

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE PRÉ-VIABILIDADE DO ACOPLAMENTO DE UM QUEIMADOR DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS A UMA USINA DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA A CARVÃO

por

Pedro Amaral Brito Leite

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, junho de 2012

ESTUDO DE PRÉ-VIABILIDADE DO ACOPLAMENTO DE UM QUEIMADOR DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS A UMA USINA DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA A CARVÃO
por

Pedro Amaral Brito Leite

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Arnaldo Ruben Gonzalez
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Ciências Térmicas**

Orientador: Dra. Marina Seelig

Prof. Paulo Smith Schneider

Comissão de Avaliação:

Prof. Fernando Marcelo Pereira (Revisor)

Prof. Pedro Mello (Avaliador 1)

Prof. Sérgio Frey (Avaliador 2)

Porto Alegre, 06 de julho de 2012.

Dedico este trabalho especialmente a minha mãe,
que sempre valorizou a minha educação;
ao meu falecido pai, e aos meus irmãos,
Guilherme, Gustavo e Karina,
por sempre acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer as pessoas que mais amo, e que participaram ativamente da minha educação e formação. Meus pais, meus irmãos, minha vó Helena, tia Cândida, tia Nena, Érika, meu tio Especial Dilmar, e todo mundo da minha grande família Amaral Brito. Gostaria de agradecer também minha vó Neusa e meu tio Kennedy.

Cada mudança que a vida me trouxe, me fez conhecer pessoas especiais, as quais guardo felizes momentos especiais. Agradeço aos colegas de Anápolis, especialmente aos amigos de Goiânia (Mirim, Marco Aurélio, Pelé, Hernane, Kiwi, Dayan, Marcelo, GG, Toscano, Anna, dentre muitos outros).

Desde o início de minha caminhada em Porto Alegre, fiz grandes amizades. Gostaria de agradecer os primeiros amigos da faculdade, Rafa Rabelo, Thobias, Gilmar, Bruno, Deby, Cyane, Nati, Lotião, Gordo, Lucky. O grande companheirismo do pessoal PUC, Gui Afiune, Carol Afiune, Porteiro, Pelegas, Kibe, Zé, Chimarrão. Não por menos as figuras que conheci na volta do intercâmbio, e que mudaram muito minha maneira de pensar e longas conversas na redenção ou no barzinho da arquitetura, Yuri, Camaratta, Joãozinho, Galo, Nino. Um abraço especial a turma da Dana Maurício Pereira e Klein, Gui Kowalski, Felipe Nunes, Cris, Katiuze, Rafa.

Para finalizar, gostaria de agradecer a quem muito me ajudou no TCC, meus orientadores Marina Seelig e Paulo Schneider. A grande ajuda do Fao e Thomas na discussão de problemas e conhecimentos sobre a Usina, ao grande apoio e compreensão das noites de pouco sono e finais de semana separados, minha namorada Aline. A meu irmão e minha mãe por estar ao meu lado incondicionalmente.

**Procure ser um homem de valor,
em vez de ser um homem de sucesso.**

Albert Einstein

LEITE, P. A. B. **Estudo de pré-viabilidade do acoplamento de um queimador de resíduos sólidos urbanos a uma usina de geração termelétrica a carvão**. 2012. 15 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

RESUMO

Este trabalho faz um estudo de pré-viabilidade do acoplamento de um queimador de resíduos sólidos urbanos (RSU) a uma usina de geração termelétrica a carvão. O acoplamento tem o objetivo de reduzir investimentos e os custos operacionais necessários à construção de uma usina de tratamento térmico de resíduos, pela utilização conjunta dos equipamentos e sistemas já instalados em uma usina a carvão. Foi feito um estudo de caso em uma usina a carvão no estado do Rio Grande do Sul. O estudo foi dividido em pré-viabilidade técnica e econômica. Na parte técnica é avaliado os balanços de massa e energia do vapor fornecido pelo queimador a RSU para a planta a carvão, e os equipamentos necessários para limpeza dos gases de combustão do RSU. A parte econômica é desenvolvida pelo fluxo de caixa dos investimentos, despesas e receitas necessários para o acoplamento. Foi proposto dois cenários para avaliação. A proposta não se mostrou economicamente viável apenas com receita proveniente da taxa de destinação final do RSU e dos créditos de carbono. Logo, foi proposta a queima de resíduos de serviço de saúde para o aumento da receita. O resultado mostrou que 3% de queima de RSS aproxima a TIR da TMA sem a contabilização das taxas de juros do financiamento. Portanto, chegou-se a conclusão que a proposta não é financeiramente interessante para investidores. No entanto, devido ao benefício ambiental para o país pela diminuição da quantidade de lixo aterrado e redução de carvão queimado, linhas de financiamento estatal se tornam justificáveis com isenção das taxas de juros apresentando tempo de retorno de 13 anos.

PALAVRAS-CHAVE: recuperação energética de resíduos, geração termelétrica a carvão, acoplamento de queimadores, estudo de pré-viabilidade.

LEITE, P. A. B. **Pre-feasibility study of a municipal solid waste boiler coupling to a coal fired thermoelectric power plant.** 2012. 15 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ABSTRACT

This work is a pre-feasibility study of a municipal solid waste (MSW) incinerator coupling to a thermoelectric coal power. The coupling has the goal of reducing investments and operational costs needed to build a waste to energy plant, by sharing the equipment and systems already installed in a coal plant. Was conducted a case study in a plant located in the state of Rio Grande do Sul. The study was divided into technical and economical pre-feasibility. The technical part evaluates the mass and energy balance of the steam supplied by the MSW burner to the coal plant, and the equipment needed for cleaning the MSW flue gas. The economic part is developed by the cash flow of the investments, expenses and revenues needed for the coupling. It was proposed two scenarios for evaluation. The results showed that the proposal was not economically viable only with revenue from the MSW disposal taxes and carbon credits. Therefore, it was proposed to burn health service waste in order to increase the revenue. The result showed that burning 3% of health service waste approaches the IRR to the MRA, without accounting the interest rate. So, came to the conclusion that the proposal is not financially attractive to investors. However, due to the great environmental benefit for the country by decreasing the amount of waste landed and reduction of coal burned, lines of state funding become justifiable for free interest rates, presenting payback in 13 years.

KEYWORDS: waste energy recovery, thermoelectric coal power generation, waste boiler coupling, pre-feasibility study

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
3. CASO ESTUDADO.....	2
4. PRÉ-VIABILIDADE TÉCNICA.....	2
4.1 Acoplamento do queimador.....	2
4.2 Sistema de limpeza de gases.....	6
5. PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA.....	7
5.1 FASE 1: Transporte do lixo.....	8
5.2 FASE 2: Combustão de RSU.....	8
5.3 FASE 3: Limpeza de gases.....	9
5.4 FASE 4: Investimentos, financiamento, licenciamento ambiental.....	9
5.5 Cenários de avaliação econômica.....	10
6. CONCLUSÃO.....	13
REFERÊNCIAS	14
APÊNDICES.....	16

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas enfrentados pela sociedade em crescimento é a disposição final do lixo. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) a geração de lixo no Brasil chega a 167 mil toneladas por dia [Abrelpe, 2010], e, deste valor, 50,8% é aterrado [IBGE, 2008]. Isso incentivou a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em vigor desde agosto de 2010, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos do país [Brasil, 2010]. Está definido que os resíduos não reciclados devem ser tratados e que somente o rejeito desse tratamento deve ser aterrado. A Política prevê a utilização de tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

Outro problema enfrentado pela sociedade é a disponibilidade de energia. O Plano Decenal de Expansão de Energia [Empresa de Pesquisa Energética, 2010] prevê entre 2010 e 2019 uma taxa média de crescimento do consumo nacional de energia de 5% ao ano, e prioriza as usinas hidrelétricas e as fontes alternativas no horizonte de planejamento. Os projetos termelétricos, preferencialmente os movidos a gás natural, são alternativa de atendimento à demanda no caso de atraso dos projetos planejados. O Rio Grande do Sul detém 88% da reserva nacional de carvão mineral, e aproximadamente um quarto de sua matriz energética é de fontes térmicas [Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã, 2011]. O carvão é o principal bem mineral estadual. Porém, o apelo ambiental pela utilização de combustível fóssil para geração de energia, justifica o pouco interesse do governo federal em fortes investimentos nessa fonte de energia.

Uma das possibilidades de melhorar a imagem do carvão, solucionar parte do problema do lixo e diversificar a matriz energética é combinar a geração termelétrica a carvão com a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos (RSU). A queima do lixo na usina diminuiria o volume a ser aterrado e a quantidade de carvão a ser queimado. Assim, este trabalho faz um estudo de pré-viabilidade do acoplamento de um queimador de resíduos sólidos urbanos a uma usina de geração termelétrica a carvão. Estudos de pré-viabilidade técnica e econômica precedem as análises de viabilidade, levantando as questões básicas que serão encontradas ao longo do projeto [Hofstrand e Holz-Clause, 2009]. O acoplamento tem o objetivo de reduzir os custos de operação e investimentos necessários à construção de uma usina de tratamento térmico de resíduos, pela utilização conjunta dos equipamentos e sistemas já instalados em uma usina a carvão. É assumido o caso de uma usina existente na região metropolitana estadual e é conduzida a análise de viabilidade técnica pelos balanços do acoplamento e a análise de viabilidade econômica pelo fluxo de caixa do investimento necessário.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A ideia da coqueima — queima conjunta de dois ou mais combustíveis para geração de energia — data da década de 70 [Leckner, 2007]. Dada a movimentação em direção à redução do uso de combustíveis fósseis, a substituição de parte do carvão por outro combustível mais limpo é ideia ainda atual. Há centenas de usinas com iniciativas de coqueima listadas no banco de dados da Agência Internacional de Energia, em sua maioria na Finlândia, Estados Unidos e Alemanha [IEA Bioenergy, 2009]. A maioria é de coqueima carvão/biomassa, não havendo exemplo explícito de iniciativa carvão/lixo.

