliadas, obtendo-se uma média de 390 (kWh/ha.mês), conforme disposto na tabela 06.

Tabela 06: Potencial de geração de energia p/ ha.mês.

| CIDADE | Peso de Biomassa produzida por mês (kg/ha.mês) | Constante de produção de energia por unidade de massa (kWh/Kg) | Potencial de geração de energia elétrica por unidade de área e mês (kWh/ha.mês) |
|----------------------------|--|--|---|
| Maringá – PR | 323,13 | 2,13 | 688,27 |
| Parnamirim – RN | 875,00 | | 1863,75 |
| Aracaju – SE | 0,68 | | 1,45 |
| Goiânia – GO | 4,42 | | 9,41 |
| Londrina – PR | 32,73 | | 69,71 |
| Natal – RN | 143,71 | | 306,10 |
| São Bernardo do Campo – SP | 0,80 | | 1,70 |
| São José dos Campos - SP | 84,75 | | 180,52 |
| MÉDIA | 183,15 | - | 390,11 |

Fonte: (Adaptado pelo autor, 2017)

O custo médio para a destinação dos resíduos de biomassa vegetal encontrado, através da aplicação da eq. (4) foi de R\$ 385.490,00 por cidade.mês, sendo que o menor custo se deu na cidade de São Bernardo do Campo com R\$ 4.015,00 por mês e o maior na cidade de Londrina, com R\$ 664.200,00 por mês, conforme explicitado na tabela 07.

Tabela 07: Produção de energia por unidade de área em centros urbanos.

| CIDADE | Peso de Biomassa produzida por mês (ton/mês) | Custo de disposição de resíduos em aterro em aterro por tonelada (R\$/ton). | Custo para a destinação de biomassa vegetal (1000R\$/mês) |
|----------------------------|--|---|---|
| Maringá-PR | 320,54 | 123,00 . | 39,42642 |
| Parnamirim – RN | 10500,00 | | 1291,5 |
| Aracaju – SE | 149,01 | | 18,32823 |
| Goiânia – GO | 3270,00 | | 402,21 |
| Londrina – PR | 5400,00 | | 664,2 |
| Natal – RN | 2400,00 | | 295,2 |
| São Bernardo do Campo – SP | 32,65 | | 4,01595 |
| São José dos Campos – SP | 3000,00 | | 369 |
| MÉDIA | 3134,03 | | |

Fonte: (Adaptado de SONTAG et al., 2014)

4.5 Dados de operação do sistema

Com base nos dados analisados e elaborados, foram determinados os seguintes parâmetros para elaboração do fluxo de caixa.

- Fator de operação: 60%
- Custo do investimento (C_i) de um sistema de capacidade de 100 kg/h de biomassa apresentado em artigo de Kinto (2002), acrescido ao reajuste inflacionário no período de 2002 e 2015 de 243,7% segundo o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo -IPCA (2015) e um dólar de R\$ 3,20, em valor referente a junho de 2017, de acordo com dados do Banco Central do Brasil.
 - $C_i = \text{R\$ } 584.880,00$
- Considerando-se os mesmos critérios de reajuste do item anterior, o custo de manutenção do equipamento ficou em R\$ 5.848,80 / ano.
- Para o cálculo do custo de operação (C_o) foi estimado um mínimo necessário de 3 operadores por turno de 8 horas de trabalho, com uma média de gasto salarial de R\$ 2500,00, incluindo-se gastos com seguro, alimentação e transporte.
 - $C_o = \text{R\$ } 31,25 / \text{ hora}$
- Segundo Sontag (et al; 2014) o custo da disposição de resíduos sólidos em aterro controlado foi de R\$ 123,00 /ton.
- O custo com transporte e manejo da biomassa vegetal foi nulificado, com o pressuposto de o custo ser englobado no serviço de manejo de resíduos já praticado na empresa.
- Como preço base de venda do kWh foi adotado o valor utilizado pela AMPLA no ano base de 2015, de R\$ 0,50 / kWh
- A taxa de depreciação (T_D) adotada para o equipamento foi de 10%. Obtida de acordo com dados das Instruções Normativas da Secretaria da Receita Federal: IN SRF 162/98 e IN SRF 130/99.

4.6 Entradas e saídas do fluxo de caixa

4.6.1 Entradas e saídas do fluxo de caixa 01

Para cálculo das entradas e saídas do fluxo de caixa 01 considerou-se:

- Tempo de operação: 360 dias/ano
- 2 Turnos de 8 horas/dia
- Tempo de operação: 5760 h/ano
- Preço de venda do kWh: R\$ 0,90

As entradas e saídas do Fluxo de caixa 01 está expressa na Tabela 08.

