



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR

Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira - DTS



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**COGERAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO A PARTIR
DO REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA
DO BAGAÇO DE CANA.**

Scarlet O'hara de Oliveira Moraes

Orientador: Prof. Dr. Fábio de Melo Resende.

Dezembro de 2015



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR

Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira - DTS



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

COGERAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA DO BAGAÇO DE CANA.

Scarlett O'hara de Oliveira Moraes

Trabalho de Conclusão do *Curso Superior de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira* do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, apresentado como requisito para obtenção do Grau de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientador: Prof. Dr. Fábio de Melo Resende

Dezembro de 2015

M828c Moraes, Scarlett O'hara de Oliveira.

Cogeração no setor sucroalcooleiro a partir do reaproveitamento energético da biomassa do bagaço de cana. [recurso eletrônico] / Scarlett O'hara de Oliveira Moraes. -- 2015.

40 p. : il. color. + CD.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Orientador: Dr. Fábio de Melo Resende.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Tecnologia em Produção Sucroalcooleira) – CTDR/UFPB.

1. Bioenergia. 2. Cogeração. 3. Matriz energética - Brasil. 4. Turbogenerador. I. Resende, Fábio de Melo. II. Título.

CDU: 620.952

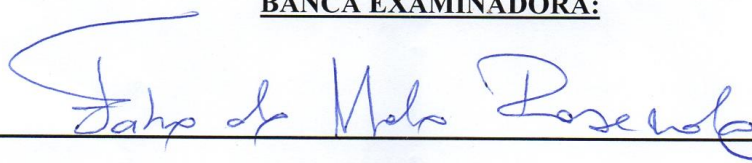
Catálogo na Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial do CTDR/UFPB, PB, Brasil
Maria José Rodrigues Paiva – CRB 15/387

SCARLET O'HARA DE OLIVEIRA MORAES

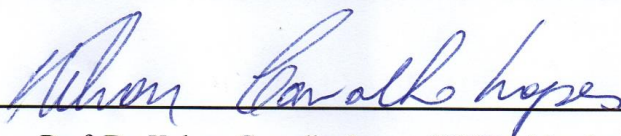
**COGERAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO A PARTIR DO
REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA DO BAGAÇO
DE CANA.**

TCC aprovado em 03 de dezembro de 2015, como requisito para conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

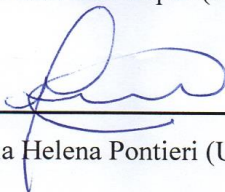
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Fábio de Melo Resende (UFPB - Orientador)



Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes (UFPB - Membro interno)



Prof^a. Dra. Márcia Helena Pontieri (UFPB – Membro Interno)

João Pessoa - Paraíba

Dedico a Deus, aos meus Pais Jairo de Souza Moraes e Dubenka de Oliveira Moraes, a toda equipe da Usina Japungu Agroindustrial S/A, ao Prof. Dr. Fábio de Melo Resende e a todos que contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pois sem ele nenhuma conquista em minha vida seria possível.

Aos meus pais Jairo Moraes e Dubenka Moraes, pela confiança e motivação.

Aos amigos pela força e pela vibração em relação a esta jornada.

Aos professores Kelson Carvalho Lopes, Marcia Pontieri, Nataly Albuquerque e a todos os professores e colegas de Curso, pois juntos trilhamos uma etapa importante de nossas vidas.

A Usina Japungu Agroindustrial S/A pela concessão de informações valiosas para a realização deste estudo.

Aos senhores Arlindo Nunes da Silva, José Rodrigues de Lima Neto, Antônio Januário da Silva e a todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

E em especial ao Prof. Dr. Fábio de Melo Resende, orientador e braço amigo de todas as etapas deste trabalho.

RESUMO

O presente estudo visa avaliar a cogeração de energia do setor sucroalcooleiro como a principal alternativa a matriz energética brasileira. Através do estudo de caso da Destilaria Japungu Agroindustrial S/A, é possível observar as principais vantagens no investimento de equipamentos mais potentes e com consumos específicos mais baixos, para cogeração de energia, capazes não apenas de suprir a necessidade energética da própria instalação, mas visando também sua venda. O gerador de contra pressão que tem seu consumo de 12Kg/KW e que trabalha a uma pressão de 30Kg/cm² e temperatura de 370°C, produz uma geração de 10.931 KW de energia. O novo gerador tem um consumo 7,5 Kg/KW e trabalha a uma pressão de 42Kg/cm² e temperatura de 450°C, passando a gerar 14.822 KW de energia, havendo assim um aumento de aproximadamente 35% na geração de energia. Um produto que além de gerar lucros a empresa é ambientalmente correto. O tema pode ser tratado como uma das principais alternativas, se não a melhor, à energia gerada nas hidrelétricas. Com a crise de água e conseqüente crise na energia brasileira, vários estudos começam a surgir para uma geração de energia sustentável. Acontece que essa geração a partir da indústria sucroalcooleira é uma alternativa disponível, que necessita de investimentos. O estudo mostra que se considerado um valor fixo de R\$90,00 para o bagaço, o ponto de equilíbrio ocorre quando a energia atingir R\$192,00, sendo este um preço considerado abaixo do mercado atual então em um cenário menos propício para venda de energia, ainda será possível a venda do bagaço, cujo mercado está em alta, sendo a indústria capaz de alternar a direção que o bagaço excedente deverá seguir de acordo com as mudanças de mercado.

Palavras chaves: Cogeração, bagaço, bioenergia, turbogerador.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the energy cogeneration from sugarcane sector as the main alternative to Brazilian energy matrix. Through the case study Distillery Japungu Agroindustrial S/A, it is possible to observe the main advantages in investment for more powerful equipment with lower specific consumption, for cogeneration, capable not only of meeting the energy needs of the facility itself, but also aiming its sale. The back pressure generator that has its consumption of 12 Kg/KW while working at a pressure of 30Kg/cm² and 370°C temperature, produces a generation of 10.931KW of energy. The new generator has a consumption of 7,5Kg/KW and works at a pressure of 42Kg/cm² and 405°C temperature, starting to generate 14.822KW of energy, so there is an increase of approximately 35% in energy generation. A product that in addition to generating profits for the company is also environmentally friendly. The theme can be treated as one of the main alternatives, if not the best, for the energy generated in hydroelectric plants. With the water crisis and subsequent crisis in the Brazilian energy, several studies are beginning to surge searching for a way to produce sustainable energy. It turns out that this generation from the sugarcane industry is an available alternative, which needs investment. This study shows that when considering a fixed amount of R\$90,00 for bagasse, the breakeven point occurs when power reaches R\$192,00 which is considered a price below the current market. And in a less favorable scenario for the energy sale, you can still sell the bagasse, whose market is booming, and the industry is able to switch it's focus based on market changes.

Keywords: *co-generation, bagasse, bioenergy, turbogenerators.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GERAL.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1. Bagaço de Cana-de-açúcar.....	14
3.2. Cogeração de energia a partir da biomassa	15
3.3. Vasos sob pressão.....	17
3.4. Turbinas a vapor e geradores: contrapressão e condensação.	19
3.5. PCC – Pol da Cana Corrigida	21
3.6. Payback e Ponto de equilíbrio.	21
4. METODOLOGIA.....	22
4.1. Modelos matemáticos.	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
6. CONCLUSÃO.....	33
7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	34
8. REFERÊNCIAS.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bagaço excedente da Usina Japungu Agroindustrial S/A	15
Figura 2 - Fluxograma da cogeração de energia.....	16
Figura 3 - Caldeira em funcionamento	17
Figura 4 – Princípio de funcionamento de uma caldeira aquatubular	18
Figura 5 - Princípio de funcionamento de uma caldeira flamotubular	18
Figura 6 - Gerador de Condensação em funcionamento.....	20
Figura 7 - Destilaria da Usina Japungu Agroindustrial S/A.....	22
Figura 8 - Gráfico comparativo da Energia disponibilizada.	28
Figura 9 - Ponto de equilíbrio entre ganhos com a energia e preço da energia	31
Figura 10 - Modelo Matemático	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do Processo Industrial “Input”	23
Tabela 2 – Demonstrativo do balanço do consumo de bagaço.....	26
Tabela 3 – Cenário energético comparativo	27
Tabela 4 - Receita Originária da venda do bagaço de cana.....	28
Tabela 5 – Receita originária da venda de energia.....	29
Tabela 6 - Cenários de Mercado (Preço)	29
Tabela 7 – Resultados do Ponto de equilíbrio.	30
Tabela 8 - Comparativo das Receitas.....	32

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – Fluxograma atual da Destilaria Japungu Agroindustrial S/A.....	38
ANEXO II – Fluxograma com o novo gerador.	39
ANEXO III – Autorização de dados.	40

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o país que apresenta maior potencial de energias renováveis do planeta. Dentre essas fontes limpas, está a hidrelétrica, dependente do clima, que, tomados certos cuidados, é uma energia limpa e de pequeno impacto ambiental. A energia de biomassa também é bastante confiável e pouco menos dependente do clima (MOLION, 2013).