O acoplamento de um queimador de um combustível a uma usina que utiliza um combustível diferente, não se enquadra na definição de coqueima, pois a combustão se dá em separado em diferentes queimadores. No banco de dados da Agência Internacional de Energia há algumas usinas com diferentes combustíveis em diferentes queimadores, novamente não havendo exemplo de acoplamento lixo/carvão. Segundo Chefdebien [2012], porém, há algumas pequenas iniciativas de acoplamento lixo/carvão, buscando justamente o ganho ambiental.

A usina de Zabalgarbi em Bilbao na Espanha é uma das mais modernas e utiliza um acoplamento lixo/gás natural. Ela foi projetada para queimar 792 toneladas de resíduos por dia, porém a energia do lixo contribui em apenas 25% da eletricidade gerada, sendo a restante produzida pelo gás natural [Ribeiro, 2010]. Ribeiro [2010] patenteou o projeto “ciclo combinado otimizado”, utilizando 75% da energia do lixo e 25% de gás natural, apresentando a mesma construção de uma usina convencional de tratamento térmico de resíduos com as seguintes modificações: aumento da pressão de vapor para no mínimo 80 bar e a introdução de um pré-aquecedor de ar resistente à corrosão, de tubos de vidro ou teflon, após o gerador de vapor. Sua análise de viabilidade econômica apresenta uma taxa interna de retorno interessante, variando de 28% ao ano para um cenário otimista e 20,5% para um cenário conservador. Incentivos como o da resolução normativa 271 da Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL, 2007], que isentam tarifas de transmissão e distribuição para potências exportadas inferiores a 30 MWe e pelo menos 50% da energia originária de fontes renováveis, estimulam o empreendedorismo na geração de energia limpa.

3. CASO ANALISADO

Para a análise de pré-viabilidade, foi assumido o acoplamento de um queimador de resíduos sólidos urbanos a uma usina de geração termelétrica a carvão existente na região metropolitana estadual. Tal usina apresenta geradores de vapor em módulos com capacidade de geração de 80 toneladas de vapor por hora. Seu sistema de limpeza de gases apresenta filtros de manga e um dessulfurizador.

No estudo de pré-viabilidade técnica, foi analisado o balanço de massa e energia decorrente do acoplamento do novo queimador e a capacidade do sistema de limpeza de gases existente de suportar a nova carga, de acordo com os padrões de emissão vigentes para sistemas de tratamento térmico de resíduos [Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002]. No estudo de pré-viabilidade econômica, foi feito o fluxo de caixa do investimento necessário, baseado em orçamentos levantados pela empresa Engebio Engenharia para seus trabalhos [Engebio, 2010]. A metodologia e os resultados dos estudos são discutidos a seguir.

4. PRÉ-VIABILIDADE TÉCNICA

4.1 Acoplamento do queimador

Na termelétrica a carvão considerada neste trabalho, em condições normais de operação, o gerador de vapor inicia o aquecimento do fluido de trabalho através do economizador (ECO) que eleva a temperatura da água comprimida até a saturação para troca de fase no evaporador (EVAP). Do evaporador, o vapor segue para o superaquecedor primário (SH1), onde é aquecido até a temperatura de 420°C. Entre o SH1 e o SH2, existe um atemperador para controle da temperatura através do resfriamento do vapor com água. Após passar pela atemperação, o vapor entra no SH2 onde é aquecido a 480°C para entrada na turbina. O ponto de operação da turbina limita a entrada do vapor a uma temperatura em torno de 475°C e 58 bar de pressão. Para atingir o valor de operação da turbina, o vapor é resfriado para 310°C no atemperador, para então aquecimento no SH2, alcançando os 480°C. O controle da temperatura dos gases na fornalha é feito através do monitoramento da vazão de injeção de ar que provoca o arraste do carvão para o queimador. Quanto maior a pressão e vazão de ar, mais carvão é alimentado, gerando um aumento do calor gerado na fornalha. Entretanto, há um valor mínimo de vazão de ar requerido para não provocar a obstrução do canal alimentador de carvão.

O acoplamento proposto é mostrado na Figura 4.1. O ciclo de Rankine à direita representa a usina a carvão. Foi considerado um poder calorífico do carvão de 12901 kJ/kg. O gerador de vapor a lixo, à esquerda, mostra os pontos de extração de água comprimida do ciclo de Rankine e

entrega de vapor superaquecido. Os principais valores de temperatura e pressão do acoplamento são mostrados na Tabela 4.1. Na proposta foi considerado um gerador de vapor a lixo utilizando a tecnologia de grelha de ação reversa da Martin, com combustão em *mass burning*, onde a temperatura interna é monitorada para manter valores acima de 850°C. A eficiência do gerador é de 82% [Liang e Ma, 2010]. Foi considerado um poder calorífico do lixo de 6867 kJ/kg. O lixo contido no silo de armazenamento é previamente secado com injeção de ar aquecido antes de ser dirigido para fornalha onde ocorre a combustão. Como o poder calorífico do lixo é relativamente baixo e de umidade muito variável, um queimador de gás natural auxilia a manutenção da temperatura para reduzir a formação de dioxinas e furanos. Na proposta, a instalação do gerador ocorrerá em duas etapas, conforme recomendado por Engebio [2010]. Na primeira etapa, o gerador tem capacidade máxima de queimar 350 ton/dia, e na segunda etapa, cinco anos mais tarde, tem capacidade instalada de 640 ton/dia.

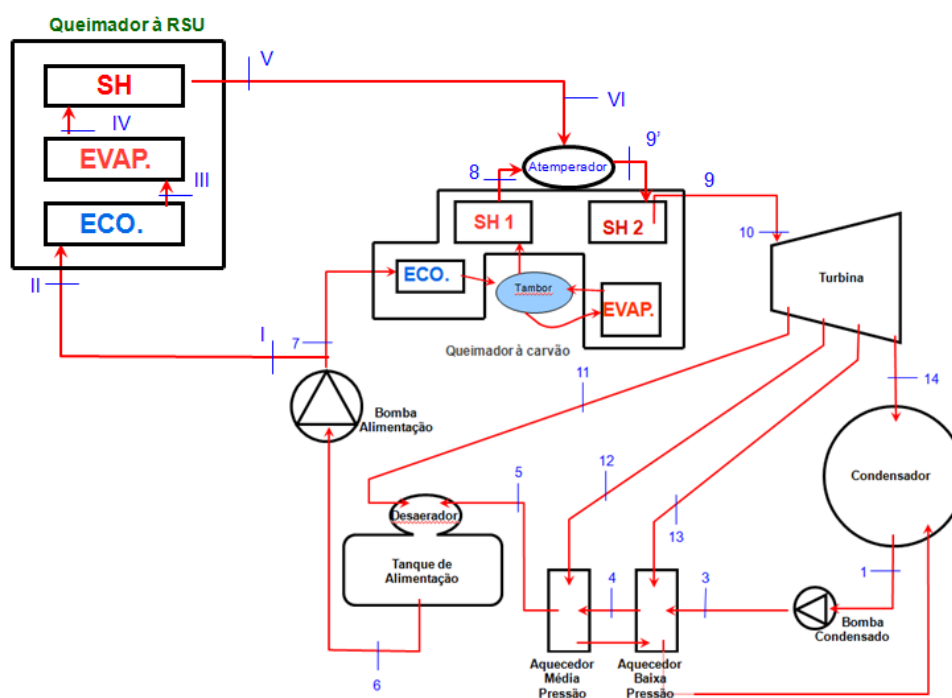


Figura 4.1 – Acoplamento proposto.

Tabela 4.1 – Condições de T e P nos principais pontos do acoplamento proposto.

Trechos	Descrição	Saída do Trecho	
		Pressão (bar)	Temperatura (°C)
6 - 7	Bomba de Alimentação	80	160
I - II	Tubulação entre bomba principal e entrada na caldeira RSU (economizador)	75	150
II - V	Caldeira de RSU (saída SH)	65	$T_v = T_{vi} - 10$
V - VI	Tubulação entre a saída do SH (RSU) e entrada no SH2 (carvão)	62	T_{vi}
7 - 8	Saída do SH1	60	420
8 - 9'	Calor no final da ateperação (supondo resfriamento com água - funcionamento normal da usina a carvão)	60	310
9' - 9	Saída do SH2	58	480

No acoplamento proposto, uma válvula de controle de vazão direciona determinado fluxo mássico de água comprimida (ponto I) da bomba de alimentação para o gerador de vapor de RSU. No gerador, o calor gerado na combustão do lixo é transferido ao fluido de trabalho, deixando o último estágio de aquecimento (SH) no estado de vapor superaquecido (ponto V). Através de uma tubulação, esse vapor é transportado para o atemperador do gerador a carvão. No atemperador, o vapor do RSU irá se misturar com o vapor do carvão. Na proposta, elimina-se o resfriamento do vapor com água no atemperador. O fluxo mássico resultante irá trocar calor no SH2 saindo à temperatura de 480°C, não havendo, assim, alterações nos parâmetros de operação do gerador a carvão. Observa-se que para atingir os 480°C na saída do SH2 os fluxos de vapor de carvão e RSU devem entrar a uma temperatura bem superior aos 310°C, temperatura essa quando o vapor é resfriado com água no atemperador.

Para garantir o vapor na temperatura de operação da turbina, 480°C, é necessário a solução dos balanços de massa e energia no SH2 para as seguintes variáveis: T_{VI} (temperatura do vapor gerado pelo RSU na entrada do atemperador), $\dot{m}_{vapor-carvão}$ (fluxo mássico do vapor gerado pelo carvão), $\dot{m}_{vapor-RSU}$ (fluxo mássico de vapor gerado pelo RSU) e \dot{M}_{RSU} (consumo mássico de RSU). Para efeito de cálculo foram consideradas as seguintes restrições: o módulo da usina que receberá o acoplamento irá operar com carga máxima de 75 ton/h vapor; a temperatura máxima de aquecimento do vapor no gerador a RSU é de 450°C, para que não haja corrosão excessiva na tubulação [Ribeiro, 2010]; a atemperação do gerador de vapor a carvão será feita somente através da mistura com o vapor do gerador a RSU; perda de calor para a vizinhança desprezível; variações de energia cinética e potencial não significativa; a perda de temperatura entre os pontos I-II e V-VI é de 10°C; a pressão do vapor do RSU no ponto VI é maior que a pressão no atemperador, de modo que não há retorno de vapor; a transferência de calor no gerador de vapor ocorre a pressão constante; eficiência do gerador a carvão é de 78%; a temperatura de saída do vapor no SH2 deve ser de 480°C.

