**Fundação Pedro Leopoldo**
**Mestrado Profissional em Administração**

# Geração de Energia com Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Valuation de um Projeto Piloto em Belo Horizonte-MG

**Sérgio Fernando Vecchio Salomon**

**Pedro Leopoldo**
**2016**

**Sérgio Fernando Vecchio Salomon**

# Geração de Energia com Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Valuation de um Projeto Piloto em Belo Horizonte-MG

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Administração da Faculdade Pedro Leopoldo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Administração.

Área de Concentração: Gestão em Organizações

Linha de Pesquisa: Estratégias Corporativas

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Lamounier Locatelli

**Pedro Leopoldo**

**2016**

658.428 SALOMON, Sérgio Fernando Vecchio
S689g Geração de energia com reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos: *valuation* em um Projeto Piloto em Belo Horizonte - MG / Sérgio Fernando Vecchio Salomon.
- Pedro Leopoldo: FPL, 2016.

118 p.

Dissertação: Mestrado Profissional em Administração, Fundação Cultural Dr. Pedro Leopoldo, Pedro Leopoldo, 2016.
Orientador: Prof. Dr. Ronando Lamounier Locatelli

1. Valuation. 2. Resíduos Sólidos Urbanos.
3. Geração de Energia Renovável. 4. Gestão Sustentável dos RSU.
I. Título. II. LOCATELLI, Ronaldo Lamounier., orient.

CDD: 658.428

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**
**Ficha catalográfica elaborada por Maria Luiza Diniz Ferreira**
**CRB 6 -1590**

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Titulo da Dissertação: **"GERAÇÃO DE ENERGIA COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: Valuation de um projeto piloto em Belo Horizonte-MG"**

Nome do(a) Aluno(a): SERGIO FERNANDO VECCHIO SALOMON

Dissertação de mestrado, modalidade Profissionalizante, defendida junto ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Faculdade Pedro Leopoldo, aprovado(a) pela banca examinadora constituida pelos professores:

Prof. Dr. Ronaldo Lamounier Locatelli – Orientador

Prof. Dr. José Edson Lara

Prof. Dr. Cândido Luiz de Lima Fernandes

Sinara Inácio Meireles Chenna

Pedro Leopoldo (MG), 19 de dezembro de 2016

A meus pais, meus irmãos e irmãs, a minha esposa e filhos.

"Estudar para aprender, aprender para poder ensinar".

Moisés Maimônides (Rambam)

(1135 – 1204)

**Agradecimentos**

É nesse momento que toda a exatidão científica perde o sentido, e eu tenho que somente dizer uma única palavra que se encontra em meu coração e mente: muito agradecido!

A D'us, que nos fornece a inspiração e energia para fazermos por nós mesmos.

Aos meus pais, Luis Fernando Mendes Salomon (*in memoriam*) e Maria Cândida Vecchio Salomon (*in memoria*m) e aos meus irmãos e irmãs, que me acompanham pela estrada da vida.

À Carmen Maria Lage Ribeiro Salomon, minha esposa.

Aos nossos filhos, Sérgio Fernando Vecchio Salomon Junior e Rafaella Ribeiro Vecchio Salomon, para que possam compreender e auxiliar outras pessoas a compreender a importância de usar os recursos naturais com responsabilidade.

Meus agradecimentos a todos os meus colegas e meus mestres, de antes e de agora, orientadores e funcionários da Fundação Pedro Leopoldo e, em especial, ao meu orientador o professor Dr. Ronaldo Lamounier Locatelli, em quem me espelhei pela admiração dos seus conhecimentos, e ao meu orientador no pré-projeto da dissertação, professor Dr. Mauro Calixta Tavares (*in memoria*m).

Meu agradecimento a Kuttner do Brasil Ltda e, em especial, ao engenheiro Patrick Pottie pelo seu apoio irrestrito e pela disponibilização de informações técnicas fundamentais para a execução deste trabalho.

**Resumo**

Os volumes crescentes de resíduos sólidos urbanos (RSU), devido ao aumento da população economicamente ativa e ao crescimento do consumo pessoal de bens e serviços, assim como as dificuldades de se encontrar áreas urbanas próximas às fontes geradoras que sejam ambientalmente adequadas para a sua deposição final, impõem a necessidade de nova abordagem para esse importante problema. A má gestão dos RSU vem apresentando há decadas, implicações adversas, não apenas nas finanças públicas que são impactadas pelos custos elevados de implantação, operação e monitoramento dos aterros sanitários convencionais, mas também na saúde pública, devido à proliferação de várias doenças que afetam a população por intermédio de vetores endêmicos como os roedores, as moscas, os pernilongos e as bactérias patogênicas. Ademais, não são desprezíveis os impactos ambientais causados pelos aterros sanitários decorrentes da geração de lixiviados que podem contaminar os lençõis freáticos e, ainda, a geração de gás metano, motivo de preocupação mundial por produzir os gases que resultam no efeito estufa (GEE).Esta dissertação se alinha com as preocupações, tanto nacional como internacional, com o meio ambiente e sua sustentabilidade, mediante o uso de energias alternativas. Assim, tem por objetivo analisar a viabilidade econômico-financeira de reaproveitamento, de modo sustentável, da fração orgânica dos resíduos sólidos coletados em Belo Horizonte-MG. O *valuation* reporta a uma planta piloto que emprega a tecnologia de fermentação anaeróbica termofílica “a seco”, utilizando a fração orgânica dos resíduos como matéria-prima para cogeração de energia elétrica e energia térmica (*waste to energy* [WTE]) bem como a produção de composto orgânico para o uso na jardinagem e na agricultura. Foram empregadas metodologias de estudo que incorporam riscos na análise de investimento e o método *bottom up* para a identificação do custo de capital. O custo real de capital obtido (WACC) foi em média 9,38% ao ano, muito elevado em decorrência da crise da economia brasileira. Em decorrência, muito embora o projeto tenha apresentado fluxos de caixa livres positivos a partir do 3º ano de implantação, ele não foi capaz de gerar valor aos investidores nos níveis atuais de preço da energia. Contudo, o valor presente líquido negativo encontrado foi muito reduzido e não deveria ser impeditivo para a implantação de projetos dessa natureza. Considerou-se que a implantação do projeto não provoca danos às finanças públicas, pois a sua operação irá propiciar receitas tributárias diretas que superam o subsídio necessário em sua implantação. Além dos seus notórios ganhos ambientais outras contribuições foram quantificadas e reportam-se aos seus impactos no mercado de trabalho com a geração de renda assalariada e, no ambiente econômico, com o aumento na oferta de energia, de geração de renda de capital e de contribuição na Formação Bruta de Capital Fixo.