Crises energéticas sempre trazem à tona a vulnerabilidade do sistema de geração concentrada em poucos combustíveis, tornando-se assim, as fontes alternativas, soluções que podem atender de forma satisfatória as comunidades (KAZAY; LEGEY, 2002).

As fontes de energia podem ser classificadas em: (1) fósseis, incluindo petróleo, carvão e gás natural; (2) nucleares; e (3) solares, incluindo os raios solares e a energia consequente deles, tais como ondas e ventos, força hidráulica e materiais de origem vegetal, os quais são produzidos pelo Sol através da fotossíntese, como a biomassa (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

BRANDE (2007) destaca vantagens da bioenergia a serem consideradas, são elas: são fontes renováveis; podem-se usar os resíduos agrícolas, florestais e urbanos; energia menos poluente; pode ser produzida em vários locais do planeta.

A biomassa é um material que, normalmente, imagina-se como resíduo, sendo constituído por substâncias de origem orgânica, vegetal, animal e microrganismos. É um recurso natural renovável que resulta do uso de resíduos agrícolas, florestais, pecuários, fezes de animais ou lixo. A Biomassa é positiva no meio ambiente porque pode ser: reduzida, reciclada, reutilizada e aproveitada para produzir energia. Isso a torna, em caso de aproveitamento como fonte de energia, uma alternativa que ajuda a reduzir a necessidade de outras fontes, especialmente às não renováveis. [...] A importância de se discutir o aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar está na possibilidade de geração de receita e redução de custos para as usinas sucroalcooleiras e, concomitantemente, diminuir o impacto ambiental, uma vez que o resíduo poderá ser totalmente eliminado ao ser utilizado como combustível. Além disso, para um gestor da área administrativa, poder desenvolver a alternativa de aproveitamento de biomassa é um desafio interessante a ser perseguido (COSTA; DUARTE, 2010).

De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica- CCEE (2015), a venda de energia pode ser feita direto no mercado livre onde acontecem os leilões, ou será feita as Companhias elétricas. No Brasil, os leilões são a principal forma de contratação de energia. De forma que as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) garantem o atendimento à totalidade de seu mercado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Quem realiza os leilões de energia elétrica é a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), por delegação da Aneel.

Ainda de acordo com a CCEE (2015) existem vários tipos de leilões, são eles: leilão de vendas; leilão de fontes alternativas; leilão de excedentes; leilão estruturante; leilão de energia de reserva; leilão de energia nova; leilão de energia existente; leilão de compra e leilão de ajuste. A energia da biomassa se enquadra nos leilões de fontes alternativas que foi instituído para atender não só a energia da biomassa, mas também eólica e de pequenas Centrais Hidrelétricas.

Em meio a novas previsões de crise energética e aumento de preço da energia elétrica em 2015, o MME – Ministério de Minas e Energia divulgou em dezembro de 2014 a realização de cinco leilões de energia. O mercado regulado de energia também é uma boa opção para as usinas venderem possíveis excedentes de eletricidade. A biomassa ganhou destaque no Leilão A-5, realizado em dezembro do ano passado. Tradicionalmente associada a outras modalidades renováveis como solar ou eólica, a biomassa conseguiu participar do certame com preços mais competitivos (GONÇALVES, 2015).

Assim, é possível observar que com a crise na energia, a cogeração no setor sucroalcooleiro vem se estabelecendo no mercado brasileiro, que é preciso estudos para aperfeiçoamento, além da necessidade de investimentos. Este estudo de caso mostra que é viável o investimento em equipamentos (turbogeradores) mais potentes, que venham a otimizar o sistema de cogeração.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o estudo de cenários para adesão de equipamentos mais potentes (turbogeradores) para a cogeração de energia em usinas de álcool e açúcar.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar modelos matemáticos para simulação de cenários a partir da venda de energia e do bagaço da cana-de-açúcar.
- Avaliar o melhor cenário do ponto de equilíbrio entre venda de energia e venda de bagaço;
- Acompanhar o sistema de Cogeração da *Usina Japungu Agroindustrial S/A*;
- Apresentar balanços de energia, a partir da troca dos geradores de contrapressão;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Cerqueira (2015) graças a falta de chuva o Brasil vem passando por uma situação difícil, em particular, a região Sudeste. A crise hídrica que estamos vivendo neste final de período úmido 2014/15 é inédita e traz sérias consequências econômicas e sociais. Em vários campos, como na geração de energia elétrica, no abastecimento das cidades, e na agricultura, vivem-se muitas dificuldades decorrentes da falta de chuvas.

Houve modificações importantes na dinâmica deste setor, tendo como consequências, a diminuição da competitividade das unidades industriais, a expansão do cultivo da cana-de-açúcar e a adequação das estratégias adotadas pelas empresas (SANTOS *et al.*, 2012).

De acordo com dados da EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2010) - a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 4.566,2 TWh em 2009, resultado 0,7% superior ao de 2008. Significa 87,8% da geração total do país. Dentre estas centrais de serviço público a principal fonte é a energia hidráulica, que apresentou elevação de 4,9% na comparação com 2008, em função do regime hidrológico favorável observado no período.

Após um ano de 2014 conturbado, com fechamento de usinas, queda da moagem de cana e números de safra desanimadores, o setor sucroalcooleiro começa 2015 com a busca por novas saídas para sua recuperação. A cogeração de energia a partir da biomassa desponta como a principal alternativa de negócio nas usinas. De acordo com a CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, entre 1 e 13 de janeiro a cogeração a partir do bagaço de cana e outras biomassas cresceu 107% no país em comparação com o mesmo período de 2014 (GONÇALVES, 2015).

Segundo Cortez *et al.*, (2008) Analisando as tecnologias das fontes energéticas renováveis já suficientemente maduras para serem empregadas comercialmente, somente a biomassa, utilizada em processos modernos com elevada eficiência tecnológica, possui a flexibilidade de suprir energéticos tanto para a produção de energia elétrica quanto para mover o setor de transportes.

3.1. Bagaço de Cana-de-açúcar

De acordo com Genovese (2006) No campo da energia, o termo biomassa é usado para descrever todas as formas de plantas e derivados que podem ser convertidos em energia utilizável, como, madeira, resíduos urbanos e florestas, grãos, talos, óleos vegetais e lodo de

tratamento biológico de efluentes. A energia gerada pela biomassa é também conhecida como energia verde ou bioenergia.

Inicialmente, o bagaço era considerado um resíduo industrial, sendo queimado nas próprias usinas para geração de calor, porém com a principal finalidade de evitar os transtornos que trazia para indústria. Posteriormente, devido as crises do petróleo e para diminuir os custos de produção no setor sucroalcooleiro, o bagaço começou a ser usado como subproduto, especialmente como insumo energético. O bagaço tem uma composição que depende da variedade da cana-de-açúcar, do método de colheita e da eficiência das moendas da fábrica. Sua constituição é de fibra ou celulose, água, açúcares e impurezas, e sua umidade encontra-se geralmente em torno de 40 – 50% de umidade (INNOCENTE, 2011).

A figura 01 mostra o bagaço de cana excedente que é reutilizado para geração de energia na destilaria de bioetanol Japungu Agroindustrial S/A.

Figura 1 - Bagaço excedente da Usina Japungu Agroindustrial S/A



FONTE: Autor, 2015.

A tecnologia em questão consiste na queima de biomassa, neste caso do bagaço excedente, para geração de energia mecânica e elétrica. Para geração de vapor d'água, no setor sucroalcooleiro, utiliza-se como insumo energético o bagaço de cana residual da moagem. Apenas no início da safra, ou excepcionalmente em casos de falta de bagaço durante a safra, as usinas utilizam a lenha como combustível. Por esse motivo, o enfoque principal neste segmento recai sobre as medidas voltadas a biomassa como insumo energético e, mais particularmente, ao bagaço de cana (CAMARGO, 1990).