Utilizando o princípio da conservação de massa e energia, a Equação 4.1 exhibe os balanços das taxas de massa e energia sobre um volume de controle:

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = h_s - h_e \quad (4.1)$$

sendo que $\frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$ é a taxa de transferência de calor da fonte de energia para o fluido de trabalho por unidade de massa; h_s é a entalpia específica na saída do volume de controle e h_e é a entalpia específica na entrada.

O cálculo da taxa de consumo de combustível na fornalha é realizado através da razão entre a energia necessária para elevar a temperatura de certa vazão de vapor e a energia do combustível transferida para o vapor:

$$\dot{M}_{RSU} = \frac{\dot{m}_{vapor-RSU}(h_s - h_e)}{\eta PCI_{RSU}} \quad (4.2)$$

onde \dot{M}_{RSU} é o consumo de combustível (RSU) queimado na fornalha; $h_s - h_e$ é a elevação de entalpia fornecido pelo calor do gerador de vapor; $\dot{m}_{vapor-RSU}$ é vazão de vapor aquecida pelo combustível (RSU); PCI_{RSU} é o poder calorífico inferior do combustível (RSU); η é a eficiência do gerador de vapor, ou seja, a eficiência de combustão do RSU vezes a eficiência de transferência de calor.

A ideia central do balanço de massa e energia se concentra em manter as condições normais de operação da caldeira a carvão. Assim, a taxa de transferência de calor no SH2 é determinada na condição atual da planta, e assume-se que a mesma taxa de transferência no SH2 será alcançada na nova configuração. Ou seja, o calor fornecido pelo SH2 para elevar o vapor de 310 a 480°C no SH2 no funcionamento normal da planta com atemperação será o mesmo fornecido para a mistura de vapor de RSU e carvão, porém sem atemperação (resfriamento).

Para isso se torna necessário determinar a temperatura do vapor a RSU fornecido (T_{vi}), as vazões $\dot{m}_{vapor-carvão}$, $\dot{m}_{vapor-RSU}$ e \dot{M}_{RSU} . Devido ao número de incógnitas ser maior que o número de equações, foi utilizado o método de tentativa e erro através das equações 4.1 e 4.2. Os passos a seguir mostram a metodologia usada.

- 1) Através da equação 4.1 calcula-se a taxa de transferência de calor no SH2 em função de determinada vazão de vapor para elevar a temperatura do vapor de 310°C (saída da atemperação) a 480°C (saída do SH2). Ou seja, condição atual da planta.
- 2) No balanço de massa do acoplamento, restringe-se $\dot{m}_{vapor-carvão} + \dot{m}_{vapor-RSU} = 75\text{ton/h}$ vapor.
- 3) Assume-se valores para $\dot{m}_{vapor-carvão}$ e $\dot{m}_{vapor-RSU}$.
- 4) Pela equação 4.1 se faz um balanço de entalpia no SH2 para a mistura de vapor do RSU e do carvão assumidas no passo 3 e usando a taxa de transferência de calor do passo 1. Assim, obtem-se a entalpia do vapor do RSU e conseqüentemente sua temperatura.
- 5) Com a equação 4.2, calcula-se o consumo de RSU através da temperatura do vapor do RSU obtido no passo 4.
- 6) Através do consumo de RSU, se ajusta as vazões de vapor do passo 3 para atingir a capacidade desejada do gerador de vapor a RSU.

O consumo de carvão economizado pelo uso de RSU na geração de vapor pode ser estimado com as equações 4.1 e 4.2. Calcula-se $\frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$ utilizando a entalpia nos pontos 7-8. O resultado é utilizado na Equação 4.2 com o $\dot{m}_{vapor-carvão}$ assumido no passo 3, η e o PCI do carvão. Os resultados dos balanços obtidos representam as condições de operação dos geradores de vapor, e são apresentadas para as duas etapas do projeto na tabela 4.2 abaixo.

Tabela 4.2 – Condições de operação do acoplamento proposto para $\dot{m}_{vapor-carvão} = 25\text{ton/hr}$

ETAPA 1 (capacidade máxima = 350 tonRSU/dia)				
T_{vi}	$\dot{m}_{vapor-RSU}$	Consumo RSU (ton/hr)	Economia Consumo Carvão	Capacidade do Gerador de Vapor a RSU
380°C	29,5 ton/hr	12,96 ton/hr	7,3 ton/hr	88,90%
385°C	32,8 ton/hr	14,56 ton/hr	7,3 ton/hr	99%
ETAPA 2 (capacidade máxima 640 tonRSU/dia)				
T_{vi}	$\dot{m}_{vapor-RSU}$	Consumo RSU (ton/hr)	Economia Consumo Carvão	Capacidade do Gerador de Vapor a RSU
420°C	52,92 ton/hr	24,34 ton/hr	11,8 ton/hr	91,3%
415°C	48,78 ton/hr	22,33 ton/hr	11,8 ton/hr	83,7%

Os resultados mostram que na etapa 1 o gerador de vapor de RSU estará com carga próxima à máxima (acima de 90%), com o fornecimento de vapor na faixa de 380–385°C. Já a carga do gerador a carvão na fase 1 irá operar em torno de 70%. Na etapa 2, pode-se perceber que há um aumento já esperado na T_{vi} de fornecimento do vapor, devido ao aumento da vazão mássica de vapor. Porém percebe-se uma limitação no volume de vapor fornecido pelo gerador a RSU a uma faixa de 48,8 a 52,9 ton/h (83,7–91,3% da capacidade) de vapor, devido à capacidade do gerador a carvão atingir quase seu limite (96%). Na proposta, o máximo de lixo que será queimado é de 530 toneladas por dia, em conjunto com 141,6 toneladas de carvão. A economia diária de carvão pelo uso do RSU chega a 283 toneladas. Assim, o acoplamento proposto, dado as considerações feitas, é tecnicamente viável.

4.2 Sistema de limpeza de gases

Os padrões de emissão vigentes para sistemas de tratamento térmico de resíduos exigem controle de material particulado, substâncias inorgânicas e de gases: óxidos de enxofre (280 mg/Nm³), óxidos de nitrogênio (560 mg/Nm³), monóxido de carbono (100 ppm/Nm³), compostos clorados inorgânicos, compostos fluorados inorgânicos e dioxinas e furanos [Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002]. A usina considerada tem seu sistema de limpeza de gases com filtros de manga e um dessulfurizador. Para reduzir custos de operação e investimento, a ideia do acoplamento busca utilizar os sistemas existentes na usina. Assim, foi analisada a capacidade dos sistemas existentes de suportar a carga adicional dos poluentes gerados na queima do lixo.

Albina e Themelis [2003] compararam as emissões da queima de carvão e da queima de lixo e chegaram aos seguintes fatores de emissão por MJ de energia fornecido pelo combustível: óxidos de enxofre 0,45 g/MJ para carvão contra 0,013 g/MJ para lixo; óxidos de nitrogênio 0,19 g/MJ para carvão contra 0,15 g/MJ para lixo; material particulado 27 g/GJ para carvão contra 2,3 g/GJ para lixo. Ou seja, por energia gerada, a queima de lixo emite menos que a queima de carvão. Porém, o poder calorífico considerado do carvão é de 12901 kJ/kg e do lixo é de 6867 kJ/kg, ou seja, carvão aproximadamente o dobro do poder do lixo. Então para gerar a mesma energia do carvão deve ser queimado aproximadamente o dobro da quantidade de lixo, dobrando então os fatores de emissão do lixo. A emissão de óxidos de enxofre e de material particulado segue sendo menor na queima de lixo, porém a emissão de óxidos de nitrogênio precisa ser mais bem avaliada, pois o fator é maior que o da queima de carvão.

Para comparar o volume de gases gerados, foi utilizada a relação simplificada de Rosin e Fehling [1929, *apud* European Environment Agency, 2008] para combustíveis sólidos, em função do poder calorífico inferior (R volume de gases da queima do lixo [Nm³/kg], PCI poder calorífico inferior do combustível [kJ/kg]):

$$R = 0,198PCI + 1,65 \quad (4.3)$$

Sendo o poder calorífico do carvão aproximadamente o dobro do poder do lixo, pela Equação 4.3, a queima do carvão gera aproximadamente o dobro do volume de gases da queima do lixo. Na proposta, pela restrição imposta, o máximo de lixo que será queimado é de 530 toneladas, em conjunto com 141,6 toneladas de carvão. Pelo fator de emissão, essa queima gera 247,34 mg/Nm³ de NO_x, 219,87 mg/Nm³ do lixo e 27,46 mg/Nm³ do carvão, uma quantidade de óxidos de nitrogênio ainda dentro da legislação (560 mg/Nm³), não sendo necessário um equipamento de limpeza adicional. Assim, é viável a utilização do sistema de limpeza de gases existente na usina a carvão, adicionado apenas um equipamento para controle dos compostos inorgânicos e de dioxinas e furanos. Foi considerada para isso a filtração catalítica [Parížek, 2008]. A Figura 4.2 mostra o sistema de limpeza de gases do acoplamento proposto.