Tabela 08: Entradas e saídas do fluxo de caixa 01.

| | Custo Unitário (R\$) | Quantidade e /ano | Subtotal | Total R\$ 1000,00 / Ano |
|--|--|-------------------|----------------|-------------------------|
| Entradas | | | | |
| Custo de destinação em aterro sanitário | R\$ 123 / Tonelada | 345,6 Ton | R\$ 42.508,80 | 705,02 |
| Custo do kWh gerado | R\$ 0,90 / kWh | 736.128 kWh | R\$ 662.515,20 | |
| Fator de operação | 60% | | | |
| Saídas / Custos | | | | |
| Investimento inicial - compra do equipamento | R\$ 584.880,00 | | R\$ 584.880,00 | 584,89 |
| Transporte / manejo do material (biomassa) | é o normal ja utilizado entro da instituição | | R\$ - | R\$ 185,85 |
| Operação do equipamento | R\$ 31,25/h | 5760 h | R\$ 180.000,00 | |
| Manutenção do equipamento | R\$ 5.848,80 | | R\$ 5.848,80 | |

Fonte: (O Autor, 2017)

4.6.2 Entradas e saídas do fluxo de caixa 02

Para calculo das entradas e saídas do fluxo de caixa 02 considerou-se:

- Tempo de operação: 360 dias/ano
- 2 Turnos de 8 horas/dia
- Tempo de operação: 5760 h/ano
- Preço de venda do kWh: R\$ 0,50

As entradas e saídas do Fluxo de caixa 02 está expressa na Tabela 09.

Tabela 09: Entradas e saídas do fluxo de caixa 02.

| | Custo Unitário (R\$) | Quantidade /ano | Subtotal | Total R\$ 1000,00 / Ano |
|--|--|-----------------|----------------|-------------------------|
| Entradas | | | | |
| Custo de destinação em aterro sanitário | R\$ 123 / Tonelada | 345,6 Ton | R\$ 42.508,80 | R\$ 410,57 |
| Custo do kWh gerado | R\$ 0,50 / kWh | 736.128 kWh | R\$ 662.515,20 | |
| Fator de operação | 60% | | | |
| Saídas / Custos | | | | |
| Investimento inicial - compra do equipamento | R\$ 584.880,00 | | R\$ 584.880,00 | 584,89 |
| Transporte / manejo do material (biomassa) | é o normal ja utilizado entro da instituição | | R\$ - | R\$ 185,85 |
| Operação do equipamento | R\$ 31,25/h | 5760 h | R\$ 180.000,00 | |
| Manutenção do equipamento | R\$ 5.848,80 | | R\$ 5.848,80 | |

Fonte: (O Autor, 2017)

4.6.3 Entradas e saídas do fluxo de caixa 03

Para calculo das entradas e saídas do fluxo de caixa 03 considerou-se:

- Tempo de operação: 360 dias/ano
- 1 Turnos de 8 horas/dia
- Tempo de operação: 2880 h/ano
- Preço de venda do kWh: R\$ 0,90

As entradas e saídas do Fluxo de caixa 03 está expressa na Tabela 10.

Tabela 10: Entradas e saídas do fluxo de caixa 03.

| | Custo Unitário (R\$) | Quantidade /ano | Subtotal | Total R\$ 1000,00 / Ano |
|--|--|-----------------|----------------|-------------------------|
| Entradas | | | | |
| Custo de destinação em aterro sanitário | R\$ 123 / Tonelada | 172,8 Ton | R\$ 21.254,40 | R\$ 352,51 |
| Custo do kWh gerado | R\$ 0,50 / kWh | 368.064 kWh | R\$ 331.257,20 | |
| Fator de operação | 60% | | | |
| Saídas / Custos | | | | |
| Investimento inicial - compra do equipamento | R\$ 584.880,00 | | R\$ 584.880,00 | 584,89 |
| Transporte / manejo do material (biomassa) | é o normal ja utilizado entro da instituição | | R\$ - | R\$ 95,85 |
| Operação do equipamento | R\$ 31,25/h | 2880 h | R\$ 90.000,00 | |
| Manutenção do equipamento | R\$ 5.848,80 | | R\$ 5.848,80 | |

Fonte: (O Autor,2017)

4.6.4 Entradas e saídas do fluxo de caixa 04

Para cálculo das entradas e saídas do fluxo de caixa 04 considerou-se:

- Tempo de operação: 360 dias/ano
- 1 Turnos de 8 horas/dia
- Tempo de operação: 2880 h/ano
- Preço de venda do kWh: R\$ 0,50

As entradas e saídas do Fluxo de caixa 04 está expressa na Tabela 11.

Tabela 11: Entradas e saídas do fluxo de caixa 03.

| | Custo Unitário (R\$) | Quantidade /ano | Subtotal | Total R\$ 1000,00 / Ano |
|--|--|-----------------|----------------|-------------------------|
| Entradas | | | | |
| Custo de destinação em aterro sanitário | R\$ 123 / Tonelada | 172,8 Ton | R\$ 21.254,40 | R\$ 205,29 |
| Custo do kWh gerado | R\$ 0,50 / kWh | 368.064 kWh | R\$ 184.032,00 | |
| Fator de operação | 60% | | | |
| Saídas / Custos | | | | |
| Investimento inicial - compra do equipamento | R\$ 584.880,00 | | R\$ 584.880,00 | 584,89 |
| Transporte / manejo do material (biomassa) | é o normal ja utilizado entro da instituição | | R\$ - | R\$ 95,85 |
| Operação do equipamento | R\$ 31,25/h | 2880 h | R\$ 90.000,00 | |
| Manutenção do equipamento | R\$ 5.848,80 | | R\$ 5.848,80 | |

Fonte: (O Autor, 2017)

4.7 Fluxos de caixa

Os resultados do estudo geraram 4 fluxos de caixa sobre os cenários hipotéticos de operação, com base nas tabelas de 8 a 11 e ANEXOS 1 a 4. O VPL variou de R\$ 12.378.670,96 no cenário 1, a R\$ 2.061.174,80 no cenário 4, com uma TMA de 5%, reajuste anual de 8,366%, obtido através da média aritmética do IPCA Geral compreendido no período de 2005 e 2015, e uma taxa de depreciação do equipamento do sistema gaseificador/gerador de 10%, obtido a partir de dados das IN SRF 162/98 e IN SRF 130/99.