3.2. Cogeração de energia a partir da biomassa

A produção simultânea de energia elétrica/mecânica/térmica a partir da queima de um único combustível e ainda utilizando parte do calor rejeitado define-se como sendo cogeração,

reduzindo-se desta forma as perdas energéticas e aumentando-se a eficiência global do sistema (MOGAWER, 2005).

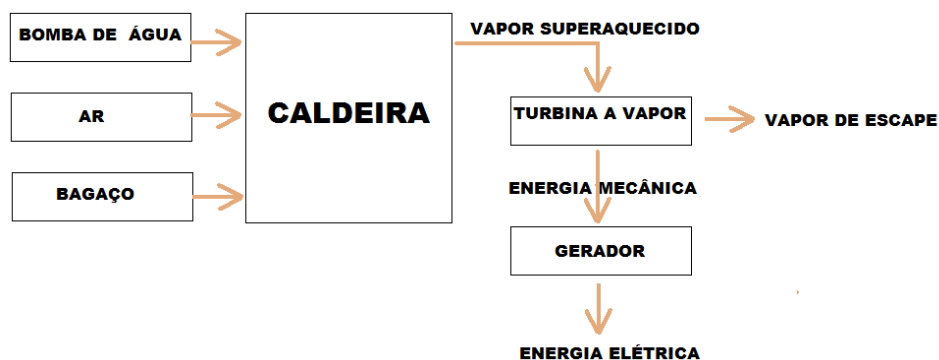
As usinas sucroalcooleiras realizam cogeração de energia através da queima do bagaço de cana-de-açúcar obtendo desta forma um grande aproveitamento energético, responsável pela diminuição dos custos gerados pela empresa e pela significativa diminuição dos impactos ambientais. Este subproduto tornou-se tão rentável ou até mesmo mais rentável que o açúcar e o álcool, quando produzido em períodos de estiagem, pois estas usinas revendem o excesso de energia para as companhias fornecedoras de eletricidade (LIMA, 2011).

De acordo com Santos (2010) são dois ciclos básicos de operação utilizados para gerar eletricidade: ciclo *bottoming* e *topping*.

Segundo Leite (2014) na geração de energia da indústria sucroalcooleira a queima do bagaço resulta em uma formação de gases com altas temperaturas que evaporará a água de dentro dos balões da caldeira, formando o vapor superaquecido que vai girar as turbinas que, por sua vez, acionam os geradores produzindo energia elétrica. No ciclo *topping* ocorre primeiro a produção de energia elétrica através dos gases de combustão a uma temperatura mais elevada, seguida da utilização da energia residual em forma de calor para o processo. Já no ciclo *bottoming* há geração inicial de energia térmica em um processo e em seguida utiliza-se o calor residual para gerar energia elétrica/mecânica.

A figura 02 mostra um fluxograma da geração de energia desde a entrada de bagaço à saída de energia.

Figura 2 - Fluxograma da cogeração de energia



FONTE: Autor, 2015.

O bagaço com cerca de 50% de umidade, e teor de fibra de aproximadamente 15% é queimado na caldeira aquecendo o fluido (água) até atingir o estado gasoso. O vapor inicial passa através de serpentinas onde acontece o incremento de temperatura de 300°C para 450°C, na pressão de 42 Kg.cm⁻². O vapor superaquecido resultante movimentava as turbinas que são

acopladas aos geradores, tendo como produto final a energia elétrica, esta segue para a própria indústria, para o campo (irrigação) e/ou para venda.

3.3. Vasos sob pressão.

Segundo Innocente (2011) os equipamentos que tem como função mudar o estado da água do líquido para vapor são chamados de geradores de vapor ou caldeiras. Outros fluidos podem ser utilizados para produção de vapor, no entanto, a água é preferida, pois possui elevado calor específico e abundância no meio industrial. Os geradores de vapor são comumente utilizados em processos industriais e na geração de energia elétrica.

As caldeiras flamotubulares têm o inconveniente de apresentar uma superfície de aquecimento muito pequena, mesmo se o número de tubos for aumentado. A necessidade de caldeiras de maior rendimento, rapidez de geração de grandes quantidades de vapor com níveis de pressão mais elevados, levou ao surgimento da caldeira aquatubular. Nesse tipo de caldeira, os tubos que, nas caldeiras flamotubulares, conduziam gases aquecidos, passaram a conduzir a água, o que aumentou muito a superfície de aquecimento, aumentando bastante a capacidade de produção de vapor (POUBEL, 2015).

A figura 03 ilustra a caldeira da Japungu em funcionamento.

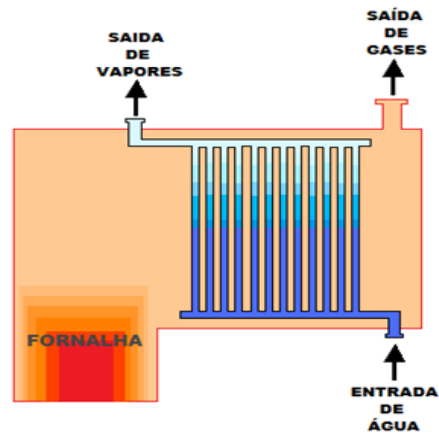
Figura 3 - Caldeira em funcionamento



FONTE: Autor, 2015.

É possível comparar visualizando os dois tipos de caldeiras a partir das figuras 04 e 05 que mostram o princípio de funcionamento de caldeira aquatubular e flamotubular respectivamente.

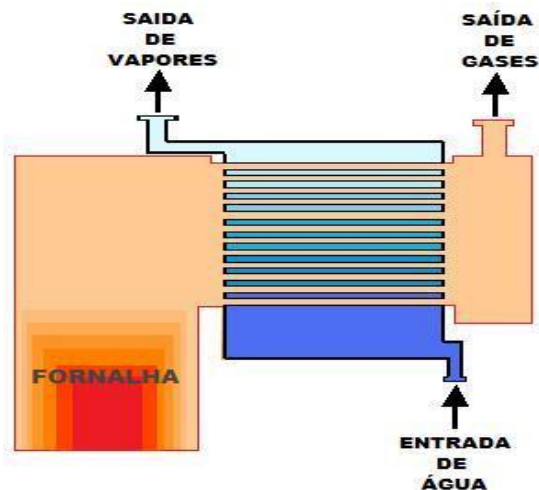
Figura 4 – Princípio de funcionamento de uma caldeira aquatubular



FONTE: Autor, 2015.

De acordo com Rein (2013) uma das principais tendências evolutivas na geração de vapor pode ser descrita como o aumento das pressões de vapor e temperaturas para possibilitar o aumento da energia a ser cogenerada, em função do ganho energético e consequentemente da queda do consumo específico.

Figura 5 - Princípio de funcionamento de uma caldeira flamotubular



FONTE: Autor, 2015.

O bagaço alimenta a caldeira através de esteiras transportadoras e nela será queimado continuamente. Deve haver uma entrada de ar quente para que esta combustão seja realizada

com eficiência. Para que ocorra um melhor desempenho na produção de vapor superaquecido, a água já deve entrar na caldeira a uma temperatura elevada.

O vapor superaquecido produzido é então enviado às turbinas. É importante enfatizar que algumas vezes as temperaturas e pressões do vapor que saem das caldeiras não são suportadas nas turbinas, em face do material utilizado na sua construção. Nestes casos o vapor antes de chegar às máquinas, deve passar por válvulas que diminuam a pressão de trabalho. Elas são chamadas de válvulas redutoras de pressão.

A queima do bagaço libera energia suficiente para evaporar a água que está presente nas serpentinas da caldeira, este vapor é utilizado como energia térmica nos processos de aquecimento, evaporação e cozimento. Através de turbinas o vapor é transformado em energia mecânica que movimenta o maquinário da moenda e/ou difusor e do tratamento de caldo; e com a utilização de geradores ocorre a geração de energia elétrica, que movimenta os laboratórios e a iluminação da usina. Portanto o vapor gerado nas caldeiras, pela queima do bagaço é responsável pela geração de energia térmica, mecânica e elétrica (LIMA, 2011).