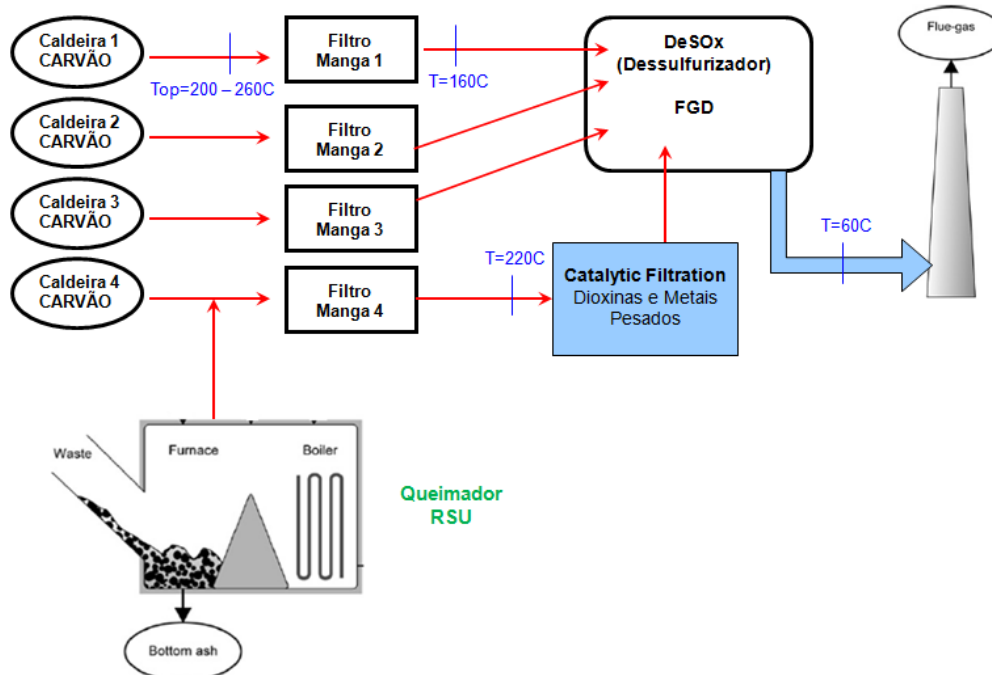


Figura 4.2 – Sistema de limpeza de gases do acoplamento.

Na usina, os gases de combustão do carvão recebem tratamento através de filtros de manga que fazem a retirada do material particulado, seguido pelo FGD, sistema que elimina os óxidos de enxofre através da reação química com o calcário, gerando primariamente sulfito. Na proposta, os gases de queima do lixo são encaminhados para o filtro de mangas 4 para limpeza das cinzas volantes. Antes da entrada no filtro de mangas, os gases de RSU são misturados com os gases de carvão. Os filtros de manga possuem uma temperatura de operação de 205 a 260°C. Do filtro manga, os gases são aquecidos de 160 a 220°C para entrada na filtração catalítica, onde ocorre a remoção de metais pesados e dioxinas. A última operação de limpeza de gases é o FGD, que realiza a limpeza dos óxidos de enxofre, através da lavagem dos gases com uma solução a base de calcário que reage com o SOx formando sulfito, caindo em um tanque onde é injetado oxigênio que transforma o sulfito em sulfato, que é separado em hidrociclones e posteriormente secado em esteiras a vácuo formando gesso. Esse sistema é controlado pela usina a carvão, atendendo as normas da Conama.

5. PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA

A avaliação econômica tem por finalidade a comparação entre diferentes alternativas de investimento e/ou diferentes condições/cenários de projetos previstos para auxiliar o empreendedor na tomada de decisão. Para tanto, são usadas ferramentas de engenharia econômica para analisar cada caso. A pré-viabilidade econômica desta proposta foi analisada pelo fluxo de caixa do investimento necessário. Um fluxo de caixa é o fluxo de custos e receitas de um empreendimento ao longo de um determinado período. O principal indicador utilizado nessa análise é a taxa mínima de atratividade (TMA), que corresponde à taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros [Lapponi, 2000]. A TMA utilizada neste trabalho será de 10%, conforme sugere Oliveira [2009]. Além da TMA, foram utilizados os indicadores valor futuro (VF), valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e payback simples e *payback* modificado.

O projeto foi dividido em quatro etapas, apresentadas nos itens abaixo: transporte do RSU; combustão do RSU; limpeza de gases; investimentos, financiamento e licenciamento ambiental.

5.1 ETAPA 1: Transporte do RSU

A Estação de Transbordo Lomba do Pinheiro (ETLP) recebe os resíduos de coleta domiciliar de Porto Alegre, realizado em todos os bairros três vezes por semana. Em seu pátio impermeável, os resíduos são pesados e transferidos para carretas com capacidades de até 30 toneladas, contra 6 toneladas dos caminhões de lixo. Nas carretas, o lixo percorre 113 km até o aterro sanitário da empresa SIL Soluções Ambientais, no município de Minas do Leão, que recebe mil toneladas diárias de resíduo domiciliar. Todo o processo de destinação do lixo – coleta, transporte, pagamento ao aterro – custa à prefeitura mais de R\$100,00/ton [Seelig *et al.*, 2011].

O abastecimento de resíduo domiciliar para a usina proposta será contínuo, onde as carretas de lixo irão partir da ETLP diretamente para a usina, que irá receber o lixo em seus silos de armazenamento para posterior alimentação do queimador. Seis unidades de transbordo (UTs) com capacidade de 50ton/dia, serão construídas próximo à instalação do gerador de vapor, e irão servir de estoque pulmão para o abastecimento.

A tabela 5.1 abaixo descreve as principais despesas do que envolvem o transporte do RSU e seu armazenamento nas Unidades de Transbordo.

Os dados apresentados na tabela 5.1 abaixo representam as despesas da etapa de transporte do RSU e foram obtidos da empresa Engebio Engenharia [Engebio, 2010]. Os custos de transporte do RSU foram considerados como despesas pagas pela Prefeitura de Porto Alegre, como já ocorre no transporte do lixo para Minas do Leão.

Tabela 5.1 – Custos considerados na fase 1.

FASE 1 - TRANSPORTE DO LIXO					
	Capacidade UT (ton/dia)	Custo de cada UT Capacidade (RS)	QTDE Uts Proposta	Capacidade Total (ton/dia)	Custo Total
Construção das Unidades de Transbordo (UT) (RS)	10	R\$ 85.560,00	0	0	R\$ 0,00
	50	R\$ 150.651,00	0	0	R\$ 0,00
	100	R\$ 561.075,00	0	0	R\$ 0,00
		Total			
	Capacidade UT (ton/dia)	Custo de G&M&OP das UTs por Mês	QTDE Uts Proposta	Custo Total G&M&OP por Mês	Custo Total G&M&OP por Ano
Manutenção, Operação e Gerenciamento (G&M&OP) das UTs	10	R\$ 2.980,00	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
	50	R\$ 7.257,00	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
	100	R\$ 16.891,00	0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
		Total			
Transporte da UT Lomba do Pinheiro à Usina Proposta = 75km	Pago pela prefeitura. O custo de transporte é R\$ 0,60 /ton.Km				

5.2 ETAPA 2: Combustão do RSU

A etapa 2 envolve todos custos e receitas na queima e resíduos no gerador de vapor e são mostrados no apêndice I. As projeções de custos anuais de gerenciamento, operação, manutenção e despesas administrativas foram obtidas da Engebio, 2010. Os custos de consumo de água não foram contabilizados, pois esta despesa é independente da instalação da usina proposta.

Tonini e Astrup [2012] sugerem um consumo auxiliar de gás natural a uma taxa de 0,45m³/tonRSU. Conforme dados da usina de Zabalardi, Espanha, a geração de cinzas geradas na combustão do lixo representa um percentual de 22,3% em massa, sendo 18,6% de cinzas de fundo e 3,7% de cinzas volante [Unda, 2009]. De acordo com Engebio [2010], as cinzas são consideradas como resíduo perigoso, com necessidade de envio para aterros Classe I, que custam cerca de R\$250,00/ton. Outra possibilidade é a venda para empresas que a utilizam como insumo na fabricação de cimento e pavimentação, como acontece na usina a carvão em estudo, onde 100% das cinzas são vendidas. Por este motivo as cinzas são consideradas como receitas.

O valor da taxa de destinação final (TDF) do RSU é negociado conforme um Contrato de Concessão de serviços estabelecido entre a Prefeitura e a Empresa, considerando as características do Projeto Industrial do empreendimento, devendo o contrato, ser celebrado por

longo prazo. Ribeiro [2010] propõe um valor de R\$40,00/ton RSU. O valor cobrado para envio de uma tonelada de RSU para o aterro da SIL em Minas de Leão é de R\$29,75, conforme consta no site da Carbonífera Jovem [2011]. Em Gravataí, o aterro de Santa Tecla cobra R\$54,00/ton [Rádio Guaíba, 2010]. Conforme consta no relatório da Engebio, 2010, o custo do transporte de RSU pode ser estimado a R\$0,60 ton/km. Em função do custo de transporte para o envio de RSU para Minas do Leão ser mais alto se comparado a usina proposta (por ser 38km mais distante) o valor da TDF a considerada na receita é de R\$50,00/ton.

No fluxo de caixa também foi considerado percentual de custos não projetados sobre o custo total. O valor adotado foi de 10%.

5.3 ETAPA 3: Limpeza de gases

Os custos que envolvem a de limpeza de gases se resumem nos insumos utilizados no FGD e na filtração catalítica. Os custos da solução de calcário de calcário utilizada no FGD será considerada despesa da usina a carvão, custo este independente do acoplamento proposto. Da mesma maneira, a receita da venda do gesso, subproduto da reação no FGD, será uma receita da termelétrica a carvão. Os custos de troca periódica filtros do sistema de filtração catalítica serão consideradas dentro dos custos de manutenção pesada.

Os créditos de carbono constituem a receita desta fase, cuja origem da redução de emissões de gases vem de duas formas. A primeira é proveniente da redução da emissão de gases gerados em aterros pela decomposição da matéria orgânica. A segunda forma é a redução do consumo de combustível fóssil (carvão). Esta última, não será considerada nos cálculos de receita por haver apenas citações do Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação sobre a substituição total de combustível fóssil por fontes alternativas nas normas, e não de substituição parcial.

Para estimativa da primeira forma de redução de emissões decorrentes das atividades da Usina Proposta, tomou-se como base a metodologia aprovada de Linha de Base e monitoramento *Avoided emissions from organic waste through alternative waste treatment process*, aplicada pela Engebio. Através desse cálculo, foi realizada uma avaliação da quantidade de RSU tratado em todo período do projeto da usina proposta e comparado aos valores projetados pela Engebio referente ao cenário UAER já definido. O Apêndice II mostra a estimativa da economia de crédito de carbono.

5.4 ETAPA 4: Investimentos, financiamento e licenciamento ambiental

Essa etapa envolve o investimento total de capital necessário para o projeto de acoplamento proposto, assim como os meios de financiamento e as taxas de licenciamento ambiental.