O resumo dos fluxos de caixa dos cenários 01 a 04 encontra-se descrito na tabela 12:

Tabela 12: Resumo do fluxo de caixa dos cenários avaliados.

| Parâmetro | Cenário 01 | Cenário 02 | Cenário 03 | Cenário 04 |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Receita líquida (R\$) | 32.980.954,67 | 19.241.822,26 | 16.532.697,56 | 9.663.131,36 |
| Despesas (R\$) | 8.671.729,88 | 8.671.729,88 | 4.472.317,84 | 4.472.317,84 |
| Lucro líquido (R\$) | 24.309.224,78 | 10.570.092,38 | 12.060.379,72 | 5.190.813,52 |
| VPL (R\$) | 12.378.670,96 | 4.964.171,72 | 5.768.424,42 | 2.061.174,80 |

Fonte: (O Autor, 2017)

4.8 Custo de Geração

O custo de geração de energia foi calculado pela razão entre a despesa anual do processo em R\$ e a quantidade de energia gerada em kWh.

A estimativa foi baseada em um período de operação do sistema de 20 anos e custo do kWh estimado foi de R\$ 0,25 para os cenários 1 e 2, e R\$ 0,26 para os cenários 3 e 4, conforme evidenciado na tabela 12.

Tabela 12: Custo da geração de energia por gás de síntese.

| Cenários | Despesa Anual (R\$) | Quantidade de Energia Gerada Anual (MWh) | Custo do kWh (R\$) |
|----------|---------------------|--|--------------------|
| 1 e 2 | R\$ 185.848,80 | 736,128 | R\$ 0,25 |
| 3 e 4 | R\$ 95.848,80 | 368,064 | R\$ 0,26 |

Fonte: (O Autor,2017)

Os custos de geração, manutenção e operação, bem como outros pertinentes deverão ser corrigidos a cada ano pela taxa de reajuste anual.

5. CONCLUSÃO

O estudo sugere que, mesmo com a capacidade calorífica reduzida e consequente perda de eficiência elétrica de 50% em comparação com a gasolina, o gás de síntese tem grande capacidade de gerar energia elétrica, através do uso em motores de combustão interna de forma competitiva.

Considera-se, para isto, o ganho com a economia da destinação de resíduos e o custo da energia gerada, em uma eventual venda ao operador nacional de energia, praticando-se as tarifas real e hipotéticas da concessionária de energia AMPLA. Os custos estão equiparados à geração de energia hidráulica, e vantajosa em relação ao uso de combustíveis fósseis na geração de energia elétrica.

A quantificação de parâmetros como produção de biomassa, potencial de produção de gás de síntese, eficiência e outros parâmetros calculados fornece uma visão melhor sobre a possibilidade de implantação deste sistema em centros urbanos, pois quantifica a disponibilidade energética e consequente potencial de produção elétrica.

O uso de gaseificadores de biomassa é uma das tecnologias com potencial para a melhoria da eficiência no uso energético no mundo, aproveitando-se de fontes de energia antes consideradas como resíduos cujo destino traria o aumento da poluição ambiental, retirando essa pressão de resíduos do meio ambiente e transformando em energia aproveitável para o uso humano.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no presente trabalho, é possível adotar dados importantes no desenvolvimento e dimensionamento de um sistema de geração de energia a partir da gaseificação de biomassa vegetal, tanto em centros urbanos, como em unidades industriais, o que pode ser objeto de estudo em trabalhos futuros.

Embora os custos do projeto podem ser reduzidos graças uma premissa de que os custos de manejo e transporte dos resíduos, estando englobados processo de manejo de resíduos dentro da própria empresa ou município, seria virtualmente zero, estes não podem ser considerados dados conclusivos.

Estudos futuros podem abordar o detalhamento de aspectos como custos do processo, manutenção e operação, bem como análise de riscos inerentes, principalmente para o caso de projeto de instalação de uma planta de geração de energia elétrica exclusivamente baseada em gás de síntese proveniente de gaseificação de biomassa vegetal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSUMPÇÃO, R. M. V. Gaseificação de madeira e carvão vegetal. Belo Horizonte. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. 72p. Minas gerais. 1981.

ABESCO, Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Conservação de Energia, Biomassa e as Energias Renováveis crescem mesmo com a crise e dificuldades. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/novidade/biomassa-e-as-energias-renovaveis-crescem-mesmo-com-a-crise-e-dificuldades/> Acesso em: 04/11/2017

BIOBRIKET, #Biobriket. Disponível em: <<https://twitter.com/hashtag/biobriket>> Acesso em: 10/09/2017

BRASIL. (Lei Nº 10.438, de abril de 2002). Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e outras medidas., p.22.