**Palavras-chave:** Valuation. Resíduos sólidos urbanos. Geração de energia renovável. Gestão sustentável dos RSU.

**Abstract**

The increasing volume of municipal solid waste (MSW) driven by the growing national population up, that nowadays have access to use up personal consumer goods and services, and the troubles to find urban areas that are in environmental terms suitable to final disposal and near the sources that produces the waste, it needs new approaching for MSW management. The improper managing of MSW has involvement not only in the municipal administration alone but in the state finances by the increasing costs to make, to run and to supervise a new usual landfill, and as well to the population health, by increasing chances of endemic diseases by rodents, insects and pathogenic germs. In addition, the environmental effects by leaching in the water table by percolation of dissolved out soluble constituents from ashes, soil, etc. and the methane gas generated in the landfills it is one of the greenhouse effect and international concerning about that subject. So, this term paper is attending the national and international concerning about environmental cares and sustainability by proposing renewable generation of energy and organic compost. The objective is aiming to mine the economic and financial reuse of the organic waste fraction from Belo Horizonte City, Minas Gerais State. The valuation it´s about the building and erection of the biofuel industrial plant in order to use the dry anaerobic thermophilic fermentation process to generate electrical energy and thermal energy by using "waste to energy (WTE) -, and producing organic compost to use in gardening and intensive farming. The methodology embodies the venture capital to analyze the investment and the bottom up method to calculate the capital cost. The cost of capital (WACC) is calculated 9.38% per year and it is at great cost caused by the Brazilian economic crisis. Although, the project after 3 years running has positive cash flow it is not enough to increase profit to the investors, because the calculation is using the price energy practiced in the Brazilian energy market, actually. The null worth it is not declaring the project null and void because it has a long term approaching of sustainability for projects that reuse the organic waste to generate energy and produce organic compost. Considering making the project does not cause great harm to public finances, since the operational results make deferred income that exceed the subsidies. Besides the environmental assets other kind of gains are measured like new jobs, earned income, capital and tax revenues, and chances to build new projects by using the energy generated.

Keywords: Valuation. Municipal solid waste. Renewable energy. Solid waste sustainable management.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Modelo de precificação de títulos com risco (CAPM) ..... 28
Figura 2 - Fluxo de caixa para os investidores, para os credores e para os acionistas..... 37
Figura 3 – Porcentagem da população atendida por tipologia de destinação final em 2013 ..... 43
Figura 4 - Valores médios por habitante/ano correspondentes aos recursos aplicados na coleta de RSU e nos demais serviços de limpeza urbana... 44
Figura 5 - Enfermidades transmitidas por microorganismos relacionadas aos resíduos sólidos ..... 46
Figura 6 - Rotas tecnológicas para destinação de RSU ..... 55
Figura 7 - Tecnologias disponíveis para tratamento dos resíduos sólidos urbanos ..... 56
Figura 8 – Referências de plantas Kompogas ..... 69
Figura 9 - Balanço de massa ..... 75
Figura 10 - Ciclos de operação ..... 76

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Histórico da evolução da destinação dos resíduos sólidos - Toneladas/ano ..... 50
Tabela 2 - Histórico da destinação de resíduos ao aterro de Macaúbas - Toneladas/Ano ..... 51
Tabela 3 - Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos domiciliares de Belo Horizonte ..... 53
Tabela 4 - Previsão de geração de energia elétrica e energia térmica ..... 81
Tabela 5 - Consumo de água industrial e de resíduos produzidos ..... 82
Tabela 6 - 23º Leilão de energia nova A-5 - ANNEL, 2016 ..... 82
Tabela 7 - Previsão de geração de energia elétrica e energia térmica ..... 84
Tabela 8 - Valores de assistência técnica ..... 87
Tabela 9 - Quadro de funcionários para a operação da planta industrial ..... 87
Tabela 10 - Estimativas de beta - Cemig ..... 92
Tabela 11 - Teste Breusch-Godfrey para verificação de autocorrelação[1] ..... 93
Tabela 12 - Teste White para verificação de heteroscedasticidade - Cemig ..... 94
Tabela 13 - Risco sistemático de empresas do setor elétrico brasileiro ..... 94
Tabela 14 - Betas desalavancados das empresas ..... 95
Tabela 15 - Custo do Capital Próprio ..... 96
Tabela 16 - Fluxo de Caixa Livre – Alternativa 1 ..... 100
Tabela 17- Valuation-Planta piloto de RSU com geração de energia-Alternativa 1. ..... 101
Tabela 18 - Valuation - Planta piloto de RSU com geração de energia –Alternativa 2 ..... 102

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associacao Brasileira de Empresas de Limpeza Publica e Residuos Especiais

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ASAE-MG - Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de àgua e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais

BACEN - Banco Central do Brasil

BDMG - Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BOVESPA - Bolsa de Valores de São Paulo

CAE - Comissão de Assuntos Econômicos do Senado

CAPEX - Capital Expenditure

CAPM - Capital Asset Pricing Model

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CCM - Centro de Controle de Motores

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CONFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CPP - Contribuição Patronal Previdenciária

CSLL - Contribuição Social sobre o Lucro Líquido

CTRS - Central de Tratamento de Resíduos Sólidos

CVM - Comissão de Valores Mobiliários

DRE - Demonstrativo de Resultado

EBIT - Earning Before Interest and Taxes

EBITDA - Earning Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMBI - Emerging Market Bonds Index

EUA - Estados Unidos da America

EVA - Economic Value Added

FADE/UFPE - Fundação de apoio ao desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco – Grupo de resíduos sólidos

FCL - Fluxo de Caixa Livre

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente

FIBL - The Swiss Research Institute of Organic Agriculture

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

FORM - Matéria orgânica de origem doméstica, comercial ou industrial

FTSE - Financial Times Stock Exchange

FUNED - Fundação Ezequiel Dias

GEE - Gases do Efeito Estufa

GLP - Gás liquefeito de petróleo

GN - Gás natural

GNV - Gás Natural Veicular

GREEN PRESS 92 - Encontro Internacional de Imprensa, Meio Ambiente e Desenvolvimento – Belo Horizonte – Minas Gerais

IASB - International Accounting Standards Board

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBOVESPA - Índice da Bolsa de Valores de São Paulo

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IFE - Instituição Federal de Ensino

IFRS - International Financial Reporting Standards

INCT - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia

INPI - Instituto Nacional de Propriedade Intelectual

IPI -Imposto sobre Produtos Industrializados

IPCA - Indice Nacional de Preços ao consumidor Amplo

IPO - Initial Public Offering

IRPJ - Imposto de Renda da Pessoa Jurídica

LCD - Liquid Crystal Display

LNT - Letra do Tesouro Nacional

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

M&M - Modigliani & Miller

MVA - Margem de valor agregado

NOPLAT - Net Operating Profit Less Adjusted Taxes

NOPAT - Net Operating Profit After Taxes

NTN - Nota do Tesouro Nacional

ONU - Organização das Nações Unidas

PC - Computador

PCL - Controlador Lógico Programável

PGRS - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PLC - Controlador Lógico Programável

PMDI - Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado

PMGIRS - Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRS - Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PPAG - Plano Plurianual de Ação Governamental

REINFA - Regime Especial de Tributação para o Incentivo ao Desenvolvimento e à Produção de Fontes Alternativas de Energia Elétrica