Através de uma pesquisa para obtenção de valores de orçamentos de geradores de vapor, sistemas de limpeza de gases e equipamentos para acoplamento, observou-se que os orçamentos encontrados em literatura apresentam em sua maioria estimativas de investimento total para uma planta (tipo *turn-key*). Portanto, tomou-se como base para valor total do investimento do acoplamento proposto, uma porcentagem do valor orçado para o cenário UAER da Engebio (R\$ 232,4 milhões). A porcentagem adotada é de 60% e são baseados em estimativas de custo dos equipamentos que serão compartilhados no acoplamento (turbinas, geradores elétricos, transformadores, filtros manga, FGD, trocadores de calor, dentre outros).

A instalação da Usina ocorrerá em duas etapas, conforme propõe a Engebio [2010]. Na primeira etapa, a usina terá capacidade instalada para queima de 350ton/dia utilizando 57,2% do valor total do investimento. Cinco anos após a operação da primeira etapa, serão investidos os 42,8% restantes, resultando em uma capacidade final de 640ton/dia.

As linhas de financiamento para este tipo de empreendimento são oriundas de bancos governamentais. O BNDES possui uma linha para área de geração de energia elétrica chamada Finem. As condições propostas por esta linha são mostradas na tabela 5.2 abaixo.

Tabela 5.2 – Taxas de Financiamento BNDES (Linha Finem)

Linha Finem BNDES - Geração de Energia Elétrica	
Participação Máxima (%)	70,0%
Prazo de Amortização (anos)	14
Taxa de Juro de Longo Prazo (TJLP) - (% a.a)	6,0%
Remuneração Básica (% a.a.)	0,90%
Taxa de Risco de Crédito (% a.a)	0% a 3,57%

Os cenários apresentados no item 5.5 mostram as condições de financiamento propostas. Tendo em vista o modelo de operação, adotou-se de maneira simplificada que a empresa recebe e paga no mesmo mês, não sendo considerados valores para capital de giro.

Para operação de um queimador de RSU é necessário um Licenciamento Ambiental da FEPAM, que somam a Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação. Os custos para os serviços de licenciamento ambientais considerados foram de porte excepcional, potencial poluidor alto. Todas as taxas de documentos licenciatórios também foram contabilizadas. O valor total para adquirir a licença ambiental foi de R\$ 273.000,00.

Como não há receita na venda de energia elétrica, apenas fornecimento de vapor, os impostos foram desconsiderados no cálculo. Também foi considerado as entradas como receitas líquidas.

5.5 CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para avaliação econômica foram montados 2 cenários, que são apresentados na Tabela 5.3. A tabela mostra que as principais fontes de receita do fluxo de caixa são a TDF e os créditos de carbono. A economia de carvão não foi contabilizada como receita, visto que o vapor gerado pelo RSU poderia ser gerado com o carvão, e também pelo fato do custo do carvão ser reembolsado. Segundo a ANEEL, o custo de combustíveis para geração termelétrica em usinas que utilizem apenas carvão mineral nacional é 100% reembolsado com recursos da Conta de Desenvolvimento Energético. A Resolução Normativa da ANEEL Nº 129, de 20 de dezembro de 2004, regulamenta que para receber 100% do reembolso, as usinas devem ter atendido ao menos 95% da geração estabelecida para o ano anterior e 97,5% da geração de referência relativa aos dois anos anteriores. Entretanto a ANEEL lançou em seu site, uma minuta de resolução que prevê alteração na resolução de 129 em 2016. A minuta propõe um cálculo de reembolso que considera a eficiência da usina a carvão. Segundo a Agência, a eficiência de referência para usinas com potência instalada de até 100MW é de 30% e 35% para as demais. Sendo assim, as usinas que não atingirem a eficiência requerida terão descontos no valor do reembolso.

Tabela 5.3 – Apresentação dos cenários de avaliação econômica.

CONSIDERAÇÕES PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
PRINCIPAIS RECEITAS		
Receita da TDF = R\$50,00/ton	SIM	SIM
Saving Créditos de Carbono	SIM	SIM
PRINCIPAIS DESPESAS		
Manutenção Pesada	2% s/ investimento	2% s/ investimento
Capacidade UTs	300 ton RSU/dia	300 ton RSU/dia
Custos Não Projetados	10,00%	10,00%
INVESTIMENTO / FINANCIAMENTO		
% Investimento da UAER	60,00%	60,00%
Valor Residual	15,00%	20,00%
Financiamento	100,00%	100,00%
Taxa de Riso de Crédito	3,00%	1,00%

A variação entre os cenários 1 e 2 foi feita para avaliar a influência da taxa de juro nos resultados. O investimento total foi considerado financiado com a taxa de juro aplicada pelo BNDES. O período considerado para avaliação econômica do investimento foi de 30 anos e a TMA igual a 10%. Também foi considerado que toda receita líquida obtida é utilizada para pagamento do financiamento. Os resultados do fluxo de caixa são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resultados dos cenários.

CONSIDERAÇÕES PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
RESULTADOS COM PAGAMENTO JUROS		
VPL	-R\$ 280.253.616,04	-R\$ 197.296.597,96
TIR	#DIV/0!	#DIV/0!
VF	-R\$ 5.379.283.892,02	-R\$ 3.786.978.474,51
Payback	Não Aplicável	Não Aplicável
Payback Modificado	Não Aplicável	Não Aplicável
RESULTADOS SEM PAGAMENTO JUROS		
VPL	-R\$ 66.880.528,09	-R\$ 66.520.969,53
TIR	2,65%	2,80%
VF	-R\$ 1.283.727.762,38	-R\$ 1.276.826.272,40
Payback	24 anos	26 anos
Payback Modificado	Maior que 30 anos	Maior que 30 anos
Lucro p/ VPL=0 (ETAPA 1)	R\$ 8.344.490,65	R\$ 8.344.490,65
Lucro p/ VPL=0 (ETAPA 2)	R\$ 15.014.496,05	R\$ 15.014.496,05

Os resultados apresentados na tabela acima mostram que o investimento é economicamente inviável. Analisando o fluxo de caixa, observa-se que receita líquida não é suficiente para pagamento dos juros do financiamento, deixando a amortização negativa, o que justifica os valores da tabela. Também se percebe que nos resultados sem pagamento de juros, a taxa de retorno do investimento (TIR) é muito baixa, indicando que a receita é pouco superior as despesas. Outro fato a ser observado, é que uma redução de 2% nos juros de financiamento entre os cenários 1 e 2 implica em uma redução de 30% do VPL negativo, nos resultados com pagamento de juros.

Na tabela 5.4, também é possível ver qual receita líquida anual necessária para zerar o VPL sem o pagamento de juros. No apêndice III, pode ser encontrado o fluxo de caixa para o cenário 2.

Através desta análise, pode-se concluir que para tornar o projeto economicamente viável, é necessário primeiramente um aumento das receitas, e posterior redução na taxa de juros. Uma opção é a incineração de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (RSS) que abrange os resíduos gerados em hospitais, clínicas médicas, farmácias, laboratórios, postos de saúde, clínicas veterinárias entre outros, conforme a Resolução da CONAMA N° 005.

Segundo o IBGE [2000], Brasil gera 4.000 toneladas de RSS por dia, dos quais apenas 14% são tratados. Devido ao contínuo risco físico, químico e biológico gerado pelo envio de RSS a aterros o Conselho da União Européia editou a Diretiva 1999/31/CE proibindo a colocação de qualquer tipo de lixo sem tratamento prévio desde 2005.

A incineração de RSS já vem sendo adotada na Europa e segundo Rego, 1994, a temperatura adequada para a combustão de RSS está na faixa de 800 a 1000°C com tempo de retenção de 2 segundos, parâmetros estes que podem ser observados no incinerador de RSU.

O tratamento deste tipo de resíduo apresenta um alto custo. Conforme dados da Luftech Soluções Ambientais, o valor cobrado em média para tratamento de lixo hospitalar é de R\$1,70 a 3,40 por kilo. Motta, 1996, menciona que em função das exigências ambientais nos Estados Unidos, o tratamento de RSS chega a U\$600/ton. Outro projeto desenvolvido para incineração de RSS, SEGET, 2009, revela que o custo no tratamento térmico deste resíduo é de R\$1,50/kg. Segundo estudo realizado por Costa, 2007 o valor médio do PCI dos RSS é de 2.321 Kcal/kg, valor este superior ao PCI do RSU. De acordo com Uniara [2007], 2% do total de resíduos gerados são de serviços de saúde.

A alternativa proposta neste item contempla a incineração de RSS visando aumento da receita. O valor da TDF adotado para o queima do RSS foi de 1,50kg/ton com um volume de 3% do total de RSU incinerado (cerca de 9,8 ton/dia na etapa 1 e 16,6 ton/dia na etapa 2), ou seja, cerca de 65% do RSS gerado em Porto Alegre. Esta proposta foi aplicada nos 2 cenários apresentados acima. Criou-se também um cenário alternativo 3, similar ao cenário alternativo 2, pela diferença que este contabiliza como receita a economia de carvão pela queima de RSU. Os resultados são mostrados na tabela 5.5 abaixo.

Tabela 5.5 – Resultados da proposta alternativa para aumento de receita.

CONSIDERAÇÕES PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICA	CENÁRIO ALTERNATIVO 1	CENÁRIO ALTERNATIVO 2	CENÁRIO ALTERNATIVO 3
RESULTADOS COM PAGAMENTO JUROS			
VPL	-R\$ 117.234.543,59	-R\$ 69.272.461,22	R\$ 57.703.755,50
TIR	#DIV/0!	4,11%	13,60%
VF	-R\$ 2.250.239.982,06	-R\$ 1.329.639.346,24	R\$ 1.107.585.646,43
Payback	Maior que 30 anos	26 anos	12 anos
Payback Modificado	Maior que 30 anos	Maior que 30 anos	20 anos
RESULTADOS SEM PAGAMENTO JUROS			
VPL	-R\$ 7.559.994,44	-R\$ 7.200.435,89	R\$ 51.549.215,85
TIR	9,23%	9,28%	15,06%
VF	-R\$ 145.109.122,49	-R\$ 138.207.632,51	R\$ 989.453.304,38
Payback	13 anos	13 anos	9 anos
Payback Modificado	Maior que 30 anos	22 anos	12 anos

Pode-se observar que os resultados permanecem negativos, indicando que o projeto não é financeiramente viável. No entanto, nos resultados sem pagamentos de juros a TIR se aproxima da TMA, o que tornaria o VPL igual a zero. Os fluxos de caixa do cenário alternativo 2 é exposto no apêndice IV. Já no cenário alternativo 3, a receita da economia do carvão viabilizaria o projeto, com uma TIR interessante sem o pagamento de juros. Porém este cenário é apenas ilustrativo, pois não há incentivos governamentais que sustentam esta ideia. Os apêndices V e VI mostram a distribuição de receitas e despesas dos cenários alternativos 2 e 3.