BRASIL. (Decreto nº5.025, de 30 de março de 2004). Regulamentação do inciso I e os §§ 1o, 2o, 3o, 4o e 5o do art. 3o da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, primeira etapa, e dá outras providências.

BRASIL. (Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010). Política nacional de resíduos sólidos – 2. ed. – Brasília : Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. 73 p.

BIODIESELBR. A verdadeira historia do Proálcool. 2009. Disponível em <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/historia/proalcool-historia-verdadeira.htm>> Acesso em: 2009

Baind, R. L.; Overend, R. P.; Craig, K. R. In: Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. Gaseificação para a geração de calor e eletricidade e a produção de metanol e hidrogênio. Ed da Unicamp, 2002. Capítulo 9 pg 204-216

BRIDGWATER, A.V., “*The Technical and Economic Feasibility of Biomass Gasification for Power Generation*”. Fuel, vol.74, nº5,p.631-653, 1995.

CHAVES, Donaria Marina; Gaseificação de materiais lignocelulósicos para geração de energia elétrica. Lavras, Universidade Federal de Lavras. 2007.

CHAVES, Luis Inácio. MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM GÁS DE SÍNTESE DE UM GASEIFICADOR CONCORRENTE UTILIZANDO *Mazilaurus Itaúba*. Paraná: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012

CIFERNO, J. P.; MARANO, J. J. *Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production*. Departamento de Energia dos Estados Unidos e National Energy Technology Laboratory. 2002.

CORONADO Christian Rodriguez, ET AL. Metodologia de dimensionamento, análise energética e seleção de equipamentos de um gaseificador de biomassa para o acionamento de um motor de combustão interna. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200010&lng=en&nrm=abn>. Acess on: 11 May. 2017

DIAS, G. P. Efeito da vazão de ar e dos diâmetros da setia e do reator na temperatura de combustão em um gaseificador de fluxo concorrente. 57p. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 1986

FAAJ, A. et al. Novas tecnologias para os vetores modernos de energia de biomassa. In CALLE, F. R.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. Campinas, SP: UNICAMP, 2005.

HOFFMAN, Ronaldo. Métodos avaliativos da geração regionalizada de energia, em potências inferiores a 1 MW, a partir da gestão dos resíduos de biomassa - o caso da casca de arroz. Porto Alegre: Universidade Federal do rio Grande do Sul, 1999.

KINTO, O. T.; GALVÃO, L. C.; GRIMONI, J. A.; UDAETA, M. E. Energia da gaseificação de biomassa como opção energética de desenvolvimento limpo. São Paulo, SP. GEPEA – USP. 2002

LORA, E. E.; ANDRADE, R. V. Biocombustíveis, Cap 06. Disponível em: <http://www.nest.unifei.edu.br/english/pags/downloads/files/Biocombustiveis-Cap06.pdf> Acesso em 20/11/2015.

Ministério de Minas e Energia, Sítio Web: <http://www.mme.gov.br/>

NASCIMENTO, Felipe Silva. Desenvolvimento de protótipo de gaseificador de resíduos combustíveis em leito horizontal. São Carlos: Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2014.

NOGUEIRA, L.A.H., LORA, E.E.S., “DENDROENERGIA: Fundamentos e aplicações”. 2.ed. - Rio de Janeiro: Interciência, 2003

PORTAL BIOENERGIA, Biomassa e o Brasil. Disponível em <http://portalbioenergia.com.br/2017/06/biomassa-e-o-brasil/> Acesso em: 10/08/2017

PENSAMENTO VERDE, Oque é energia de biomassa? Disponível em <http://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/o-que-e-energia-de-biomassa/> Acesso em: 04/11/2017

PER LARSSONS MUSEUM, Wood gasifier on a Ford converted to EPA tractor. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=522121> Acesso em: 10/08/2017

Bandini, Ilario. “*Storia della vita e automobili di Ilario Bandini*”. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gasogenog.jpg> Acesso em: 10/08/2017

RIBEIRO, Luiz Carlos Santana, et al. Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro. Nova Economia Belo Horizonte. Rio de Janeiro. 2014

RODRIGUEZ, Christian J. Coronado. Econômica de um gaseificador de biomassa de 100 kg/h para acionamento de um motor de combustão. Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista – UNESP. São Paulo, 2007.

SANTOS, J. W. C. Influência do teor e da granulometria do carvão vegetal no desempenho do motor de um trator adaptado para funcionar a gás pobre. 46p. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 1986

SALES, V. B., ANDRADE, R, V., LORA, E, E, S. GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA. Itajubá, MG. UNIFEI-

SALES, Cristina Vilas Bôas, et al. Geração de eletricidade a partir da gaseificação de biomassa. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Proceedings online... Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000100067&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 11 May. 2017

SIQUEIRA, A. B. Gasogênio para motores. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS / CETEC. Gaseificação de madeira e carvão vegetal. Belo Horizonte, 1981. p. 102 – 112.

SONTAG, A. G.; HILAHATA, I. K.; BUTARELLI, G. R.; BERTOLINI, B. G. R. Análise de custos de um aterro sanitário para tratamento de resíduo sólido urbano: Um estudo de caso no município de Marechal Cândido Rondon – PR. Artigo exposto no III Congresso brasileiro em gestão de negócios. Cascavel - PR, entre 03 e 05 de setembro de 2014.