RSU - Resíduos sólidos urbanos

SYNGAS - Synthetic gas

SLU - Serviço de Limpeza Urbana

TLR - Taxa Livre de Risco

WACC - Weighted Average Cost of Capital

WTE - Waste to Energy

**Sumário**

**1 Introdução ..... 15**
1.1 Contextualização do tema ..... 15
1.2 Pergunta norteadora da pesquisa ..... 16
1.3 Objetivos ..... 17
1.3.1 Objetivo geral ..... 17
1.3.2 Objetivos específicos ..... 17
1.4 Justificativas ..... 18
1.5 Estrutura da dissertação ..... 20
**2 Referencial Teórico ..... 22**
2.1 Avaliação de projetos de investimentos ..... 22
2.2 O custo do capital próprio ..... 22
2.2.1 Retornos e riscos ..... 23
2.2.2 O beta como medida de risco sistêmico ..... 25
2.3 Modigliani e Miller e o uso da dívida ..... 30
2.4 A alavancagem, o beta bottom up e o custo de oportunidade do capital ..... 32
2.5 O valuation e a seleção de projetos de investimento ..... 34
2.5.1 O fluxo de caixa para os investidores ..... 35
2.5.2 Impactos socioeconômicos do projeto ..... 37
**3 A Sustentabilidade e a Gestão dos Resíduos Sólidos em Belo Horizonte- MG ..... 39**
3.1 A preocupação com o meio ambiente e os protocolos internacionais ..... 39
3.2 As políticas públicas brasileira e a gestão dos resíduos sólidos urbanos ..... 41
3.3 A gestão dos resíduos sólidos e os aspectos econômicos e sociais ..... 44
3.4 A situação dos resíduos sólidos de Belo Horizonte-MG ..... 48
**4 Caracterização do Empreendimento ..... 55**
4.1 Tecnologias disponíveis para a disposição final ou para o reaproveitamento energético dos RSU ..... 55
4.1.1 Aterro sanitário ..... 56

4.1.2 Tecnologias físicas ..... 58
4.1.2.1 Reciclagem ..... 58
4.1.2.2 Tratamento mecânico biológico (TMB) ..... 59
4.1.2.3 Combustível derivado de resíduo (CDR) ..... 60
4.1.3 Tecnologias biológicas ..... 61
4.1.3.1 Tratamento biológico ..... 62
4.1.3.2 Compostagem ..... 62
4.1.3.3 Digestão anaeróbica ..... 63
4.1.4 Tecnologias térmicas ..... 63
4.1.4.1 Gaseificação ..... 64
4.1.4.2 Incineração - Mass burning ..... 64
4.1.4.3 Plasma ..... 66
4.1.4.4 Pirólese ..... 66
4.2 A tecnologia proposta para o reaproveitamento dos resíduos orgânicos de Belo Horizonte ..... 67
4.2.1 WTE - Waste to Energy - aproveitamento energético de resíduos sólidos ..... 67
4.2.2 Descrição do projeto piloto ..... 70
4.2.3 Relação dos principais grupos de equipamentos ..... 72
4.2.4 Rota de processo ..... 73
4.2.5 Ciclos de operação ..... 75
**5 Metodologia ..... 77**
5.1 Caracterização da pesquisa ..... 77
5.2 Etapas do processo de avaliação ..... 78
5.2.1 Precificação dos riscos e do custo de capital ..... 78
5.2.2 O fluxo de caixa descontado ..... 81
5.2.2.1 Receita operacional ..... 81
5.2.2.2 Previsão para produção de composto orgânico sólido e líquido ..... 82
5.2.2.3 Preços para cálculo dos valores das energias, elétrica e térmica ..... 82
5.2.2.4 Custo dos serviços/produtos ..... 83
5.2.2.5 Tributos incidentes sobre a venda dos produtos ..... 84
5.2.3 Despesas administrativas ..... 86
5.2.4 EBITDA - Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização ..... 88
5.2.5 Depreciação e amortização ..... 88

5.2.6 EBIT - Lucro antes de juros e imposto de renda ..... 88
5.2.7 Tributos diretos ..... 89
5.2 8 Resultado operacional ..... 89
5.2.9 CAPEX - Capital Expenditure ..... 89
5.2.10 Capital de giro líquido ..... 90
5.2.11 Fluxo de caixa livre da empresa ..... 90
5.3 Unidade de análise ..... 90
5.4 Fonte de dados ..... 91
**6 Apresentação e Discussão dos Resultados ..... 92**
6.1 O beta de empresas brasileiras do setor elétrico ..... 92
6.1.1 O custo do capital próprio e o WACC ..... 96
6.1.2 O fluxo de caixa livre e o valor presente do projeto ..... 97
7 Considerações Finais e Recomendações ..... 103
**Referências ..... 109**
**Apêndice ..... 117**

# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização do tema

A coleta, o transporte e a disposição final dos resíduos, a manutenção e a necessidade de monitoramento dos aterros sanitários por longos períodos, mesmo após o fim da sua vida útil, geram impactos econômicos no orçamento municipal, devido aos elevados custos envolvidos. Os aterros sanitários ocupam áreas urbanas escassas e caras e, em geral, distantes dos pontos de coleta. Portanto, a disposição de resíduos sólidos em aterros sem o seu reaproveitamento configura um alto custo de oportunidade de capital para os entes federativos.

Atualmente, os resíduos sólidos urbanos coletados em Belo Horizonte são depositados no aterro sanitário de Macaúbas, no município de Sabará. De acordo com o Serviço de Limpeza Urbano (SLU, 2014), são depositados em média 2.252 toneladas/dia de resíduos sólidos coletados pela empresa responsável pela prestação de serviço, sendo que, aproximadamente, 60% deste total são resíduos de origem orgânica.

A proposição desta dissertação está no reaproveitamento da fração orgânica como fonte geradora de energia e compostos orgânicos. Deste modo, busca mudar o paradigma da visão geral de que os resíduos sólidos urbanos não possuem valor econômico para algo valorizado e rentável, o que poderá ser feito mediante a instalação de um fermentador com a tecnologia Kompogas em uma planta piloto industrial. Esta planta, com capacidade de processamento de 15.000 toneladas/ano, deverá utilizar a fração orgânica dos resíduos sólidos coletados em grandes centros geradores de resíduos orgânicos como: centrais de abastecimentos, restaurantes, bares, restaurantes industriais, *shopping centers*, hortifrutis, supermercados, grandes condomínios residenciais e casernas militares instalados na cidade de Belo Horizonte- MG.

O tema "reaproveitamento dos resíduos sólidos" tem sido motivo de debates nos fóruns internacionais, podendo destacar:

a) Conferência da Agenda 21 - realizada na cidade do Rio de Janeiro, em junho de 1992, com a proposta de ser um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, conciliando métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica; e

b) Protocolo de Kyoto - ratificado em 15 de março de 1998 no Japão. Visa reduzir as emissões de gases poluentes responsáveis pelo efeito estufa e o aquecimento global.

O Brasil, como membro da Organização das Nações Unidas (ONU), foi o país patrocinador da Conferência Rio 92 e participante do Protocolo de Kyoto. Nestes encontros, a problemática dos resíduos municipais foi um dos temas relevantes. A partir das recomendações consensadas, iniciou-se a construção de uma base legal multinacional para regulamentar as ações que deveriam ser seguidas pelos vários países signatários. Também foram inicadas as discussões e recomendações formais para o reaproveitamento dos resíduos sólidos como uma das fontes de geração de energia.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é o principal instrumento legal no âmbito nacional para o gerenciamento dos resíduos gerados no país. No que tange ao estado de Minas Gerais, foi instituída a Ação 1231 - Redução e Valorização de Resíduos, do Plano Plurianual de Ação Governamental (PPAG) 2012 – 2015, que é parte do Programa Estruturador de Qualidade Ambiental do Estado.