Os valores da taxa de destinação final de RSU e RSS são estabelecidos por contratos de longo prazo entre prefeitura e prestador de serviços. Por isso, foi feita uma simulação para saber quais os valores da TDF do RSU ou %RSS queimado, seriam necessários para tornar a proposta tão interessante quanto a taxa de atratividade do mercado (TMA). Os resultados são apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – TDF e %RSS para zerar o VPL

Simulação VPL=0 - Cenário Alternativo 2		
Variáveis	Sem Pgto Juro	Com Pgto Juro
TDF RSU	R\$ 55,30	R\$ 74,00
%RSS	3,35%	4,65%

Observa-se que com um aumento relativamente pequeno da TDF do RSU ou da %RSS incinerado, tem-se VPL=0. Entretanto, o presente projeto trata de um investimento de grande vulto, onde empreendimentos deste porte com retorno próximo a TMA não são financeiramente interessantes para investidores. Contudo, esta proposta de acoplamento traz um grande benefício ambiental para o país. Pelo fato do lixo se tratar de um assunto de utilidade pública, linhas de financiamento Estatal com isenção de taxas de juros são justificáveis para projetos com VPL igual a zero.

Assim, a pré-viabilidade econômica levantou que a questão básica a ser encontrada ao longo do projeto é a necessidade de uma receita complementar a do recebimento do lixo urbano em conjunto com a necessidade de um investimento estatal. Um estudo de viabilidade precedente já deve considerar esse cenário.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho faz um estudo de pré-viabilidade do acoplamento de um queimador de resíduos sólidos urbanos a uma usina de geração termelétrica a carvão. O acoplamento tem o objetivo de reduzir os investimentos e os custos operacionais necessários à construção de uma usina de tratamento térmico de resíduos, pela utilização conjunta dos equipamentos e sistemas já instalados em uma usina a carvão. Os principais pontos levantados para futuros projetos de viabilidade mostram que a análise de pré-viabilidade técnica, pelos balanços de massa e energia calculados, mostrou que a proposta de acoplamento é viável, sendo necessária a instalação de um equipamento complementar ao sistema de limpeza de gases para controle de metais pesados, dioxinas e furanos. A análise de pré-viabilidade econômica, pelo fluxo de caixa dos investimentos necessários, mostrou que a proposta não é viável apenas com a receita de créditos de carbono e taxa de destinação final do lixo urbano. Logo, foi proposta a queima de resíduos de serviço de saúde para o aumento da receita. O resultado mostrou que 3% de queima de RSS aproxima a TIR da TMA, mas ainda não zera o VPL. Portanto, chegou-se a conclusão que a proposta não é financeiramente interessante para investidores. No entanto, devido ao benefício ambiental do tratamento térmico do lixo e redução da quantidade de carvão queimado, linhas de financiamento estatal se tornam justificáveis com isenção das taxas de juros apresentando tempo de retorno de 13 anos.

REFERÊNCIAS

ABNT, 2002, p.4; NBR 14653-4.

Abrelpe, 2010; “Panorama de resíduos sólidos”. disponível em www.abrelpe.org.br. Acessado em junho de 2012.

Albina, D., Themelis, N. “Emissions from waste-to-energy: a comparison with coal-fired power plants. In: ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition.” 2003; Washington D.C. Proceedings... Washington D.C., 2003.

ANEEL, 2007; “Resolução Normativa N° 271”, de 3 de julho de 2007

Brasil, 2010; Brasil. “Política Nacional de Resíduos Sólidos” de 2 de agosto de 2010.

Carbonífera Jovem, 2011, “Aterro de Minas do Leão reajusta valor da tonelada de lixo recebido”; www.carboniferajovem.com; acessado em junho de 2012.

Chefdebien, H. ; “Sistemas de incineração com valorização energética de resíduos sólidos urbanos”; 2012.

Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002; RESOLUÇÃO CONAMA nº 316; disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31602.html. Acessado em maio, 2012.

De Soares, F. S., Análise Econômica do Gás Natural – Curso de especialização em utilizações do Gás Natural, UFRGS.

Empresa de Pesquisa Energética, “Plano Decenal de Expansão de Energia 2019”. Brasília, 2010; Disponível em: www.epe.gov.br. Acessado em junho de 2012.

Engebio, 2010; “Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais”; Relatório 1 e 2, disponível em: <http://www.engebio.net>. Acessado em março de 2012.

Filomena, 2009; Notas de aula “Engenharia econômica e avaliações”; ADM 01135, UFRGS.

Gripp, W. G. Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos; USP; São Carlos: 1998. 208 f. Dissertação(Mestrado em Hidráulica e Saneamento)

Hofstrand e Holz-Clause, 2009; “What is a feasibility study”; disponível em: <http://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/html/c5-65.html>; acesso em junho 2012

Holanda, M. R.; “Perspectivas da Co-geração com Resíduos Sólidos Municipais sob a Ótica da Gestão Ambiental”; 2003. Disponível em: www.acervodigital.unesp.br. Acesso: maio de 2012

IBGE, 2002; disponível em www.ibge.gov.br. Acessado em maio de 2012

IBGE, 2008; disponível em www.ibge.gov.br. Acessado em maio de 2012.

IEA Bioenergy, 2009; “Database of biomass cofiring initiatives”, 15/05/2011, disponível em: <http://ieabcc.nl/database/cofiring.html>.

Lapponi, J. C.; "Projetos de investimento: construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em Excel." São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 2000.

Leckner, B., 2007, "Co-combustion: a summary of technology", AGS, *Göteborg, Suécia*.

Liang, Z., Ma, X., 2010; Mathematical modeling of MSW combustion and SNCR in a full-scale municipal incinerator and effects of grate speed and oxygen-enriched atmospheres on operating conditions

Lora, E. E. S.; "Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte"; Brasília, ANEEL, 2000.

Luftech Soluções Ambientais, disponível em: www.luftech.com.br. Acesso em: junho 2012.

Oliveira, 2009; "Perspectivas da geração termelétrica a carvão no Brasil no horizonte 2010-2030"; dissertação de mestrado (COPPE/RJ).

Pařízek, T., Bébar, L. and Stehlík, P., 2008, "Persistent pollutants emission abatement in waste-to-energy systems". *Clean Technologies and Environmental Policy* 10(2), 147-153.

Pinguelli R., 2008; "Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil"; disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br>. Acesso em junho de 2012.

Rádio Guaíba, 2010; "Aterro de lixo de Gravataí começa novo contrato de gestão na próxima semana"; www.radioguaiba.com.br ; acessado em junho de 2012.

Ribeiro, 2010; S. Geração de energia elétrica com resíduos sólidos urbanos - usinas "waste-to-energy" (WTE). 2010. Disponível em: http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/usinas_lixo_energia_no_brasill.pdf. Acesso em 15/6/2012.

Rosin, Fehling, 1929 *apud* European Environment Agency, 2008; "Air pollution from electricity-generating large combustion plants".

Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã, 2011; "Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul. 2011". Disponível em: <http://www.seplag.rs.gov.br/atlas>. Acesso em: maio de 2012.

Seelig, M. F.; Schneider, P. S.; Saffer, M. "Coqueima de carvão e resíduos sólidos urbanos: será o lixo o futuro do carvão?" In: Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 3. 2011, Gramado, 2011.

SEGET; Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia; " Incineração de resíduos de serviços de saúde-lixo hospitalar: uma oportunidade de receita para o hospital escola de Itajubá"

Tonini e Astrup, 2012 "Life-cycle assessment of a waste refinery process for enzymatic treatment of municipal solid waste".

UNDA, 2009; "Steps forward in energy upgrading of waste to energy plants (WTE)"

USEPA, "Methodology for Evaluating Potencial Carcinogenicity in Support of Reportable Quantity Adjustments Pursuant to CERCLA Section 102"; 1998; disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf020302f>; acesso em; maio de 2012.

APÊNDICES

Apêndice I – Custos e receitas considerados na fase 2.