TAVARES, W. M. Encargos e incentivos fiscais referentes às fontes alternativas de energia elétrica. Estudo, Dezembro de 2007.

ANEXO 01

CENÁRIO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA GASEIFICADOR / GERADOR 01

| PLANTA DE GASEIFICAÇÃO / GERAÇÃO DE ELETRICIDADE | | | | | |
|--|--------------------------|---|----------------------------------|--|-----------------------------------|
| CENÁRIO 1: | 5760 h/ano de operação | | Custo KWh - HIPOTÉTICO= R\$ 0,90 | | |
| INVESTIMENTO | R\$ 694.545,00 | TAXA DE DEPRECIÇÃO ANUAL** | | 10% | |
| TMA (TAXA MÍNIMA DE ATIVIDADE - *É O MÍNIMO | 5,00% | *Porcentagem obtida pela média aritmética do IPCA Geral compreendido no período de 2005 e 2015. | | **Secretaria da Receita Federal- Instrução Normativa sobre depreciação de bens e serviços- IN SRF 162/98 e IN SRF 130/99 | |
| CORREÇÃO / REAJUSTE / INFLAÇÃO ANUAL* | 8,366% | | | | |
| PERÍODO - ANO | RECEITAS | DESPESAS | LUCRO *(Valor Futuro) | FATOR DE AJUSTE | VALOR PRESENTE |
| 0 | | | -R\$ 694.545,00 | | PV=FV/[(1+i)^n]*(FATOR DE AJUSTE) |
| 1 | R\$ 705.024,00 | R\$ 185,85 | R\$ 704.838,15 | 1,05 | R\$ 671.274,43 |
| 2 | R\$ 764.006,31 | R\$ 201,40 | R\$ 763.804,91 | 1,1025 | R\$ 692.793,57 |
| 3 | R\$ 827.923,08 | R\$ 218,25 | R\$ 827.704,83 | 1,157625 | R\$ 715.002,55 |
| 4 | R\$ 897.187,12 | R\$ 236,51 | R\$ 896.950,61 | 1,21550625 | R\$ 737.923,49 |
| 5 | R\$ 972.245,79 | R\$ 256,29 | R\$ 971.989,50 | 1,276281563 | R\$ 761.579,21 |
| 6 | R\$ 1.053.583,88 | R\$ 277,73 | R\$ 1.053.306,14 | 1,340095641 | R\$ 785.993,26 |
| 7 | R\$ 1.141.726,70 | R\$ 300,97 | R\$ 1.141.425,74 | 1,407100423 | R\$ 811.189,96 |
| 8 | R\$ 1.237.243,56 | R\$ 326,15 | R\$ 1.236.917,41 | 1,477455444 | R\$ 837.194,39 |
| 9 | R\$ 1.340.751,36 | R\$ 353,43 | R\$ 1.340.397,92 | 1,551328216 | R\$ 864.032,45 |
| 10 | R\$ 1.452.918,62 | R\$ 383,00 | R\$ 1.452.535,61 | 1,628894627 | R\$ 891.730,87 |
| 11 | R\$ 1.574.469,79 | R\$ 415,04 | R\$ 1.574.054,74 | 1,710339358 | R\$ 920.317,21 |
| 12 | R\$ 1.706.189,93 | R\$ 449,77 | R\$ 1.705.740,16 | 1,795856326 | R\$ 949.819,95 |
| 13 | R\$ 1.848.929,78 | R\$ 487,39 | R\$ 1.848.442,39 | 1,885649142 | R\$ 980.268,46 |
| 14 | R\$ 2.003.611,24 | R\$ 528,17 | R\$ 2.003.083,08 | 1,979931599 | R\$ 1.011.693,07 |
| 15 | R\$ 2.171.233,36 | R\$ 572,35 | R\$ 2.170.661,01 | 2,078928179 | R\$ 1.044.125,06 |
| 16 | R\$ 2.352.878,74 | R\$ 620,24 | R\$ 2.352.258,51 | 2,182874588 | R\$ 1.077.596,72 |
| 17 | R\$ 2.549.720,58 | R\$ 672,13 | R\$ 2.549.048,45 | 2,292018318 | R\$ 1.112.141,40 |
| 18 | R\$ 2.763.030,20 | R\$ 728,36 | R\$ 2.762.301,85 | 2,406619234 | R\$ 1.147.793,47 |
| 19 | R\$ 2.994.185,31 | R\$ 789,29 | R\$ 2.993.396,02 | 2,526950195 | R\$ 1.184.588,45 |
| 20 | R\$ 3.244.678,85 | R\$ 855,32 | R\$ 3.243.823,53 | 2,653297705 | R\$ 1.222.562,97 |
| 20 - Venda do equipamento | R\$ 84.440,46 | | R\$ 84.440,46 | | |
| TOTAL | R\$ 32.980.954,67 | R\$ 8.671,79 | R\$ 32.972.282,88 | | R\$ 17.748.346,52 |
| VPL | R\$ 17.053.801,52 | | | | |
| ILL | 25,55 | | | | |
| TIR | 53,97% | | | | |