Especificamente no município de Belo Horizonte, o tema é disciplinado pela Lei n. 10.534, de 10 de setembro de 2012, que dispõe sobre a limpeza urbana, seus serviços e o manejo de resíduos sólidos urbanos e dá outras providências.

## 1.2 Pergunta norteadora da pesquisa

Considerando o exposto, formula-se a seguinte pergunta norteadora da pesquisa: A implantação de uma planta piloto industrial para o reaproveitamento de RSU com cogeração de energias e composto orgânico pode ser viável economicamente e gerar valor para os investidores?

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade econômica e de geração de valor para os investidores da implantação de uma planta piloto industrial, com cogeração de energia elétrica, energia térmica e composto orgânico, mediante o reaproveitamento de fração orgânica de resíduos sólidos coletados em Belo Horizonte-MG.

### 1.3.2 Objetivos específicos

a) selecionar a tecnologia a ser empregada em um projeto de implantação de uma planta piloto industrial para o reaproveitamento de RSU, visando a geração de energia e composto orgânico;
b) identificar o risco do investimento mediante o cálculo do *beta* do projeto;
c) estimar o custo do capital próprio, consoante o risco do projeto;
d) quantificar o custo médio ponderado de capital (WACC);
e) identificar os fluxos de caixa livre aos investidores do projeto; e
f) apresentar o *valuation* e as condições necessárias para a sustentabilidade financeira do projeto.

## 1.4 Justificativas

Nas reuniões da Agenda 21 (1992) e do Protocolo de Kyoto (1997), dentre os vários temas que foram tratados, alertou-se para a má disposição dos resíduos sólidos urbanos e o grave passivo ambiental que está sendo gerado para o planeta e para as futuras gerações.Entretanto, embora tenha participado de ambos os encontros, até o presente momento, o poder público brasileiro não conseguiu implementar uma política pública realista de coleta seletiva para a reciclagem dos resíduos inorgânicos e de destinação dos resíduos orgânicos urbanos.

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a população urbana brasileira teve um alto índice de crescimento nas últimas décadas, passando de 45,1% no censo de 1960 para 84,4% no censo de 2010. Esse fator

influencia diretamente no volume de lixo urbano gerado, pois este aumenta mais do que proporcionalmente ao crescimento da população. Além da migração para os grandes centros urbanos, outra importante mudança, a cultural, também contribui para o aumento do volume de resíduos. A crescente industrialização das últimas décadas aumentou a aquisição de bens de consumo e, consequentemente, o volume do lixo urbano (Sontag, Cruz, Butarelli & Bertolini, 2014). Como resultado, os resíduos sólidos urbanos são depositados em aterros sanitários e, em sua grande maioria em aterros controlados e em lixões sem observar aspectos de sustentabilidade ambiental.

O Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2001) revela em seu manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos e, corroborada pela Associacão Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014) que isso ocorre devido a vários fatores, como por exemplo: a falta de coleta seletiva, ao aumento da população economicamente ativa e a elevação do consumo pessoal de bens e serviços.

No caso específico de Belo Horizonte, a situação não é diferente. O crescimento do volume de resíduos gerados e sua destinação revelam que este quadro tem que ser revertido para que a cidade possa ser considerada inclusiva e ambientalmente responsável. A geração de resíduos em 2011 cresceu três vezes mais que a população de Belo Horizonte, colocando em risco as políticas de coleta e de tratamento de resíduos gerados pela população. É um grande volume de resíduos se for considerado o aumento de 22% na quantidade recolhida e aterrada na capital nos últimos dez anos (Ayer & Oliveira, 2014). Agrega-se ainda ao fato da dificuldade em liberar áreas que, ambientalmente, possam ser utilizadas para instalação de aterros sanitários convencionais em Belo Horizonte e arredores, pois a instalação de um aterro necessita de uma extensa área que, mesmo após o seu fechamento, ficará inutilizada devido ao mau cheiro e o seu aspecto visual (Sontag, *et al.,* 2014). Este fato inviabiliza o sistema atual e impõe custos crescentes devido ao aumento do perímetro de coleta em diferentes locais e o transporte dos resíduos até ao local de disposição final, o aterro sanitário.

Em suma, impõe-se considerar uma alternativa de reaproveitamento que seja economicamente viável e ambientalmente sustentável dos resíduos gerados no município de Belo Horizonte para a produção de energia elétrica, energia térmica e composto orgânico, utilizando como matéria-prima um recurso que hoje é desperdiçado. A alternativa proposta nesta dissertação pode auxiliar outros municípios, de maneira individualmente ou em consórcio, na adoção de modelos de geração de energia ambientalmente mais adequados.

A pesquisa é influenciada por experiências de países desenvolvidos que adotaram práticas sustentáveis no manejo e na gestão dos resíduos sólidos, fundamentando-se nos modernos instrumentais de finanças corporativas. Além dos desejáveis resultados econômicos, a implantação de plantas industriais de cogeração de energias, elétrica e térmica, pode exercer impactos sociais e econômicos por meio da geração de renda e novos empregos na indústria, no comércio e na prestação de serviços, propiciada pelo reaproveitamento dos resíduos que hoje são descartados em aterros sem nenhum beneficiamento.

Deste modo, a análise realizada neste estudo pode gerar novas informações e conceitos sobre os resíduos sólidos urbanos que são vistos em países menos desenvolvidos como algo sem valor econômico. E, ainda, pode trazer importantes questionamentos que incentivem a pesquisa em diversas disciplinas na busca de alternativas que poderão contribuir para o bom encaminhamento dos problemas gerados pela destinação inadequada, baixos índices de reciclagem e a perda de oportunidades de emprego e renda pelo não reaproveitamento dos RSU municipal na geração de energias sustentáveis.

Os benefícios da implantação de um fermentador em uma planta piloto para reaproveitamento de resíduos orgânicos para cogeração de energias são muitos, podendo citar:

a) redução da possibilidade de poluição do solo, ar, lençóis freáticos e dos rios, bem como o de emissão de gás metano, fatores que causam problemas de saúde pública e de gases do efeito estufa (GEE);

b) introdução de uma nova cadeia produtiva, gerando novos postos de trabalho para a mão de obra mais qualificada;

c) aumento da vida útil do aterro sanitário que será usado somente para a disposição de rejeitos do processo;

d) eliminação da presença de vetores endêmicos que causam doenças transmissíveis, como mosquitos e roedores;

e) incentivar a sociedade geradora de RSU a adotar ações educativas para a utilização sustentável e racional dos meios de produção de bens e serviços, levando-a repensar a melhor destinação dos resíduos gerados em seu dia a dia.

## 1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação esta estruturada em sete capítulos, incluindo esta breve introdução.

O capítulo dois é dedicado ao desenvolvimento do referencial teórico, que apresenta os conceitos, os métodos e os instrumentais de finanças corporativas empregados nas análises de avaliação (*valuation*) de investimentos. Destacam-se as discussões de riscos e retornos, estrutura de capital, uso de dívida e suas implicações no custo de oportunidade de capital em projetos de investimento. Ressalta-se o uso de *beta bottom up* na reflexão do custo de capital próprio em projeto de ativo que não é negociado em bolsas de valores. Identificam-se as variáveis e as informações que devem conter o fluxo de caixa do projeto, permitindo assim a quantificação de seu valor na perspectiva dos investidores.