FASE 2 - TRATAMENTO TÉRMICO DO RSU									
Custos anuais gerais de gerenciamento e operação da planta e despesas administrativas	Gerente de Engenharia & Operação (1) R\$ 216.000,00	Gerente Comercial / Contador (1) R\$ 180.000,00	Secretaria (1) R\$ 36.000,00	Supervisor de Turno (5) R\$ 780.000,00	Operadores da Planta (15) R\$ 1.260.000,00	Operadores da Recepção do Lixo (3) R\$ 252.000,00	Laboratorista (1) R\$ 84.000,00	Despesas Administrativas (10%) R\$ 280.800,00	TOTAL R\$ 3.088.800,00
Custos Anuais de Manutenção	Manutenção Mecânica (3) R\$ 252.000,00	Manutenção Elétrica / Instrumentação R\$ 252.000,00	Manutenção Leve (R\$3,75/ton) R\$ 681.893,15	Manutenção Pesada (2% investimento) R\$ 2.760.595,99	TOTAL R\$ 3.946.489,14				
Custo de Gás Natural (elevar a T da fornalha)	Consumo Gás Natural (m3/tonRSU) 0,456	Custo do Gás Natural (R\$/m3) R\$ 0,69	Custo Diário Consumo de GN (R\$) R\$ 170,28	Custo Anual Consumo de GN (R\$) R\$ 57.213,56					
Receita da venda das cinzas	% de Cinzas Volantes Vendidas 100,0%	% de Cinzas de Fundo Vendidas 100,0%	Preço Cinza de Fundo (R\$/ton) R\$ 2,10	Preço Cinza de Volante (R\$/ton) 10,20	Receita Venda Cinza de Fundo (R\$/dia) 211,37	Receita Venda Cinza Volante (R\$/dia) 204,34	Receita Total (R\$/ano) R\$ 139.678,23		
Consumo RSU pela Usina Proposta	Energia Transferida ao Fluido de Trabalho na 2.556.325,00	Fluxo Mássico da Usina Proposta (ton/hr) 50,00	Eficiência da Caldeira à RSU 80,00%	PCI RSU (KJ/ton) 6.908.220,00	Consumo de RSU (ton/hr) 23,13	Consumo Anual de RSU (ton/ano) 186.500,69			
TDF do RSU e RSI	TDF Pago pela Prefeitura (R\$/ton) R\$ 50,00	Saving Anual da TDF RSU (R\$) R\$ 9.325.034,52	TDF para Resíduo Perigoso R\$ 160,00	% TDF RSU 100%	% TDF Industrial 0%	Saving Anual TDF Resíduo Industrial (R\$) 0,00	Saving TOTAL TDF RSU (R\$) R\$ 9.325.034,52		
TDF de RSS e Resíduos Industriais	TDF RSSS (R\$/ton) R\$ 1.500,00	Volume Diário RSSS (ton/dia) 16,65	Saving Anual TDF RSSS (R\$/ano) R\$ 8.392.531,07	TDF Resíduos Industriais (R\$/ton) R\$ 0,00	Volume Diário Resíduos Industriais (ton/dia) 27,06	Saving Anual TDF Resíduo Industrial (R\$) R\$ 0,00			
Economia de consumo de carvão	Energia Economizada com de vapor Superaquecido (kJ) 2.390.260,00	Vazão de Vapor Superaquecido Fornecido (ton/hr) 50,00	Eficiência da Caldeira à Carvão 78,00%	PCI carvão (KJ/ton) 12.979.080,00	Economia de Carvão (ton/hr) 11,81	Economia Anual Carvão (ton/ano) 95.197,85	Custo Carvão (R\$/ton)	Economia Anual em Carvão (R\$/ano) R\$ 0,00	

Apêndice II – Estimativa de redução de emissões de poluentes da usina proposta.

Ano Estimativa Engebio	População (Tab. 7)	Geração de RSU destinada a Queima	Emissões Evitadas (t CO2e/ano) - Tab.32	ANO	RSU Queimado na Usina Proposta	Proporção entre RSU Engebio e Usina Proposta	Emissões Evitadas (t CO2e/ano) - Usina Proposta	Saving Créditos de Carbono (R\$)
2011	664.988		-263					
2012	669.327	117.266	-1.747	1	110.109	0,938970201	-1.640,38	-R\$ 49.014,58
2013	673.458	117.990	15.060	2	110.109	0,933208573	14.054,12	R\$ 419.937,14
2014	677.403	118.681	26.893	3	110.109	0,927775125	24.950,66	R\$ 745.525,61
2015	681.186	119.344	35.358	4	110.109	0,922620991	32.622,03	R\$ 974.746,35
2016	684.827	159.976	41.535	5	110.109	0,68828624	28.587,97	R\$ 854.208,51
2017	688.343	160.797	45.061	6	186.501	1,159851804	52.264,08	R\$ 1.561.650,77
2018	691.746	161.592	54.513	7	186.501	1,154145567	62.915,94	R\$ 1.879.928,21
2019	695.041	162.361	61.459	8	186.501	1,148679119	70.596,67	R\$ 2.109.428,50
2020	698.235	163.108	66.692	9	186.501	1,143418413	76.256,86	R\$ 2.278.555,00
2021	701.330	163.831	70.745	10	186.501	1,138372411	80.534,16	R\$ 2.406.360,59
2022	704.326	205.663	72.863	11	186.501	0,906826656	66.074,11	R\$ 1.974.294,43
2023	707.214	206.507	81.564	12	186.501	0,903120429	73.662,11	R\$ 2.201.023,99
2024	709.986	207.316	88.045	13	186.501	0,899596223	79.204,95	R\$ 2.366.643,89
2025	712.629	208.088	92.999	14	186.501	0,896258749	83.351,17	R\$ 2.490.532,88
2026	715.130	208.818	96.895	15	186.501	0,893125547	86.539,40	R\$ 2.585.797,27
2027	717.474	209.502	100.047	16	186.501	0,890209595	89.062,80	R\$ 2.661.196,44
2028	719.651	210.138	102.668	17	186.501	0,887515302	91.119,42	R\$ 2.722.648,30
2029	721.651	210.722	104.900	18	186.501	0,885055621	92.842,33	R\$ 2.774.128,96
2030	723.466	211.252	106.842	19	186.501	0,882835147	94.323,87	R\$ 2.818.397,32
2031	725.086	211.725	108.559	20	186.501	0,880862867	95.625,59	R\$ 2.857.292,69
2032	726.504	212.139	110.098	21	186.501	0,879143818	96.791,98	R\$ 2.892.144,25
2033	727.721	212.494	111.488	22	186.501	0,87767509	97.850,24	R\$ 2.923.765,18
2034	728.735	212.791	112.752	23	186.501	0,876450087	98.821,50	R\$ 2.952.786,43
2035	729.550	213.029	113.906	24	186.501	0,875470901	99.721,39	R\$ 2.979.675,09
2036	730.166	213.208	115.442	25	186.501	0,874735894	100.981,26	R\$ 3.017.320,08

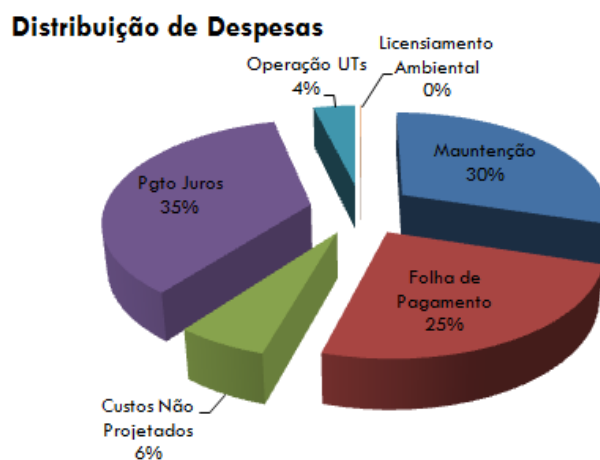
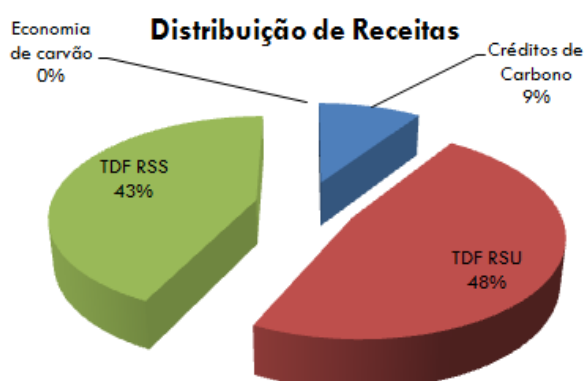
Apêndice III – Fluxo de Caixa do Cenário 2