3.4. Turbinas a vapor e geradores: contrapressão e condensação.

Nos casos das plantas que têm por objetivo produzir excedente de energia elétrica para venda, o vapor é fornecido a um turbo gerador de maior eficiência que rebaixará a pressão do vapor a níveis desejados e produzirá energia elétrica. Após a passagem por esse turbo gerador o vapor poderá ser direcionado para outras turbinas de acionamento mecânico destinadas aos processos de fabricação de açúcar e álcool (SARAN, 2010).

As turbinas são acopladas a geradores, tendo em muitos projetos um redutor de velocidade entre eles. Elas recebem o vapor superaquecido de alta pressão vindo da caldeira e após realizar trabalho, enviam vapor de baixa pressão (escape ou processo) para a indústria e/ou para o desaerador, que é o equipamento que centraliza todas as águas que irão alimentar a caldeira. O vapor vindo da caldeira movimenta os rotores das turbinas que produzem energia mecânica necessária para os geradores. De acordo com Rein (2013), para um fluxo de vapor constante através da turbina (ou seja, sem sangria de vapor), a diferença em calor total por unidade de peso (entalpia específica, Kj.Kg^{-1}) na entrada e saída de vapor da turbina, representa a energia extraída do vapor na forma de trabalho mecânico, utilizado ou para acionar uma carga mecânica, ou para acionar um gerador rotativo de corrente alternada.

Existem dois tipos de turbinas: as de contrapressão e as de condensação.

As turbinas de contrapressão liberam além da energia mecânica, vapor para o processo a ser utilizado na indústria. As de condensação possuem em sua base um condensador que transforma o vapor de saída em água condensada. Esta água é devolvida a caldeira para ser reutilizada no processo. A diferença básica está no consumo específico da máquina. Enquanto a turbina de contrapressão opera a 12 Kg.KW^{-1} gerado a de condensação opera a $4,5 \text{ kg.KW}^{-1}$ gerado. O benefício do baixo consumo tende a ser perdido em função da impossibilidade de geração de vapor de processo.

São os geradores que realizam a transformação de energia mecânica, vinda das turbinas, em energia elétrica.

Segundo Rein (2013) muitas unidades necessitam de um turbogerador de condensação que opere separadamente do processo com o intuito de fornecer energia voltada para o campo, onde a água tem que ser bombeada para a irrigação, principalmente durante a safra, que se realiza no período de pouca pluviometria. Estes turbogeradores reduzem o nível de importação de energia.

Os geradores são compostos principalmente de um rotor e de um estator. Ainda segundo Rein (2013) neste rotor existe um eletroímã que é energizado por uma corrente contínua – CC de excitação. O movimento relativo entre o campo magnético rotativo e as bobinas do estator produz uma saída de corrente alternada.

A figura 06 ilustra o gerador de condensação da destilaria Japungu Agroindustrial S/A.

Figura 6 - Gerador de Condensação em funcionamento



FONTE: Autor, 2015.

3.5. PCC – Pol da Cana Corrigida

A pol da cana corrigida (PCC) é um índice que determina o valor da tonelada de cana. Caso o PCC seja elevado, o preço da cana será mais elevado; ao contrário, se o PCC for baixo o preço da cana pode cair; é o que se denomina ágio ou deságio (MENDONÇA *et al.*, 2015). A determinação é através da seguinte equação 01.

$$PCC = L_{\text{corrigida}} (1 - 0,01 * f) * c \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

$L_{\text{corrigida}}$ = (%) Pol do caldo extraído;

f = (%) fibra industrial da cana e

c = 0,955 fator de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto.

3.6. Payback e Ponto de equilíbrio.

“Payback” em português significa retorno, é uma técnica de análise de investimento bastante utilizada atualmente. A definição técnica para “payback” é que ele calcula o tempo entre o investimento/empréstimo inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento/empréstimo (BRITO, 2013).

O ponto de equilíbrio é um indicador de segurança do negócio, pois mostra o quanto é necessário vender para que as receitas se igualem aos custos. Ele indica em que momento, a partir das projeções de vendas do empreendedor, a empresa estará igualando suas receitas e seus custos. Com isso, é eliminada a possibilidade de prejuízo em sua operação. É, em geral, calculado sob a forma de percentual da receita projetada. Por exemplo, um ponto de equilíbrio de 65% para uma receita de R\$ 100.000,00 anuais indica que a empresa terá eliminado as possibilidades de prejuízo quando tiver atingido o montante de R\$ 65.000,00 em vendas, passando, a partir de então, a acumular lucro. A lógica do ponto de equilíbrio mostra que, quanto mais baixo for o indicador, menos arriscado é o negócio (SEBRAE, 2015).

4. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido na *Usina Japungu Agroindustrial S/A*, ilustrada na figura 07, produtora de álcool de 1ª geração (*a partir do mosto fermentado do caldo da cana-de-açúcar*) situada no município de Santa Rita, nos tabuleiros costeiros no Estado da Paraíba.

Figura 7 - Destilaria da Usina Japungu Agroindustrial S/A



FONTE: Autor, 2015.

Atualmente a destilaria *Japungu Agroindustrial S/A* possui uma capacidade de moagem média de $4.560 \text{ ton.dia}^{-1}$ de cana e recebe 150 toneladas de mel final para fermentação.

O presente estudo se baseou no uso de planilhas de cálculos, modelos matemáticos e dados reais do processo industrial da usina, para criar e simular cenários da venda de energia e do bagaço de cana-de-açúcar. Com o objetivo de avaliar o impacto da troca dos atuais geradores de contrapressão por geradores mais potentes para futura aquisição pela usina.

A usina dispõe de uma caldeira com capacidade para gerar 100 ton.h^{-1} de vapor, 42 Kgf.cm^{-2} de pressão e 450°C de temperatura.

Os parâmetros do gerador de condensação levados em consideração no estudo estão descritos a seguir:

- ✓ Consumo de Vapor: $27,59 \text{ ton.h}^{-1}$
- ✓ Pressão de Trabalho: 42 Kg.Cm^{-2}
- ✓ Temperatura: 450°C

- ✓ Capacidade de Geração de energia: 6.131 KW
- ✓ O estudo se baseou na capacidade máxima da caldeira de 100 ton.h⁻¹.

Do total de gerado de 6.131 KW, 1.700 KW seguem para indústria, já que os outros geradores não têm capacidade para atender a indústria em sua totalidade. São enviados 4.131 KW para a irrigação e os últimos 300 KW seguem para a Agroval (Usina de açúcar do mesmo grupo). A turbina de alimentação da caldeira trabalha a 42 Kg.Cm² de pressão e 450°C de temperatura e esta turbina é responsável por levar a água do desaerador para a caldeira. Ela consome 12 Kg.KW⁻¹ de energia e 4,8 ton.h⁻¹ de vapor, liberando vapor de escape a uma pressão de 1,5 Kg.Cm² que segue para indústria.

A água condensada segue para o desaerador, voltando para o processo. Na página 29 o *anexo 01* ilustra o fluxograma do cenário atual da Usina Japungu Agroindustrial S/A.

Sabe-se que o mercado energético sofre constantes variações, principalmente o brasileiro, cuja matriz energética principal é a energia fornecida pelas hidroelétricas que são bastante dependentes de fatores climáticos. Porém no caso das empresas sucroalcooleiras, esta variação pode ser minimizada pela possibilidade da venda do bagaço que serve como opção de um momento de excedente de energia.

Para a construção dos cenários prospectivos foram utilizados os parâmetros da tabela 01 abaixo. Na simulação feita na Usina Japungu Agroindustrial S/A foi levado em consideração a produção máxima e os dados do processo da safra 2014/2015.

Tabela 1 – Dados do Processo Industrial “Input”

PARÂMETROS	VALORES
Total de cana moída na safra 2014/2015	909.720 ton
Moagem em tonelada de cana por dia	4.560 ton.dia ⁻¹
Tempo aproveitado (%Eficiência)	95%
Moagem por hora em tonelada de cana	200 ton.h ⁻¹
Consumo de melaço por dia em tonelada	150 ton.dia ⁻¹
P.C.C	13,0
Fator rendimento / P.C.C	6,5

FONTE: Autor, 2015

Nota*

* A divulgação dos dados foi autorizada pela Usina Japungu Agroindustrial S/A (Anexo III – página 40)

4.1. Modelos matemáticos.

As equações descritas a seguir são utilizadas na simulação dos cenários e no cálculo das variáveis dentro do processo para a projeção de cenários com melhor viabilidade técnica e econômica.