O capítulo três descreve a ambiência do estudo, discutindo as várias dimensões de sustentabilidade que envolve a questão dos resíduos sólidos em relação aos aspectos social, ambiental e econômico.

O capítulo quatro apresenta as tecnologias disponíveis para a gestão e reaproveitamento dos resíduos sólidos urbanos. São detalhados os processos tecnológicos atuais e descrita com maior profundidade a planta de biometanização e cogeração de energia elétrica, energia térmica e composto orgânico.

No capítulo cinco é caracterizada a pesquisa e apresentados os procedimentos metodológicos, destacando-se a forma de cálculo do custo de oportunidade do capital e o levantamento das variáveis que compõem o fluxo de caixa do projeto.

O capítulo seis é dedicado a analise dos resultados, no qual apresenta-se o risco do projeto e identificam-se os seus fluxos livres de caixa. Posteriormente, analisam-se os resultados de acordo com duas projeções referentes aos preços de energia. Além da viabilidade econômica e financeira são apresentados os prováveis impactos na geração de renda assalariada, do capital, e nas finanças públicas decorrentes da implantação do projeto.

Finalmente, no capítulo sete são apresentadas as considerações finais, as limitações do estudo e as sugestões de futuras pesquisas.

# 2 Referencial Teórico

Este capítulo tem por objetivo apresentar o referencial teórico que norteia esta pesquisa e introduzir os conceitos e os instrumentais de finanças corporativas que foram empregados na análise de viabilidade econômico-financeira do projeto.

## 2.1 Avaliação de projetos de investimentos

A análise de viabilidade econômico-financeira de projetos de investimento tem grande importância para os investidores e, especialmente, em atividades pouco usuais, como é o caso do reaproveitamento dos resíduos sólidos, em que os custos e os benefícios da iniciativa não são muito claros, esta atividade assume um papel essencial na tomada de decisão. Portanto, deve-se empregar métodos adequados para conferir o necessário rigor à análise. Ao mesmo tempo, deve-se evitar sofisticações desnecessárias, pois a avaliação precisa ser clara e transparente para permitir a análise e a avaliação dos dados empregados e de fácil compreensão dos valores calculados.

Assaf (2008, p. 73) salienta que, na avaliação, "o princípio financeiro fundamental de toda empresa é oferecer um retorno de seus investimentos que cubra, pelo menos, a expectativa mínima de ganho de seus proprietários de capital". Assim, uma decisão de investimento agrega valor (riqueza) aos investidores quando o retorno é maior do que o custo de capital empregado. Para tal, pode-se empregar o fluxo de caixa descontado do projeto com o uso do *Weighted Average Cost of Capital* (WACC), a partir do modelo *Capital Assets Pricing Model* (CAPM), para a definição do custo do capital próprio, que é o método de maior aceitação em análise de investimento (Copeland, Koller & Murrin, 2012; Damodaran, 2010).

## 2.2 O custo do capital próprio

Os agentes econômicos que possuem recursos disponíveis têm várias possibilidades de investimentos, com diferentes características de remuneração, prazo e risco associado. Deste modo, ao optarem por uma das alternativas de investimento disponíveis, perdem os benefícios proporcionados pelas demais. De

acordo com a abordagem econômica, os agentes econômicos orientam suas decisões com base na premissa da otimização, com o suporte nas hipóteses da racionalidade objetiva e da liberdade de ação individual. Ou seja, "se os indivíduos são livres para agir, é lógico supor que procurem escolher aquilo que lhes proporcione a máxima satisfação" (Miller, 1981, p. 4). O autor descreve este princípio como o modelo de comportamento racional, em que as alternativas de ação de uma decisão são avaliadas de forma sistemática e coerente, e a escolha da melhor opção tem como fronteiras as limitações do mundo real.

Burch e Henry (1974, p. 119) explicam que foi Frederich Freiherr von Wieser (1851-1926), economista e sociólogo austríaco, seguidor da Escola de Viena ou “Teoria Marginalista”, empreendida inicialmente a partir 1871, na Áustria, por Karl Menger, quem deu origem à expressão “custo de oportunidade" para definir o valor de um fator produtivo para a teoria econômica. Por outro lado, segundo estes mesmos autores, coube ao economista Herbert Joseph Davenport (1861-1931) a divulgação do conceito de custo de oportunidade, por intermédio da sua obra “The Economics of Enterprise”, publicada em 1936.

Deste modo, e de acordo com este entendimento, o custo de oportunidade ou custo alternativo surge quando o decisor opta por uma determinada alternativa de ação em detrimento de outras viáveis e mutuamente exclusivas. Assim, representa o benefício que foi desprezado ao escolher uma determinada alternativa em função de outras. Pressupõe-se, assim, uma decisão efetiva sendo tomada e que acarreta o sacrifício ou abandono de outra (Pereira, Souza, Redaelli & Imoniana, 1990).

De acordo com Nascimento (1998, p. 28), o conceito de custo de oportunidade "estará sempre presente quando existirem alternativas de escolha na tomada de decisão, de tal forma que a determinação do custo do capital próprio depende da correta avaliação do risco associado ao projeto sob análise".

### 2.2.1 Retornos e riscos

Em um mercado perfeito, caracterizado pela ausência de impostos e outros custos de transações, onde existe perfeita simetria de informações e acesso irrestrito ao

crédito e todos os agentes possuam expectativas racionais, não há motivos para existirem taxas diferenciadas de juros. Nestas condições, o melhor investimento é sempre aquele que oferece a melhor taxa de retorno. Porém, na realidade do mercado financeiro, estes não são perfeitos e os agentes são avessos ao risco (Leão, Martins & Locatelli, 2012). Isto quer dizer que, para assumirem determinado risco, os agentes cobram um prêmio. Diante do exposto, questiona-se: qual seria o prêmio para que o agente financeiro mantivesse um ativo com determinado risco em detrimento de outro livre de risco?

A relação entre risco/retorno, quando da tomada de decisão em relação a determinado investimento, ganhou corpo a partir dos trabalhos de Markowitz (1952). O autor lançou um arcabouço teórico que definiu a expectativa de retorno de um investimento como a média ponderada histórica dos retornos dos ativos individuais e, o risco, como a variância desses retornos. O resultado foi o desenvolvimento de um modelo matemático de otimização de carteiras baseado na combinação de ativos individuais com a capacidade de reduzir o risco do investidor.

O termo risco, ou seja, a variabilidade ou dispersão em torno de um valor esperado, frequentemente é usado como sinônimo de incerteza. Entretanto, existe entre eles grande diferença. Sandroni (1999) define risco como

> [...] a condição de um investidor; ante as possibilidades de perder ou ganhar dinheiro. Os juros ou o lucro são explicados como recompensas recebidas pelo investidor por assumir determinado risco de incerteza econômica, relativas a eventualidades como queda nas taxas de juros, desempenho econômico de um país, mudanças nas políticas nacionais (Sandroni, 1999, p. 532).

E incerteza como "a situação em que, partindo-se de determinado conjunto de ações, chega-se a vários resultados possíveis. Os resultados são conhecidos, mas não a probabilidade de eles ocorrerem (Sandroni, 1999, p. 294).