ANEXO 02

CENÁRIO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA GASEIFICADOR / GERADOR 02

| PLANTA DE GASEIFICAÇÃO / GERAÇÃO DE ELETRICIDADE | | | | | | |
|--|--------------------------|---|----------------------------------|--|--|-----------------------------------|
| CENÁRIO 2: | 5760 h/ano de operação | | Custo KWh - HIPOTÉTICO= R\$ 0,50 | | | |
| INVESTIMENTO | R\$ 694.545,00 | TAXA DE DEPRECIACÃO ANUAL** | | 10% | | |
| TMA (TAXA MÍNIMA DE ATIVIDADE - *É O MÍNIMO) | 5,00% | *Porcentagem obtida pela média aritmética do IPCA Geral compreendido no período de 2005 e 2015. | | **Secretaria da Receita Federal- Instrução Normativa sobre depreciação de bens e serviços- IN SRF 162/98 e IN SRF 130/99 | | |
| CORREÇÃO / REAJUSTE / INFLAÇÃO ANUAL* | 8,366% | | | | | |
| PERÍODO - ANO | RECEITAS | DESPESAS | LUCRO *(Valor Futuro) | FATOR DE AJUSTE | VALOR PRESENTE (Fazer a simulação retirando a TMA, VPL, ILL, TIR e ver se haverá PV=FV/[(1+i)^n]*(FATOR DE AJUSTE) | |
| 0 | | | -R\$ 694.545,00 | | | PV=FV/[(1+i)^n]*(FATOR DE AJUSTE) |
| 1 | R\$ 410.572,80 | R\$ 185,85 | R\$ 410.386,95 | 1,05 | R\$ | 390.844,71 |
| 2 | R\$ 444.921,32 | R\$ 201,40 | R\$ 444.719,92 | 1,1025 | R\$ | 403.374,08 |
| 3 | R\$ 482.143,44 | R\$ 218,25 | R\$ 481.925,19 | 1,157625 | R\$ | 416.305,10 |
| 4 | R\$ 522.479,56 | R\$ 236,51 | R\$ 522.243,05 | 1,21550625 | R\$ | 429.650,65 |
| 5 | R\$ 566.190,20 | R\$ 256,29 | R\$ 565.933,91 | 1,276281563 | R\$ | 443.424,02 |
| 6 | R\$ 613.557,67 | R\$ 277,73 | R\$ 613.279,94 | 1,340095641 | R\$ | 457.638,93 |
| 7 | R\$ 664.887,90 | R\$ 300,97 | R\$ 664.586,94 | 1,407100423 | R\$ | 472.309,53 |
| 8 | R\$ 720.512,43 | R\$ 326,15 | R\$ 720.186,28 | 1,477455444 | R\$ | 487.450,42 |
| 9 | R\$ 780.790,50 | R\$ 353,43 | R\$ 780.437,06 | 1,551328216 | R\$ | 503.076,69 |
| 10 | R\$ 846.111,43 | R\$ 383,00 | R\$ 845.728,43 | 1,628894627 | R\$ | 519.203,89 |
| 11 | R\$ 916.897,11 | R\$ 415,04 | R\$ 916.482,07 | 1,710339358 | R\$ | 535.848,08 |
| 12 | R\$ 993.604,72 | R\$ 449,77 | R\$ 993.154,96 | 1,795856326 | R\$ | 553.025,84 |
| 13 | R\$ 1.076.729,69 | R\$ 487,39 | R\$ 1.076.242,30 | 1,885649142 | R\$ | 570.754,27 |
| 14 | R\$ 1.166.808,90 | R\$ 528,17 | R\$ 1.166.280,73 | 1,979931599 | R\$ | 589.051,02 |
| 15 | R\$ 1.264.424,13 | R\$ 572,35 | R\$ 1.263.851,78 | 2,078928179 | R\$ | 607.934,32 |
| 16 | R\$ 1.370.205,86 | R\$ 620,24 | R\$ 1.369.585,62 | 2,182874588 | R\$ | 627.422,95 |
| 17 | R\$ 1.484.837,28 | R\$ 672,13 | R\$ 1.484.165,15 | 2,292018318 | R\$ | 647.536,34 |
| 18 | R\$ 1.609.058,77 | R\$ 728,36 | R\$ 1.608.330,41 | 2,406619234 | R\$ | 668.294,50 |
| 19 | R\$ 1.743.672,62 | R\$ 789,29 | R\$ 1.742.883,33 | 2,526950195 | R\$ | 689.718,12 |
| 20 | R\$ 1.889.548,27 | R\$ 855,32 | R\$ 1.888.692,95 | 2,653297705 | R\$ | 711.828,51 |
| 20 | R\$ 84.440,46 | | R\$ 84.440,46 | 2,653297705 | | |
| TOTAL | R\$ 19.241.822,26 | R\$ 8.671,79 | R\$ 19.233.150,48 | | R\$ | 10.333.847,28 |
| VPL | R\$ 9.639.302,28 | | | | | |
| ILL | 14,88 | | | | | |
| TIR | 35,92% | | | | | |
| TOTAL | R\$ 32.980.954,67 | R\$ 8.671,79 | R\$ 32.972.282,88 | | R\$ | 17.748.346,52 |
| VPL | R\$ 17.053.801,52 | | | | | |
| ILL | 25,55 | | | | | |
| TIR | 53,97% | | | | | |