O desaerador é responsável pelo aquecimento da água que seguirá para caldeira, para tal ele precisa de $12,04 \text{ ton.h}^{-1}$ de vapor. Para este cálculo utilizamos a equação 02:

$$\mathbf{Vapor} = \frac{[Cp * (\Delta T)]}{CL}$$

Equação 02

Onde:

Cp = Capacidade da caldeira em ton/h;

Δt = variação de temperatura

C_L = Calor latente para que o resultado seja em Kg/h

O álcool total é definido levando-se em consideração a equação 03 descrita a seguir:

$$\mathbf{At} = [(Pcc * Fd * Tch) + (Mh * Mpt)] * 24 \quad \mathbf{Equação 03}$$

onde:

P_{cc} = Pol Corrigido da Cana ;

F_d = Fator da destilaria

T_{ch} = Tonelada de cana por hora ;

M_h = Quantidade de melaço por hora

M_{pt} = Média de litro de álcool por tonelada de mel;

A destilaria necessita de $60,4 \text{ ton.h}^{-1}$ de vapor para que haja seu funcionamento total, este valor é dado pela equação 04:

$$Vapor = \frac{\left\{ \frac{[(At * 2,5) + (Aa * 1,75)]}{24} \right\}}{1000}$$

Equação 04

onde:

A_t = Álcool total;

A_a = Álcool anidro

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a implantação do turbogerador de contrapressão (*anexo 02, página 30*), cuja capacidade total 12 MW, o qual difere do turbogerador de contrapressão atual pelo seu baixo consumo em função da sua pressão e temperatura de trabalho, não será preciso alterar os parâmetros que vem do vapor da caldeira.

A partir disto, observa-se que além de ser capaz de gerar toda a energia que a indústria necessita, a necessidade do uso das válvulas redutoras deixa de existir, principalmente a que manda vapor da caldeira para a destilaria.

O novo turbogerador consome apenas $7,5 \text{ Kg.KW}^{-1}$, trabalhando a 42 kgf.Cm^{-2} de pressão e 450°C de Temperatura. Ele gera $71,3 \text{ ton.h}^{-1}$, valor este dado pelo produto entre sua capacidade em KW e o seu consumo em Kg.KW^{-1} . Para o equilíbrio da usina, o novo gerador irá trabalhar com a potência de 9.501 KW, que resultará na formação de todo o vapor de processo a ser utilizado pela usina, não sendo mais necessária a utilização de nenhuma válvula redutora.

Vale a ressalva que a indústria só necessita de 6.500 KW (partindo da premissa que todos os parâmetros estão no seu máximo), de forma que será enviado para a irrigação/agroval um total de 3.001 KW de energia.

A tabela 2 mostra a produção de bagaço com a mudança dos geradores levando-se em consideração que a capacidade da caldeira permanece a mesma.

Tabela 2 – Demonstrativo do balanço do consumo de bagaço.

PARÂMETROS	EQUAÇÕES	CÁLCULOS	RESULTADOS
Produção bagaço	T.C.H * 30% de bagaço na cana	$200*0,3$	60 ton.h^{-1}
Caldeira	Capacidade	-	100 ton.h^{-1}
Relação	Relação do consumo de bagaço	-	$2,1 \text{ ton.h}^{-1}$
Consumo Caldeira	Capacidade Caldeira / Relação	$100/2,1$	$47,62 \text{ ton.d}^{-1}$
Sobra Bagaço/hora	Produção de bagaço – Consumo Caldeira	$60- 47,62$	$12,38 \text{ ton.h}^{-1}$
Sobra Tonelada/dia	Sobra de bagaço por hora * 24h	$12*24$	297 ton.d^{-1}

Sobra Safra Total	Sobra ton. por dia * dias de safra	297*210	62.400 ton.s ⁻¹
-------------------	------------------------------------	---------	----------------------------

FONTE: Autor, 2015.

A tabela 3 a seguir mostra a comparação na produção de energia quando comparado ao novo turbogerador. Havendo uma mudança nos parâmetros os resultados também podem ser alterados como a variação do PCC (Pol Corrigido da Cana), ou seja, quanto maior o PCC mais álcool será produzido e conseqüentemente mais vapor será gasto.

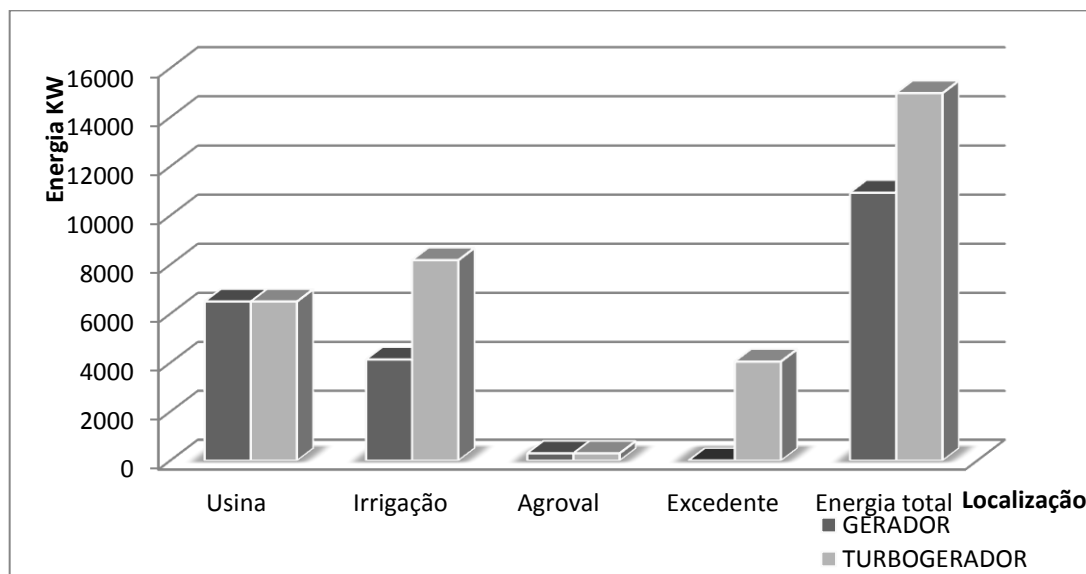
Tabela 3 – Cenário energético comparativo

GERADOR DE CONTRAPRESSAO ATUAL		NOVO GERADOR DE CONTRAPRESSÃO	
Usina	6.500 KW	Usina	6.500 KW
Irrigação	4.131 KW	Irrigação	8.022 KW
Agroval	300 KW	Agroval	300 KW
Energia total	10.931 KW	Energia total	14.822 KW

FONTE: Autor, 2015.

Percebe-se que houve um aumento de aproximadamente 35% da energia total gerada em KW em relação aos geradores de contrapressão do sistema atual. Sendo este um aumento de 3.891 KW, mantendo-se o mesmo consumo de bagaço para geração de 100 ton.h⁻¹ para um período de safra de 210 dias. Como pode ser visto na figura 8 a seguir. A qual mostra um comparativo energético entre o sistema atual e o novo.

Figura 8 - Gráfico comparativo da Energia disponibilizada.



Fonte: Autor, 2015.

Fazendo-se a simulação do cenário percebe-se que ao considerarmos o preço do bagaço a R\$ 90,00 por tonelada teremos os resultados demonstrados na tabela 4.

Tabela 4 - Receita Originária da venda do bagaço de cana

CENÁRIO PROSPECTIVO 01 – Preço do Bagaço R\$ 90,00

Parâmetro	Descrição da equação	Cálculo	Receita em R\$
Ganho Dia	Sobra por dia * Preço bagaço	297*90	26.742,86
Ganho Mês	Ganho por dia * 30 dias	26.742,86*30	802.285,71
Ganho Safra	Sobra por safra * Preço Bagaço	62.400*90	5.616.000,00

FONTE: Autor, 2015.

A tabela 05 mostra a venda de energia com um máximo de 4 MW quando não estiver utilizando a irrigação plena nos meses de julho e agosto considerando o valor do MW/h a R\$ 200,00.