De acordo com Knight, como citado em Moreira, Locatelli e Afonso (2015), há risco quando o resultado dos atos não é conhecido, mas pode-se identificar a probabilidade de vários resultados potenciais. Contudo, a incerteza não pode ser

medida matematicamente, pois não se conhece a probabilidade dos resultados, e não se pode aferir os retornos esperados dos vários resultados possíveis.

Sharpe, Alexander e Bailey (1995), decompõem o risco total de um ativo ou de uma carteira em risco específico (diversificável) e o risco não diversificável ou sistêmico. Segundo eles: a) o risco não sistêmico está relacionado com o desempenho do investimento e é também chamado risco diversificável, devido à possibilidade de sua diluição em uma carteira ou portfólio de investimentos; e b) o risco sistêmico, por sua vez, é o aquele relacionado com o desempenho da economia do país e das expectativas dos agentes econômicos, e está fora do controle do investidor individual. É um risco que não pode ser diluído na formação de carteiras. Portanto, é também chamado de risco não diversificável.

### 2.2.2 O beta como medida de risco sistêmico

Para avaliar o risco sistêmico de um projeto (ou ativo), utiliza-se uma análise comparativa entre o desempenho deste ativo e de uma carteira diversificada de mercado. Essa medida é chamada de beta (β). Estatisticamente, o beta é calculado por meio da razão entre a covariância do ativo analisado e do mercado pela variância do mercado (equação 1).

$$B_i = \frac{Cov\ (R_i, R_m)}{Var\ (R_m)} \qquad (1)$$

Se o ativo analisado for a carteira de mercado, o numerador do cálculo do *beta* será a covariância do mercado com o próprio mercado, o que é equivalente a variância do mercado. Dessa forma, os valores referentes ao numerador e denominador são iguais, resultando o beta de uma carteira de mercado igual a 1. Assim, os ativos que possuam uma maior volatilidade, ou seja, maior nível de risco em comparação com o da carteira de mercado, terão *betas* maiores que 1(um), ao contrário das alternativas de investimento que apresentem volatilidade menor do que a apresentada pela carteira de mercado, que terão betas menores que 1(um).

Sharpe (1964), Lintner (1965) e Mossin (1966) fundamentados no postulado de Markowitz (1952; 1959) e nas contribuições de Tobin (1958) e Treynor (1961), desenvolveram uma equação que incorpora a ideia do risco/retorno, considerada relativamente simples de estimar e que permite testes empíricos.

$$E[Ri] = Rf + \beta_L(E[Rm] - Rf) \qquad (2)$$

Sendo:

E[Ri] = expectativa de retorno do ativo;
Rf = taxa de retorno de um ativo livre de risco;
$\beta_L$ = beta alavancado, que retrata a sensibilidade dos retornos do ativo em relação aos retornos de uma carteira de mercado;
E[Ri] = expectativa de retorno da carteira mercado.

Este modelo recebeu o nome de *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), e tem sido amplamente utilizado desde sua formulação em 1962, na determinação da taxa de retorno esperada dos ativos. Pelo CAPM, o retorno de um ativo qualquer é determinado pelo retorno do ativo livre de risco e pelo prêmio de mercado ajustado pelo fator *beta*, o qual mede a sensibilidade dos retornos deste ativo em relação aos retornos da carteira de mercado. Este coeficiente *beta*, por sua vez, seria o fator que explicaria a diferença de retorno exigido entre os ativos. Assim, os ativos com diferentes betas apresentariam diferentes retornos exigidos, sendo a relação entre retorno e beta linear.

A equação (2) é a ferramenta financeira com maior aceitação nos meios acadêmicos e empresariais para a definição do risco associado a um investimento e, consequentemente, para a definição da remuneração adequada ao capital próprio (*equity*).

Ross, Westerfield e Jaffe (2010) explicam que o modelo de precificação de ativos financeiros CAPM representa um avanço relevante na teoria de finanças, sendo largamente utilizado para fins de investimento, uma vez que demonstra como o retorno esperado de um ativo está relacionado ao seu risco sistêmico. O CAPM

avalia o retorno mínimo que um ativo deve oferecer ao investidor em função do nível de risco não diversificável (ou sistêmico) a ele associado. Tendo como premissa a aversão ao risco, o modelo pressupõe que ativos com maior nível de risco devem oferecer maior retorno. Dessa maneira, tornam-se mais atraentes para os investidores (Ross, Westerfield e Jaffe, 2002).

Para o desenvolvimento do CAPM, de acordo com Copeland e Weston (1988), foi necessário definir algumas hipóteses:

> i) Não existem imperfeições de mercado tais como impostos, regulamentações ou restrições sobre venda a descoberto, isto é, não possui custos de transação; ii) os investidores são indivíduos avessos a risco e maximizam a utilidade esperada de sua riqueza a cada fim de período; iii) os investidores são tomadores de preço e têm expectativas homogêneas sobre os retornos dos ativos, os quais assumem uma distribuição normal; iv) existe um ativo livre de risco que os investidores podem tomar emprestado ou emprestar quantias ilimitadas à taxa livre de risco; v) as quantidades de ativos são fixas. Além disso, todos os ativos são negociáveis e perfeitamente divisíveis; vi) os mercados de ativos são sem conflitos entre os agentes e as informações não têm custo e estão disponíveis de forma idêntica para todos os investidores. Nenhum investidor apresenta acesso privilegiado às informações (Copeland & Weston, 1988, p. 7).

Para Horne (1998), pode-se falar em mercado eficiente quando o valor dos preços dos ativos financeiros reflete o consenso geral sobre todas as informações disponíveis que podem afetar esses ativos, ajustando de forma rápida o preço em relação a essas informações. Verifica-se que o CAPM foi estabelecido sob suposições pouco realistas, pois todas as hipóteses relacionadas à existência de um mercado eficiente são incorporadas pelo modelo. Entretanto, Assaf Neto (2006) afirma que essas suposições não são suficientemente rigorosas a ponto de invalidar o modelo, mesmo que sejam impossíveis de serem verificadas na realidade do mercado. Na verdade, elas servem para descrever um modelo financeiro e suas aplicações práticas.

A Figura 1 demonstra que o rendimento esperado de uma empresa está linearmente relacionado com o seu *beta*, pois "mede a sensibilidade de um título a movimentos de carteira de mercado" (Ross *et al.*, 2002, p. 227).

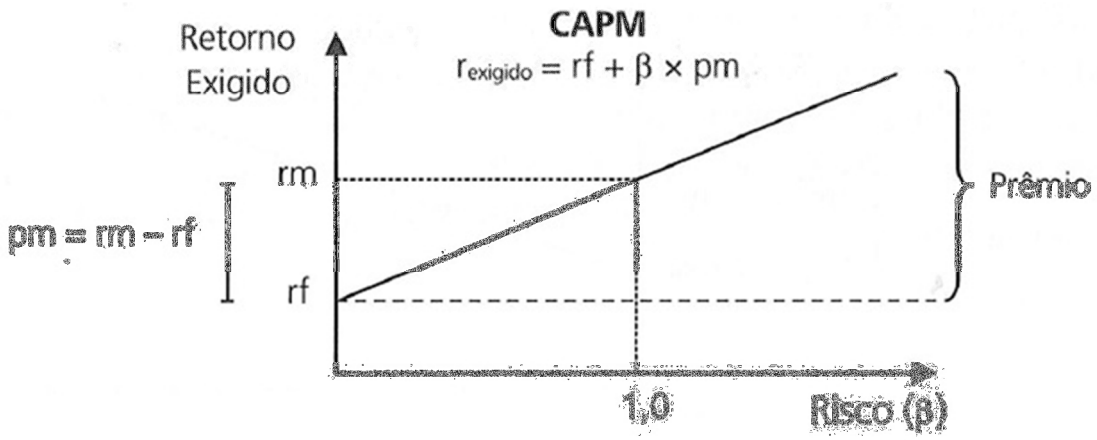



**Figura 1** - Modelo de precificação de títulos com risco (CAPM)
**Fonte:** Serra, R. G., & Wickert, M. (2014, p. 19). *Valuation: guia fundamental*. São Paulo: Atlas.