ANEXO 03

CENÁRIO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA GASEIFICADOR / GERADOR 03

| PLANTA DE GASEIFICAÇÃO / GERAÇÃO DE ELETRICIDADE | | | | | |
|--|--------------------------|---|----------------------------------|--|--|
| CENÁRIO 3: | 2880 h/ano de operação | | Custo KWh - HIPOTÉTICO= R\$ 0,90 | | |
| INVESTIMENTO | R\$ 694.545,00 | TAXA DE DEPRECIACÃO ANUAL** | | 10% | |
| TMA (TAXA MÍNIMA DE ATIVIDADE - *É O MÍNIMO) | 5,00% | *Porcentagem obtida pela média aritmética do IPCA Geral compreendido no período de 2005 e 2015. | | **Secretaria da Receita Federal- Instrução Normativa sobre depreciação de bens e serviços- IN SRF 162/98 e IN SRF 130/99 | |
| CORREÇÃO / REAJUSTE / INFLAÇÃO ANUAL* | 8,366% | | | | |
| PERÍODO - ANO | RECEITAS | DESPESAS | LUCRO *(Valor Futuro) | FATOR DE AJUSTE | VALOR PRESENTE (Fazer a simulação retirando a TMA, VPL, ILL, TIR e ver se haverá PV=FV/[(1+i)^n]*(FATOR DE AJUSTE) |
| 0 | | | -R\$ 694.545,00 | | PV=FV/[(1+i)^n]*(FATOR DE AJUSTE) |
| 1 | R\$ 352.512,00 | R\$ 95.848,80 | R\$ 256.663,20 | 1,05 | R\$ 244.441,14 |
| 2 | R\$ 382.003,15 | R\$ 103.867,51 | R\$ 278.135,64 | 1,1025 | R\$ 252.277,23 |
| 3 | R\$ 413.961,54 | R\$ 112.557,07 | R\$ 301.404,47 | 1,157625 | R\$ 260.364,51 |
| 4 | R\$ 448.593,56 | R\$ 121.973,59 | R\$ 326.619,97 | 1,21550625 | R\$ 268.711,06 |
| 5 | R\$ 486.122,90 | R\$ 132.177,90 | R\$ 353.945,00 | 1,276281563 | R\$ 277.325,17 |
| 6 | R\$ 526.791,94 | R\$ 143.235,90 | R\$ 383.556,03 | 1,340095641 | R\$ 286.215,42 |
| 7 | R\$ 570.863,35 | R\$ 155.219,02 | R\$ 415.644,33 | 1,407100423 | R\$ 295.390,67 |
| 8 | R\$ 618.621,78 | R\$ 168.204,64 | R\$ 450.417,14 | 1,477455444 | R\$ 304.860,05 |
| 9 | R\$ 670.375,68 | R\$ 182.276,64 | R\$ 488.099,03 | 1,551328216 | R\$ 314.632,99 |
| 10 | R\$ 726.459,31 | R\$ 197.525,91 | R\$ 528.933,40 | 1,628894627 | R\$ 324.719,22 |
| 11 | R\$ 787.234,89 | R\$ 214.050,93 | R\$ 573.183,97 | 1,710339358 | R\$ 335.128,79 |
| 12 | R\$ 853.094,96 | R\$ 231.958,43 | R\$ 621.136,54 | 1,795856326 | R\$ 345.872,07 |
| 13 | R\$ 924.464,89 | R\$ 251.364,07 | R\$ 673.100,82 | 1,885649142 | R\$ 356.959,74 |
| 14 | R\$ 1.001.805,62 | R\$ 272.393,19 | R\$ 729.412,44 | 1,979931599 | R\$ 368.402,85 |
| 15 | R\$ 1.085.616,68 | R\$ 295.181,60 | R\$ 790.435,08 | 2,078928179 | R\$ 380.212,79 |
| 16 | R\$ 1.176.439,37 | R\$ 319.876,49 | R\$ 856.562,88 | 2,182874588 | R\$ 392.401,32 |
| 17 | R\$ 1.274.860,29 | R\$ 346.637,36 | R\$ 928.222,93 | 2,292018318 | R\$ 404.980,59 |
| 18 | R\$ 1.381.515,10 | R\$ 375.637,04 | R\$ 1.005.878,06 | 2,406619234 | R\$ 417.963,11 |
| 19 | R\$ 1.497.092,66 | R\$ 407.062,84 | R\$ 1.090.029,82 | 2,526950195 | R\$ 431.361,81 |
| 20 | R\$ 1.622.339,43 | R\$ 441.117,71 | R\$ 1.181.221,71 | 2,653297705 | R\$ 445.190,04 |
| 20 | R\$ 84.440,46 | | R\$ 84.440,46 | 2,653297705 | |
| TOTAL | R\$ 16.532.697,56 | R\$ 4.472.317,84 | R\$ 12.060.379,72 | | R\$ 6.462.969,42 |
| VPL | R\$ 5.768.424,42 | | | | |
| ILL | 9,31 | | | | |
| TIR | 37,60% | | | | |
| TOTAL | R\$ 32.980.954,67 | R\$ 8.671,79 | R\$ 32.972.282,88 | | R\$ 17.748.346,52 |
| VPL | R\$ 17.053.801,52 | | | | |
| ILL | 25,55 | | | | |
| TIR | 53,97% | | | | |