Período (anos)	Investimento (R\$)	Fluxo de Caixa Sem Pgto Juros (R\$)	Saldo Devedor Inicial (R\$)	Juros Financiamento	Prestação = Lucro + Créd. C	Amortização	Saldo Devedor Final (R\$)
0	-R\$ 78.662.799,60	-R\$ 78.662.799,60				-R\$ 78.662.799,60	-R\$ 78.662.799,60
1	R\$ 0,00	-R\$ 951.153,93	-R\$ 78.662.799,60	-R\$ 6.214.361,17	-R\$ 951.153,93	-R\$ 7.165.515,10	-R\$ 85.828.314,70
2	R\$ 0,00	-R\$ 482.202,21	-R\$ 85.828.314,70	-R\$ 6.780.436,86	-R\$ 482.202,21	-R\$ 7.262.639,07	-R\$ 93.090.953,76
3	R\$ 0,00	-R\$ 156.613,73	-R\$ 93.090.953,76	-R\$ 7.354.185,35	-R\$ 156.613,73	-R\$ 7.510.799,08	-R\$ 100.601.752,84
4	R\$ 0,00	R\$ 72.607,00	-R\$ 100.601.752,84	-R\$ 7.947.538,47	R\$ 72.607,00	-R\$ 7.874.931,47	-R\$ 108.476.684,32
5	-R\$ 60.543.906,00	-R\$ 60.591.836,83	-R\$ 108.476.684,32	-R\$ 8.569.658,06	-R\$ 47.930,83	-R\$ 69.161.494,89	-R\$ 177.638.179,21
6	R\$ 0,00	R\$ 6.807.259,80	-R\$ 177.638.179,21	-R\$ 14.033.416,16	R\$ 6.807.259,80	-R\$ 7.226.156,36	-R\$ 184.864.335,57
7	R\$ 0,00	R\$ 7.125.537,23	-R\$ 184.864.335,57	-R\$ 14.604.282,51	R\$ 7.125.537,23	-R\$ 7.478.745,28	-R\$ 192.343.080,84
8	R\$ 0,00	R\$ 7.355.037,53	-R\$ 192.343.080,84	-R\$ 15.195.103,39	R\$ 7.355.037,53	-R\$ 7.840.065,86	-R\$ 200.183.146,70
9	R\$ 0,00	R\$ 7.524.164,03	-R\$ 200.183.146,70	-R\$ 15.814.468,59	R\$ 7.524.164,03	-R\$ 8.290.304,56	-R\$ 208.473.451,26
10	R\$ 0,00	R\$ 7.651.969,62	-R\$ 208.473.451,26	-R\$ 16.469.402,65	R\$ 7.651.969,62	-R\$ 8.817.433,03	-R\$ 217.290.884,30
11	R\$ 0,00	R\$ 7.219.903,45	-R\$ 217.290.884,30	-R\$ 17.165.979,86	R\$ 7.219.903,45	-R\$ 9.946.076,41	-R\$ 227.236.960,70
12	R\$ 0,00	R\$ 7.446.633,01	-R\$ 227.236.960,70	-R\$ 17.951.719,90	R\$ 7.446.633,01	-R\$ 10.505.086,88	-R\$ 237.742.047,59
13	R\$ 0,00	R\$ 7.612.252,92	-R\$ 237.742.047,59	-R\$ 18.781.621,76	R\$ 7.612.252,92	-R\$ 11.169.368,84	-R\$ 248.911.416,43
14	R\$ 0,00	R\$ 7.736.141,91	-R\$ 248.911.416,43	-R\$ 19.664.001,90	R\$ 7.736.141,91	-R\$ 11.927.859,99	-R\$ 260.839.276,42
15	R\$ 0,00	R\$ 7.831.406,30	-R\$ 260.839.276,42	-R\$ 20.606.302,84	R\$ 7.831.406,30	-R\$ 12.774.896,54	-R\$ 273.614.172,96
16	R\$ 0,00	R\$ 7.906.805,47	-R\$ 273.614.172,96	-R\$ 21.615.519,66	R\$ 7.906.805,47	-R\$ 13.708.714,19	-R\$ 287.322.887,15
17	R\$ 0,00	R\$ 7.968.257,33	-R\$ 287.322.887,15	-R\$ 22.698.508,08	R\$ 7.968.257,33	-R\$ 14.730.250,76	-R\$ 302.053.137,91
18	R\$ 0,00	R\$ 8.019.737,99	-R\$ 302.053.137,91	-R\$ 23.862.197,89	R\$ 8.019.737,99	-R\$ 15.842.459,91	-R\$ 317.895.597,82
19	R\$ 0,00	R\$ 8.064.006,35	-R\$ 317.895.597,82	-R\$ 25.113.752,23	R\$ 8.064.006,35	-R\$ 17.049.745,88	-R\$ 334.945.343,70
20	R\$ 0,00	R\$ 8.102.901,72	-R\$ 334.945.343,70	-R\$ 26.460.682,15	R\$ 8.102.901,72	-R\$ 18.357.780,44	-R\$ 353.303.124,14
21	R\$ 0,00	R\$ 8.137.753,27	-R\$ 353.303.124,14	-R\$ 27.910.946,81	R\$ 8.137.753,27	-R\$ 19.773.193,53	-R\$ 373.076.317,67
22	R\$ 0,00	R\$ 8.169.374,21	-R\$ 373.076.317,67	-R\$ 29.473.029,10	R\$ 8.169.374,21	-R\$ 21.303.654,89	-R\$ 394.379.972,56
23	R\$ 0,00	R\$ 8.198.395,45	-R\$ 394.379.972,56	-R\$ 31.156.017,83	R\$ 8.198.395,45	-R\$ 22.957.622,38	-R\$ 417.337.594,93
24	R\$ 0,00	R\$ 8.225.284,11	-R\$ 417.337.594,93	-R\$ 32.969.670,00	R\$ 8.225.284,11	-R\$ 24.744.385,89	-R\$ 442.081.980,82
25	R\$ 0,00	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 442.081.980,82	-R\$ 34.924.476,48	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 26.661.547,38	-R\$ 468.743.528,20
26	R\$ 0,00	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 468.743.528,20	-R\$ 37.030.738,73	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 28.767.809,62	-R\$ 497.511.337,81
27	R\$ 0,00	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 497.511.337,81	-R\$ 39.303.395,69	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 31.040.466,58	-R\$ 528.551.804,39
28	R\$ 0,00	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 528.551.804,39	-R\$ 41.755.592,55	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 33.492.663,44	-R\$ 562.044.467,83
29	R\$ 0,00	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 562.044.467,83	-R\$ 44.401.512,96	R\$ 8.262.929,11	-R\$ 36.138.583,85	-R\$ 598.183.051,68
30	R\$ 27.605.959,92	R\$ 35.868.889,03	-R\$ 598.183.051,68	-R\$ 47.256.461,08	R\$ 35.868.889,03	-R\$ 11.387.572,05	-R\$ 609.570.623,74

Apêndice IV – Fluxo de caixa do Cenário Alternativo 2.

Período (anos)	Fluxo de Caixa Sem Pgto Juros (R\$)	Saldo Devedor Inicial (R\$)	Juros Financiamento	Prestação = Lucro + Créd. C	Amortização	Saldo Devedor Final (R\$)
0	-R\$ 78.662.799,60				-R\$ 78.662.799,60	-R\$ 78.662.799,60
1	R\$ 4.016.326,85	-R\$ 78.662.799,60	-R\$ 6.214.361,17	R\$ 4.016.326,85	-R\$ 2.198.034,31	-R\$ 80.860.833,91
2	R\$ 4.473.554,78	-R\$ 80.860.833,91	-R\$ 6.388.005,88	R\$ 4.473.554,78	-R\$ 1.914.451,10	-R\$ 82.775.285,01
3	R\$ 4.791.003,55	-R\$ 82.775.285,01	-R\$ 6.539.247,52	R\$ 4.791.003,55	-R\$ 1.748.243,97	-R\$ 84.523.528,98
4	R\$ 5.014.493,76	-R\$ 84.523.528,98	-R\$ 6.677.358,79	R\$ 5.014.493,76	-R\$ 1.662.865,03	-R\$ 86.186.394,01
5	-R\$ 55.646.936,63	-R\$ 86.186.394,01	-R\$ 6.808.725,13	R\$ 4.896.969,37	-R\$ 62.455.661,75	-R\$ 148.642.055,77
6	R\$ 15.073.647,99	-R\$ 148.642.055,77	-R\$ 11.742.722,41	R\$ 15.073.647,99	R\$ 3.330.925,59	-R\$ 145.311.130,18
7	R\$ 15.383.968,49	-R\$ 145.311.130,18	-R\$ 11.479.579,28	R\$ 15.383.968,49	R\$ 3.904.389,20	-R\$ 141.406.740,98
8	R\$ 15.607.731,27	-R\$ 141.406.740,98	-R\$ 11.171.132,54	R\$ 15.607.731,27	R\$ 4.436.598,74	-R\$ 136.970.142,24
9	R\$ 15.772.629,61	-R\$ 136.970.142,24	-R\$ 10.820.641,24	R\$ 15.772.629,61	R\$ 4.951.988,38	-R\$ 132.018.153,87
10	R\$ 15.897.240,06	-R\$ 132.018.153,87	-R\$ 10.429.434,16	R\$ 15.897.240,06	R\$ 5.467.805,90	-R\$ 126.550.347,96
11	R\$ 15.475.975,55	-R\$ 126.550.347,96	-R\$ 9.997.477,49	R\$ 15.475.975,55	R\$ 5.478.498,06	-R\$ 121.071.849,90
12	R\$ 15.697.036,87	-R\$ 121.071.849,90	-R\$ 9.564.676,14	R\$ 15.697.036,87	R\$ 6.132.360,73	-R\$ 114.939.489,17
13	R\$ 15.858.516,28	-R\$ 114.939.489,17	-R\$ 9.080.219,64	R\$ 15.858.516,28	R\$ 6.778.296,63	-R\$ 108.161.192,53
14	R\$ 15.979.308,05	-R\$ 108.161.192,53	-R\$ 8.544.734,21	R\$ 15.979.308,05	R\$ 7.434.573,84	-R\$ 100.726.618,70
15	R\$ 16.072.190,82	-R\$ 100.726.618,70	-R\$ 7.957.402,88	R\$ 16.072.190,82	R\$ 8.114.787,95	-R\$ 92.611.830,75
16	R\$ 16.145.705,02	-R\$ 92.611.830,75	-R\$ 7.316.334,63	R\$ 16.145.705,02	R\$ 8.829.370,39	-R\$ 83.782.460,36
17	R\$ 16.205.620,58	-R\$ 83.782.460,36	-R\$ 6.618.814,37	R\$ 16.205.620,58	R\$ 9.586.806,21	-R\$ 74.195.654,15
18	R\$ 16.255.814,22	-R\$ 74.195.654,15	-R\$ 5.861.456,68	R\$ 16.255.814,22	R\$ 10.394.357,54	-R\$ 63.801.296,61
19	R\$ 16.298.975,87	-R\$ 63.801.296,61	-R\$ 5.040.302,43	R\$ 16.298.975,87	R\$ 11.258.673,44	-R\$ 52.542.623,16
20	R\$ 16.336.898,86	-R\$ 52.542.623,16	-R\$ 4.150.867,23	R\$ 16.336.898,86	R\$ 12.186.031,63	-R\$ 40.356.591,54
21	R\$ 16.370.879,13	-R\$ 40.356.591,54	-R\$ 3.188.170,73	R\$ 16.370.879,13	R\$ 13.182.708,40	-R\$ 27.173.883,14
22	R\$ 16.401.709,54	-R\$ 27.173.883,14	-R\$ 2.146.736,77	R\$ 16.401.709,54	R\$ 14.254.972,77	-R\$ 12.918.910,37
23	R\$ 16.430.005,25	-R\$ 12.918.910,37	-R\$ 1.020.593,92	R\$ 16.430.005,25	R\$ 15.409.411,33	R\$ 2.490.500,96
24	R\$ 16.456.221,70	R\$ 2.490.500,96	R\$ 196.749,58	R\$ 16.456.221,70	R\$ 16.652.971,27	R\$ 19.143.472,24
25	R\$ 16.492.925,57	R\$ 19.143.472,24	R\$ 1.512.334,31	R\$ 16.492.925,57	R\$ 18.005.259,87	R\$ 37.148.732,11
26	R\$ 16.492.925,57	R\$ 37.148.732,11	R\$ 2.934.749,84	R\$ 16.492.925,57	R\$ 19.427.675,40	R\$ 56.576.407,51
27	R\$ 16.492.925,57	R\$ 56.576.407,51	R\$ 4.469.536,19	R\$ 16.492.925,57	R\$ 20.962.461,76	R\$ 77.538.869,27
28	R\$ 16.492.925,57	R\$ 77.538.869,27	R\$ 6.125.570,67	R\$ 16.492.925,57	R\$ 22.618.496,24	R\$ 100.157.365,51
29	R\$ 16.492.925,57	R\$ 100.157.365,51	R\$ 7.912.431,88	R\$ 16.492.925,57	R\$ 24.405.357,44	R\$ 124.562.722,95
30	R\$ 44.098.885,49	R\$ 124.562.722,95	R\$ 9.840.455,11	R\$ 44.098.885,49	R\$ 53.939.340,60	R\$ 178.502.063,55

Apêndice V – Distribuição de receitas e despesas do cenário alternativo 2



Apêndice VI – Distribuição de receitas e despesas do cenário alternativo 3