Após a formulação do CAPM, diversos autores passaram a testar, empiricamente, a validade do modelo, procurando mensurar o poder de explicação do fator de risco do mercado na variação dos retornos dos ativos e a relação linear entre retorno e o fator beta. Diversos pesquisadores validaram o CAPM , entre eles estão Black, Jensen e Scholes (1972), Fama e MacBeth (1973).

Porém, muitos outros estudos, incluindo os de Banz (1981), Basu (1977), Lakonishok e Shapiro (1986) e Fama e French (1995), identificaram ineficiências no modelo de Sharpe para a explicação dos retornos dos ativos, sendo motivo de fortes críticas, principalmente as formuladas por Eugene Fama, da Universidade de Chicago e Kenneth French, da Universidade de Yale.

Segundo Fama e French (1993), outros fatores, além do fator beta, influenciariam na variação dos retornos. Com base em estudos anteriores, formularam um modelo de três fatores que, segundo os autores, explicaria o retorno das ações pesquisadas. Os fatores de risco do modelo são: o fator mercado, conforme definido por Sharpe e incluído no CAPM; o fator do tamanho da empresa, definido pelo valor de mercado do patrimônio líquido; e o fator, índice *Book-to-Market* ou índice B/M, definido pela relação entre o valor contábil e o valor de mercado do patrimônio líquido. O modelo é uma alternativa ao CAPM e propõe que a equação (2) seja reescrita da seguinte forma:

$$Rc - RF = \alpha + \beta.(RM - RF) + s.SMB + h.HML \qquad (3)$$

Onde:

Rc = retorno da carteira *i* no mês *t*

RM-RF = prêmio da carteira de mercado no mês *t*

SMB = prêmio pelo fator tamanho no mês *t*

HML = prêmio pelo fator B/M no mês *t*

s = coeficiente de regressão relacionado com o SMB

h = coeficiente de regressão relacionado com o HML

$\alpha$ = intercepto das regressões estatisticamente diferente de zero

$\beta$ = beta

Críticas mais radicais foram feitas por Fernandes (2014) que destaca as dificuldades da escolha de um título para espelhar a taxa livre de risco, o período e o intervalo de tempo para se mensurar o beta e a definição de uma carteira apropriada de mercado.

Por todas estas razões, a *Arbitrage Pricing Theory* (APT) introduzido por Ross (1976) aparece como um modelo alternativo, desenvolvido devido à incapacidade do CAPM explicar adequadamente o desempenho relativo dos ativos. Contudo, Moreira, Locatelli e Ramalho (2015), em linha com conceituados representantes da academia como Damodaram (2004) e Copeland *et al.* (2002), embora reconhecendo as fragilidades do CAPM, sustentam que o beta ainda não está morto e que o modelo alternativo de APT, além de ser mais complexo e de difícil operacionalização, nada diz sobre quais são efetivamente os outros fatores que afetam os retornos dos ativos.

Em suma, embora os analistas reconheçam as fragilidades do CAPM, o modelo continua sendo usado, pois a relação custo/benefício é desfavorável nos modelos alternativos (Da, Guo & Jagannathan, 2012; Burton, 1998; Khotari *et al.*, 1995). Portanto, o CAPM será utilizado nesta pesquisa por continuar sendo o modelo de maior aceitação, seja pela academia ou pelos analistas financeiros, para estimar o retorno esperado do capital próprio.

## 2.3 Modigliani e Miller e o uso da dívida

O capital de terceiros representa o endividamento contraído pela empresa em outras fontes de financiamento que não os acionistas da empresa. Sua utilização pode incrementar o desempenho da companhia e elevar o seu valor intrínseco. Em contraste com o capital próprio, o capital de terceiros é qualquer tipo de fundo obtido pela empresa via empréstimos, crédito com fornecedores e outros recursos onerosos obtidos por intermédio de uma entidade alheia à empresa (Assaf, 2010).

O uso da dívida, segundo o jargão dos analistas de mercado, dá origem ao termo "alavavancagem financeira". De acordo com Silva (2006, p. 536) a alavancagem financeira é definida como "o impacto do uso de capitais de terceiros na geração de valor". Assim, quanto maior o nível de dívida de uma empresa em relação ao total de seu ativo, maior será sua alavancagem.

A alavancagem e o uso de dívida constitui um dos temas mais importantes na implementação de estratégias corporativas, pois amplia as possibilidades de crescimento da empresa mediante o financiamento corporativo de curto e de longo prazo. A importância do tema é de tal magnitude que a procura por uma "estrutura ótima de capital" originou a moderna teoria de finanças corporativas com a publicação dos trabalhos seminais de Modigliani e Miller (M & M).

No trabalho inicial, Modigliani e Miller (1958) alegaram que não existiria, de fato, uma estrutura de capital ótima. Ou seja, todas as combinações possíveis entre dívida e capital próprio geraria o mesmo valor da firma, desde que considerados adequadamente os riscos envolvidos. Na formulação da teoria adotaram um conjunto de pressupostos ideais, como a ausência de impostos, custos de transação e custos de falência, existindo informação proporcional e limitação na capacidade de financiamento para empresas e indivíduos (Saito, Terra, Silva, & Silveira, 2008).

Mas devido a essas hipóteses, a formulação inicial de M & M foram objeto de várias criticas, dentre elas:

a) os mercados não são perfeitos e os acionistas não são completamente racionais;

b) o endividamento realizado pelos investidores não é realizado da mesma forma pelas empresas;

c) as instituições financeiras emprestam a pessoas reais a uma taxa de juros superior a cobrada para os empréstimos às empresas;

d) O risco financeiro proveniente de posições acionárias de uma empresa altamente endividada é inferior ao risco financeiro resultante de um endividamento particular;

e) o fato de uma empresa falir não significa que seja vendida pelo seu valor econômico (os mercados não são perfeitos;.

f) não houve o esclarecimento sobre as razões das empresas adotarem estruturas de capital alavancadas.

Posteriormente, Modigliani e Miller (1963) flexibilizaram a hipótese de mercados perfeitos para introduzir a possibilidade de dedutibilidade das despesas de juros da base de cálculo do imposto de renda. Nestas circunstâncias, a alavancagem tornou-se variável importante na decisão do empresário e o valor da empresa uma função crescente do endividamento, levando-os a concluir que as empresas deveriam trabalhar com 100% de dívida (Locatelli, Nasser & Mesquita, 2015a).