Tabela 5 – Receita originária da venda de energia

CENÁRIO PROSPECTIVO 02 – Preço do Megawhat R\$ 200,00

Parâmetro	Definição	Cálculo	Resultado
Ganho dia	MW * 24h* Valor do MW	4*24*200	R\$ 19.200,00
Ganho mês	Ganho dia * 30 dias	19.200,00*30	R\$ 576.000,00
MW safra	MW * 24h * dias de safra	4*24*210	20.170 MW
Ganho Safra	Ganho dia * Dias de safra	19.200,00*210	R\$ 4.032.000,00

FONTE: Autor, 2015.

Com base nos dados da tabela 01 (*página 15*) foram obtidos todos os resultados para cada cenário apresentando na tabela 6 a seguir. Obtiveram-se os *paybacks* para diferentes cenários de mercado com o uso do gerador de 12 MW, com variações de preço da energia, ganhos com anidro (existem estes ganhos com anidro porque a usina não utiliza as colunas de desidratação em seu máximo, pois com o sistema atual não tem vapor suficiente para as mesmas, mas com o novo turbogerador é possível maior geração de álcool anidro) e investimento.

Tabela 6 - Cenários de Mercado (Preço)

Preço energia R\$	mw p/venda	Ganhos com energia (R\$)	Ganhos anidro (R\$)	Ganho total (R\$)	Valor do invest. (R\$)	Payback (em n° de Safra)
150,00	11.175	1.676.278,80	488.250,00	2.164.528,80	5.643.850,00	2,6
210,00	11.175	2.346.790,32	488.250,00	2.835.040,32	5.643.850,00	2,0
300,00	11.175	3.352.557,60	488.250,00	3.840.807,60	5.643.850,00	1,5
400,00	11.175	4.470.076,80	488.250,00	4.958.326,80	5.643.850,00	1,1

FONTE: Autor, 2015.

Os cenários da tabela 6 demonstram o *payback* em safras é possível aumentar a margem de lucro diminuindo o tempo do *payback*. Isto se dá por que caso o preço da energia venha a diminuir muito, é preferível a venda do bagaço, de acordo com o ponto de equilíbrio entre os dois.

A tabela 7 a seguir mostra a simulação feita para a Usina Japungu Agroindustrial S/A, quando o preço da energia estiver acima do ponto de equilíbrio (menor preço) é preferível a venda do bagaço, se estiver abaixo do ponto de equilíbrio (maior preço) é preferível a venda de energia.

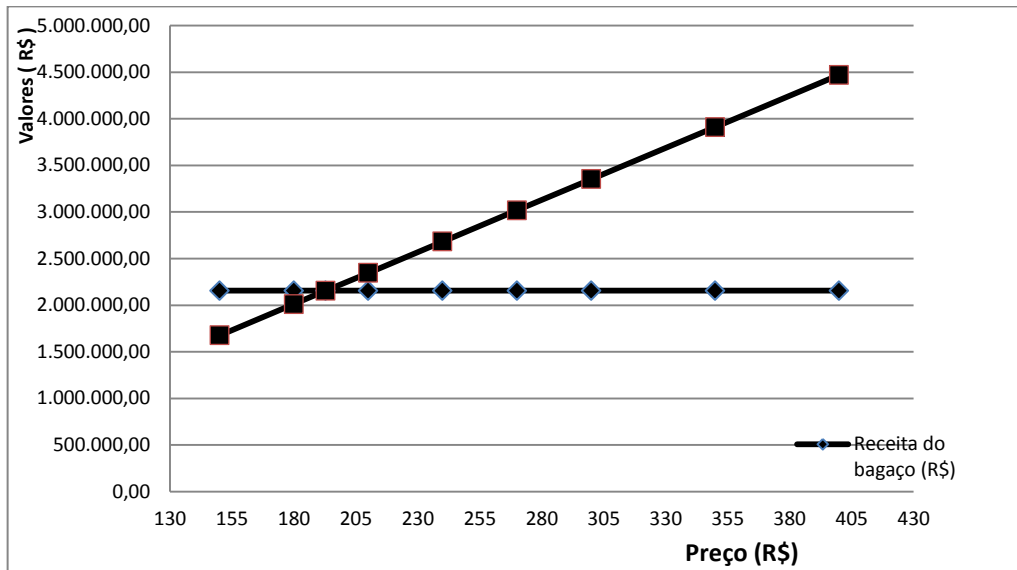
Tabela 7 – Resultados do Ponto de equilíbrio.

Preço energia R\$	Cota de Energia p/vender	Bagaço equivalente ton.	Valor Bagaço R\$	Ganhos bagaço R\$	Ganhos energia R\$	RESULTADOS
150,00	11.175	23.947	90,00	2.155.215,6	1.676.278,8	BAGAÇO
180,00	11.175	23.947	90,00	2.155.215,6	2.011.534,56	BAGAÇO
192,86	11.175	23.947	90,00	2.155.215,6	2.155.247,53	EQUILIBRIO
210,00	11.175	23.947	90,00	2.155.215,6	2.346.790,32	ENERGIA
240,00	11.175	23.947	90,00	2.155.215,6	2.682.046,08	ENERGIA
270,00	11.175	23.947	90,00	2.155.215,6	3.017.301,20	ENERGIA
300,00	11.175	23.947	90,00	2.155.215,6	3.352.557,60	ENERGIA
350,00	11.175	23.947	90,00	2.155.215,6	3.911.317,2	ENERGIA
400,00	11.175	23.947	90,00	2.155.215,6	4.470.076,80	ENERGIA

FONTE: Autor, 2015.

Verifica-se dessa forma que o valor da energia no ponto de equilíbrio é de R\$192,86, dado este, melhor visualizado na figura 09 a seguir.

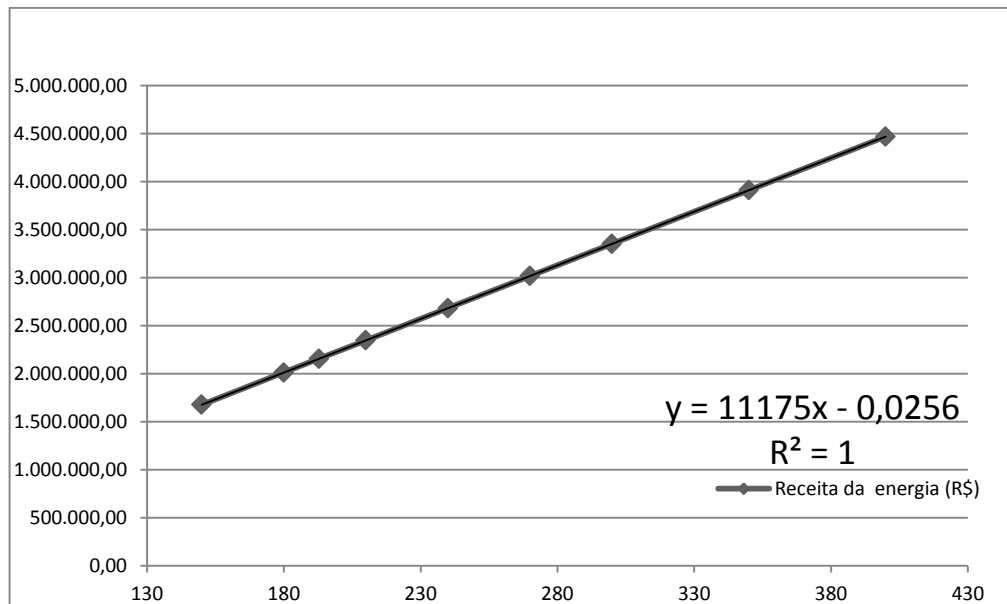
Figura 9 - Ponto de equilíbrio entre ganhos com a energia e preço da energia



FONTE: Autor, 2015.

Com base nos dados obtidos da venda da receita de energia e a partir da simulação dos cenários foi possível encontrar um modelo matemático linear o qual pode ser visto na figura 10 a seguir que rege a atual condição da *Usina Japungu Agroindustrial S/A*.

Figura 10 - Modelo Matemático



FONTE: Autor, 2015.

Com base no Modelo Matemático descrito na equação 05 a seguir, obtido com base nos dados reais do processo é possível agora testá-lo e ao mesmo tempo encontrar o valor da venda de energia para qualquer valor em real.

$$Y = 11175 * X - 0,0256 \text{ Equação 05}$$

Onde:

X = Preço da Energia (R\$);

Y = Receita em Reais (R\$)

A tabela (08) a seguir ilustra o comparativo dos valores das receitas o calculado é o valor resultante do modelo matemático para a Cogeração de energia e venda a rede concessionária levando em consideração o valor de venda da energia de R\$ 192,86.