ANEXO 04

CENÁRIO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA GASEIFICADOR / GERADOR 04

| PLANTA DE GASEIFICAÇÃO / GERAÇÃO DE ELETRICIDADE | | | | | |
|--|--------------------------|---|----------------------------------|--|--|
| CENÁRIO 4: | 2880 h/ano de operação | | Custo KWh - HIPOTÉTICO= R\$ 0,50 | | |
| INVESTIMENTO | R\$ 694.545,00 | TAXA DE DEPRECIACÃO ANUAL** | | 10% | |
| TMA (TAXA MÍNIMA DE ATIVIDADE - *É O MÍNIMO) | 5,00% | *Porcentagem obtida pela média aritmética do IPCA Geral compreendido no período de 2005 e 2015. | | **Secretaria da Receita Federal- Instrução Normativa sobre depreciação de bens e serviços- IN SRF 162/98 e IN SRF 130/99 | |
| CORREÇÃO / REAJUSTE / INFLAÇÃO ANUAL* | 8,366% | | | | |
| PERÍODO - ANO | RECEITAS | DESPESAS | LUCRO *(Valor Futuro) | FATOR DE AJUSTE | VALOR PRESENTE (Fazer a simulação retirando a TMA, VPL, ILL, TIR e ver se haverá PV=FV/[(1+i)^n]*(FATOR DE AJUSTE) |
| 0 | | | -R\$ 694.545,00 | | PV=FV/[(1+i)^n]*(FATOR DE AJUSTE) |
| 1 | R\$ 205.286,40 | R\$ 95.848,80 | R\$ 109.437,60 | 1,05 | R\$ 104.226,29 |
| 2 | R\$ 222.460,66 | R\$ 103.867,51 | R\$ 118.593,15 | 1,1025 | R\$ 107.567,48 |
| 3 | R\$ 241.071,72 | R\$ 112.557,07 | R\$ 128.514,65 | 1,157625 | R\$ 111.015,79 |
| 4 | R\$ 261.239,78 | R\$ 121.973,59 | R\$ 139.266,19 | 1,21550625 | R\$ 114.574,64 |
| 5 | R\$ 283.095,10 | R\$ 132.177,90 | R\$ 150.917,20 | 1,276281563 | R\$ 118.247,57 |
| 6 | R\$ 306.778,83 | R\$ 143.235,90 | R\$ 163.542,93 | 1,340095641 | R\$ 122.038,25 |
| 7 | R\$ 332.443,95 | R\$ 155.219,02 | R\$ 177.224,93 | 1,407100423 | R\$ 125.950,45 |
| 8 | R\$ 360.256,21 | R\$ 168.204,64 | R\$ 192.051,57 | 1,477455444 | R\$ 129.988,06 |
| 9 | R\$ 390.395,25 | R\$ 182.276,64 | R\$ 208.118,60 | 1,551328216 | R\$ 134.155,11 |
| 10 | R\$ 423.055,71 | R\$ 197.525,91 | R\$ 225.529,81 | 1,628894627 | R\$ 138.455,74 |
| 11 | R\$ 458.448,56 | R\$ 214.050,93 | R\$ 244.397,63 | 1,710339358 | R\$ 142.894,23 |
| 12 | R\$ 496.802,36 | R\$ 231.958,43 | R\$ 264.843,94 | 1,795856326 | R\$ 147.475,01 |
| 13 | R\$ 538.364,85 | R\$ 251.364,07 | R\$ 287.000,78 | 1,885649142 | R\$ 152.202,64 |
| 14 | R\$ 583.404,45 | R\$ 272.393,19 | R\$ 311.011,26 | 1,979931599 | R\$ 157.081,82 |
| 15 | R\$ 632.212,07 | R\$ 295.181,60 | R\$ 337.030,47 | 2,078928179 | R\$ 162.117,42 |
| 16 | R\$ 685.102,93 | R\$ 319.876,49 | R\$ 365.226,44 | 2,182874588 | R\$ 167.314,44 |
| 17 | R\$ 742.418,64 | R\$ 346.637,36 | R\$ 395.781,28 | 2,292018318 | R\$ 172.678,06 |
| 18 | R\$ 804.529,38 | R\$ 375.637,04 | R\$ 428.892,34 | 2,406619234 | R\$ 178.213,63 |
| 19 | R\$ 871.836,31 | R\$ 407.062,84 | R\$ 464.773,47 | 2,526950195 | R\$ 183.926,65 |
| 20 | R\$ 944.774,14 | R\$ 441.117,71 | R\$ 503.656,42 | 2,653297705 | R\$ 189.822,81 |
| 20 | R\$ 84.440,46 | | R\$ 84.440,46 | | |
| TOTAL | R\$ 9.663.131,36 | R\$ 4.472.317,84 | R\$ 5.190.813,52 | | R\$ 2.755.719,80 |
| VPL | R\$ 2.061.174,80 | | | | |
| ILL | 3,97 | | | | |
| TIR | 26,70% | | | | |
| TOTAL | R\$ 32.980.954,67 | R\$ 8.671,79 | R\$ 32.972.282,88 | | R\$ 17.748.346,52 |
| VPL | R\$ 17.053.801,52 | | | | |
| ILL | 25,55 | | | | |
| TIR | 53,97% | | | | |