Tabela 8 - Comparativo das Receitas

PARÂMETROS	RECEITA (R\$)
CALCULADO	2.155.247,53
MODELO	2.155.210,47

FONTE: Autor, 2015.

Com isso é possível determinar para qualquer condição da Usina Japungu Agroindustrial S/A. Pois observa-se que o desvio entre o calculado e o modelo é de 0,01%.

6. CONCLUSÃO

O estudo levou em consideração a caldeira com geração máxima de 100 ton.h^{-1} de vapor, contudo, é possível trabalhar com a margem de até 105 ton.h^{-1} o que significa um ganho de aproximadamente 1 MW.

A cogeração de energia é extremamente importante para que as indústrias sucroalcooleiras tenham custos mais baixos e possam atender o país em caso de crise hídrica. Investir no melhoramento de equipamentos para esta cogeração deixa de ser uma melhoria e passa a ser uma alternativa energética e por que não dizer também, representa um ganho financeiro para o produtor. Aquelas que não “inovarem”, se adequando as novas tecnologias, serão absorvidas pelo mercado, ficando assim defasadas.

Pôde-se observar, com o uso de modelos matemáticos para a simulação de cenários, que a troca dos geradores de contrapressão por um de maior potencia terá um impacto relevante quanto à cogeração de energia. Quando se pensa em compra ou troca a primeira frase que vem a mente é “custos de investimentos” e isto explica a hesitação dos empresários na aquisição dos equipamentos, mas o estudo de caso mostra que é possível a realização deste investimento e que o *payback* é satisfatório, tornando o mesmo viável. Além disso, é importante salientar que a partir do estudo dos cenários prospectivos de venda de energia e de bagaço o projeto pode se adequar a diferentes realidades de unidades sucroalcooleiras. E com o ponto de equilíbrio identificado a indústria pode alternar entre a venda do bagaço e da energia de acordo com as vantagens econômicas dos mesmos, de forma ela não terá prejuízos.

A usina já adquiriu o gerador de Contrapressão em questão e pretende implantá-lo durante a safra 2015-2016.

O projeto é viável para a Usina Japungu Agroindustrial S/A e ao mesmo tempo eficiente como bioenergia, sendo uma alternativa a energia de fontes não renováveis, mas principalmente às hidrelétricas brasileiras que vêm passando por crises em função do regime irregular de chuvas.

7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Fazer um estudo mais detalhado da variação da *Pol Corrigida da Cana (PCC)* durante a safra;
- Conhecer o fluxograma e do balanço de massa energético na usina em que se deseje a aplicação das equações discutidas neste trabalho, para uma futura mudança em seu sistema e/ou melhoria da cogeração de energia para uma possível venda;
- Fazer um estudo prévio mais detalhado do mercado de venda de energia.

8. REFERÊNCIAS

Câmara de comercialização de energia elétrica. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/>. Acesso em 29 de Julho de 2015.

BRITO, C. *Payback: O que é e como calcular*. Disponível em: <http://admsolucoes.blogspot.com.br/2013/02/payback-o-que-e-e-como-calcular.html>. Acesso em 21 de agosto de 2015.

CERQUEIRA, G. A. *et al. A Crise Hídrica e suas Consequências. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (Boletim Legislativo nº 27, de 2015)*. Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 11 de agosto de 2015.

COSTA, P. R. de O.; DUARTE, F. S. *A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro*. Disponível em: <http://publicacoes.fatea.br/index.php/raf/article/view/455/300>. Acesso em 11 de Agosto de 2015.

CORTEZ, L. A. B. *et al. Biomassa para energia*. – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

BRANDE, M. A. *O uso da bioenergia*. Disponível em: <http://www.solumad.com.br/artigos/201011171820591.pdf>. Acesso em 11 de agosto de 2015.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). *Balanco Energético Nacional 2010: ano base 2009*. Rio de Janeiro: EPE, 2010.

Energisa (Brasil). *Fatores de Risco 2014*. Disponível em: <http://investidores.grupoenergisa.com.br/>. Acesso em 04 de agosto de 2015.

GENOVESE, A. L. *et al. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo*. Disponível em: www.proceedings.scielo.br. Acesso em 09 de março de 2015.

GONÇALVES, T. *Opinião: A biomassa e o setor sucroenergético em 2015*. Disponível em: <http://www.canalbioenergia.com.br/opiniaao-a-biomassa-e-o-setor-sucroenergetico-em-2015/>. Acesso em 11 de Agosto de 2015.

INNOCENTE, A. F. *Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar: estudo de caso*. 2011. 111 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90495>>. Acesso em 13 de agosto de 2015.

KAZAY, H. F.; LEGEY, L. F. L. *Fontes alternativas de energia: o que o Brasil tem feito?*. Revista Brasil Sempre, Rio de Janeiro, v. 3, n. 10, p. 2-9, 2002.

LEITE, M. T. *Aproveitamento Integral da Cana-de-açúcar: O bagaço de cana como combustível e a cogeração de energia*. 2014. Notas de Aula.

LIMA, T. M. *Estudo energético do bagaço de diferentes variedades de cana-de-açúcar*. 2011. 73 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/97755>>. Acesso em 13 de agosto de 2015.

MENDONÇA, M. F. de. *et al. Preparo de solo e fosfatagem - II. Rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar*. Disponível em: < <http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA/article/viewFile/588/pdf> >. Acesso em 21 de agosto de 2015.

MOGAWER, T. *Análise técnica e econômica para seleção de sistemas de cogeração em ciclo combinado*. 2005. 133 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/99343>>. Acesso em 13 de agosto de 2015.

MOLION, L. C. B. *Energias Renováveis*. Disponível em: <http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/ENERGIAS%20RENOV%C3%81VEIS.pdf>. Acesso em 11 de agosto de 2015.

POUBEL, W. *Caldeiras Aquatubulares*. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAftRgAF/caldeiras-aquatubulares>. Acesso em: 13 de agosto de 2015.

SANTOS, F. et al. *Cana-De-Açúcar: Bioenergia, açúcar e etanol: tecnologias e perspectivas*. - 2. ed.-Viçosa, MG: Os Editores, 2011.

SANTOS, I. F. dos. *Simulação de arranjos cogeneradores visando análise energética e viabilidade econômica*. Disponível em: <http://www.ufsj.edu.br/portal2->

repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2008/Ivan_F__dos_Santos.pdf. Acesso em 11 de agosto de 2015.

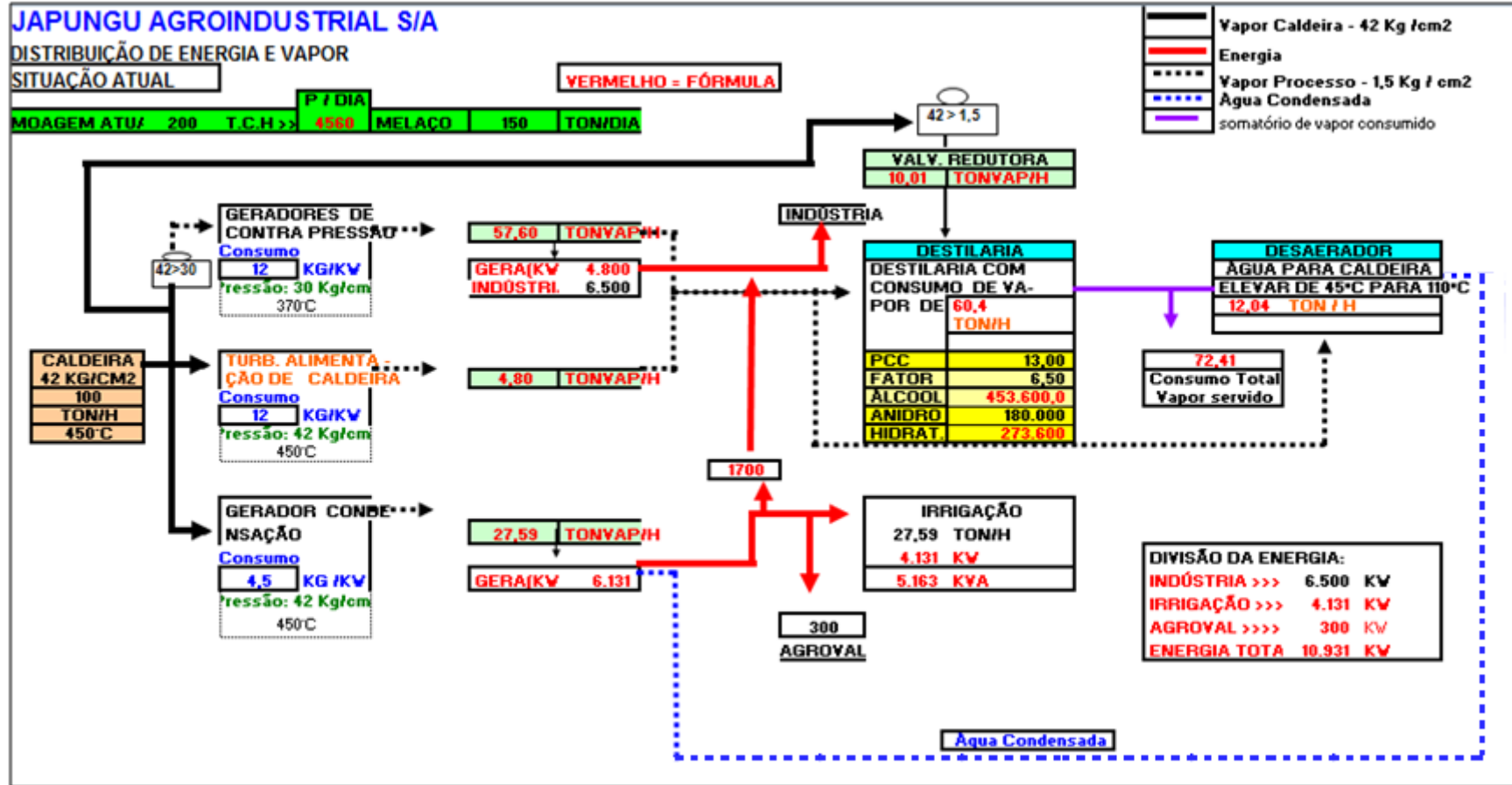
SARAN, D. J. *Análise termodinâmica e termoeconômica do aproveitamento do gás natural em sistemas de cogeração de energia de usinas de açúcar e álcool*. 2010. 121 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/88872>. Acesso em 20 de agosto de 2015.

SEBRAE. *Ponto de equilíbrio*. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/Ponto-de-equil%C3%ADbrio>. Acesso em 21 de agosto de 2015.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. de; CAMARGO, I. M. de T. **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais**. Disponível em: http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe_2006.pdf. Acesso em 11 de agosto de 2015.

REIN, P. *Engenharia do Açúcar de Cana*. Bartens, 2013.

ANEXO I – Fluxograma atual da Destilaria Japungu Agroindustrial S/A.



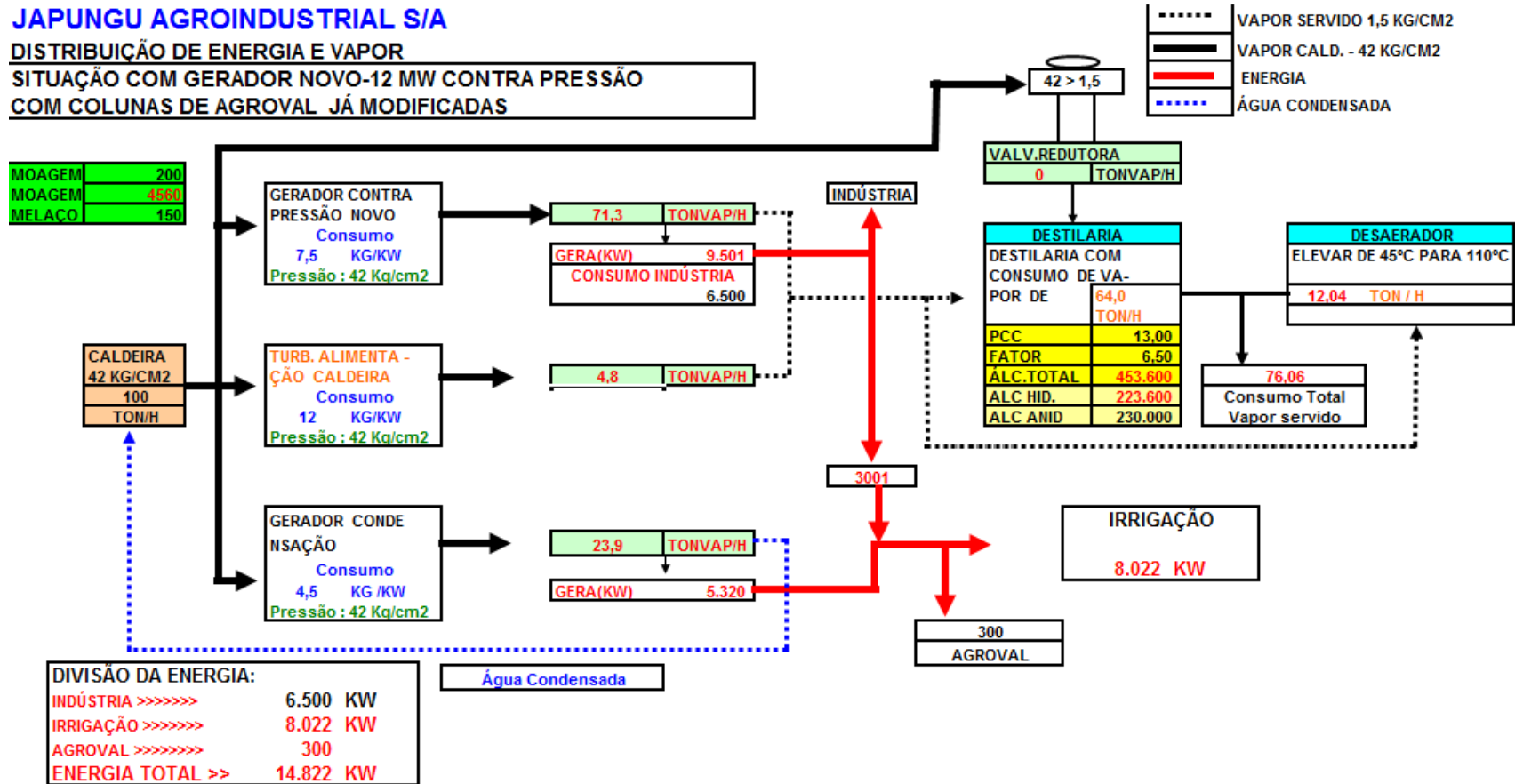
FONTE: Autor, 2015.

ANEXO II – Fluxograma com o novo gerador.

JAPUNGU AGROINDUSTRIAL S/A

DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E VAPOR

SITUAÇÃO COM GERADOR NOVO-12 MW CONTRA PRESSÃO
COM COLUNAS DE AGROVAL JÁ MODIFICADAS



FONTE: Autor, 2015.

ANEXO III – Autorização de dados.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA SUCROALCOOLEIRA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÃO DA EMPRESA

Empresa: Japungu Agroindustrial S/A

CNPJ: 09.357.997/0001-06

Inscrição Estadual: 16.060.258-D

Endereço completo: Fazenda Japungu, s/n – Zona Rural – Santa Rita/PB – CEP: 58.300-970

Representante da empresa: Arlindo Nunes da Silva Filho

Telefone: (083) 2106-9800 e-mail: arlindo@japungu.com.br

Tipo de produção intelectual: TCC Dissertação Tese

Título: Cogeração no setor sucroalcooleiro a partir do reaproveitamento energético da biomassa do bagaço de cana.

Autor (a): Scarlet O'hara de Oliveira Moraes Matrícula: 11211354

Orientador: Prof. Dr Fábio de Melo Resende – UFPB/CTDR/DTS

Curso: Tecnologia em Produção Sucroalcooleira – Universidade Federal da Paraíba

Como representante da empresa acima nominada, declaro que as informações e/ou documentos disponibilizados pela empresa para o trabalho citado:

Podem ser publicados sem restrição em trabalhos de natureza acadêmica.

Possuem restrição não podendo ser publicadas as seguintes informações e/ou documentos:

João Pessoa (PB), 14 de Setembro de 2015

Arlindo Nunes da Silva Filho
Japungu Agroindustrial S/A
Representante da Empresa