Mas, no mundo real das finanças, essa proposição radical de Modigliani e Miller não é observada, sendo notório que as empresas trabalham com alavancagens mais moderadas. Tal fato pode ser explicado pelos riscos e pelos custos de dificuldades financeiras, situação de caixa insuficiente para fazer um pagamento contratualmente devido e que crescem com o endividamento colocando limites ao uso de capital de terceiros (Ross *et al.,* 2010). Famá e Grava (2000) concluem que a empresa em situação financeira fragilizada, ao buscar empréstimos junto a entidades fornecedoras de crédito, paga taxas de juros mais altas em função da sua propensão a se tornar inadimplentes. Dessa forma, o aumento do risco resulta no aumento do custo do capital e afeta, portanto, o valor da empresa negativamente.

De acordo com Locatelli *et al.* (2015a), as contribuições de Modigliani e Miller ensejaram o surgimento de uma teoria bastante aceita no meio acadêmico

denominada de teoria do "*trade off* " que considera dois fatores que atuam em direções opostas: as economias fiscais induzem as empresas a endividar, enquanto que os riscos de inadimplência e os custos percebidos de falência (captados na equação pelo risco sistemático – beta alavancado) inibem o apetite pelo uso do capital de terceiros.

## 2.4 A alavancagem, o beta *bottom up* e o custo de oportunidade do capital

Como a dívida aumenta o risco da empresa, pode-se postular que, quanto mais dívida uma empresa contrair maior será o beta. Isto ocorre porque a dívida cria um custo fixo adicional decorrente das despesas com juros, aumentando assim, a sua exposição ao risco de mercado.

Como foi discutido, para o cálculo do beta é necessário definir três parâmetros: a) o índice que representa uma *proxy* do comportamento do mercado; b) o histórico de retornos do ativo e da carteira de mercado; e c) a periodicidade dos retornos. Assim, questiona-se: como estimar o risco sistemático (beta alavancado) de um projeto (empresa) caso os seus ativos não sejam negociados em bolsa de valores?

Conforme relatam Marquetotti (2014) e Fernandes (2013), em situações como esta, deve-se empregar o método o *bottom up* utilizando informações de empresas com riscos similares para as estimativas do *beta* alavancado. O método de *beta bottom up* tem como princípio a lógica de que empresas dentro do mesmo setor tendem a apresentar beta diferenciados, basicamente, pela alavancagem financeira (Damodaran, 2010; Póvoa, 2012). Assim, define-se que o beta de uma empresa será em função do grau de alavancagem específico. A fórmula (4) desenvolvida por Hamada (1972), permite identificar a influência da dívida no risco sistemático da empresa:

$$\beta U = \frac{\beta L}{[\,1+\left(\frac{D}{E}\right) x\,(\,1-t)]} \qquad (4)$$

Sendo:

βU = beta desalavancado, como se a empresa não tivesse dívida;

$\beta L$ = beta alavancado da empresa;

D/E = Dívida/*Equity* em valores de mercado;

t = alíquota de imposto de renda que propiciará o benefício fiscal do serviço da dívida.

Damodaram (2010) apresenta, didaticamente, a forma que deve ser empregada para se estimar o beta *bottom up*:

a) identificar o negócio no qual atua ou irá atuar a empresa objeto da análise;
b) estimar os betas alavancados de empresas do mesmo setor que possuem ações negociadas em bolsa de valores;
c) desalavancar o beta de cada empresa utilizando índice de dívida/capital próprio (D/E);
d) calcular, com base nos betas desalavancados, o beta médio setorial desalavancado; e
e) realavancar o beta médio para estimar o beta *bottom up*, utilizando para este propósito a relação D/E que se propõe para a empresa objeto da avaliação.

Consoante às discussões anteriores, para estimar o custo de oportunidade de capital que constitui a taxa de desconto a ser usada na análise de viabilidade econômico-financeira, devem ser avaliados os tipos de capital disponíveis e a estrutura do financiamento.

A definição da taxa de atratividade, refletida pelo do custo de oportunidade do capital de cada projeto, deve considerar a existência das diferentes fontes de financiamento, a remuneração que deverá ser paga a cada uma delas (em função do risco incorrido pelos diferentes *stakeholders*, sejam eles credores ou acionistas), a proporção de utilização de cada fonte de recursos e os seus respectivos impactos fiscais e tributários (Damodaran, 2002; Brealey & Myers, 2003).

Assim, o custo médio ponderado de capital (WACC) é a média do custo de capital próprio e de terceiros, ponderada pelas frações do valor da empresa que

correspondem às ações e às dívidas, respectivamente, de acordo com a seguinte equação:

$$WACC = K_e \left[ \frac{E}{(D + E)} \right] + K_d \left[ \frac{D}{(D + E)} \right] \times (1 - T) \qquad (5)$$

Sendo:

E e D = os valores de mercado do capital próprio e capital de terceiros, respectivamente.

$K_e$ e $K_d$ = os custos de cada fonte de financiamento.

T = a alíquota do imposto de renda da empresa.

## 2.5 O *valuation* e a seleção de projetos de investimento

O *valuation* é uma das ferramentas que dá suporte ao tomador de decisão em operações, cuja incerteza e risco de investimento, podem comprometer o retorno de um negócio. Portanto, o processo de modelagem de projeções e avaliações deve ter como base sólidos conhecimentos em finanças, do mercado onde a empresa está inserida, entendimento das principais premissas da empresa e da macroeconomia (Costa, Costa & Alvim, 2010).

Segundo Damodaran (2010), existem três abordagens principais para avaliação de empresas: a) a avaliação por fluxo de caixa descontado, que retrata o valor do ativo como o valor presente de um fluxo de caixa futuro esperado; b) a avaliação relativa na qual o valor de um ativo é estimado tendo por referência o preço de ativos similares em relação à variáveis comuns, tais como os rendimentos, os fluxos de caixa, o valor contábil, as vendas, entre outros; e c) a avaliação de direitos contingentes que utiliza os modelos que incorporam probabilidades de ocorrência de eventos para medir o valor do ativo com características de opções.

Nesta dissertação será empregado o modelo de fluxo de caixa descontado, que é tido como aquele que melhor revela a efetiva capacidade de geração de riqueza de

um empreendimento, uma vez que traz o valor presente de benefícios futuros esperados a uma taxa de desconto apropriada e retrata a realidade do ambiente econômico no qual a empresa se encontra inserida (Moreira, Locatelli & Ramalho, 2015; Brigham & Houston, 1999; Assaf, 2012).

O critério básico no processo decisório é a capacidade de geração de valor que esse negócio poderá propiciar, ou seja, a condição para que tais operações sejam levadas adiante é a geração de riqueza aos acionistas. Para tanto, é pré-requisito que os potenciais investidores saibam precificar o que está sendo adquirido (comprado). Registra-se, contudo, que o processo de avaliação de um ativo, mesmo sendo efetuado por intermédio de modelos matemáticos, envolve julgamentos subjetivos, principalmente aqueles relativos às informações utilizadas no processo, pois o retorno de um ativo é calculado com base na expectativa de resultados futuros para este mesmo ativo. Conforme pondera Damodaran (2004), a subjetividade no processo de avaliação é uma das maiores dificuldades da mensuração do valor de um ativo e quaisquer preconcepções que o analista trouxer para o processo de avaliação acabarão por se incorporar ao valor. Assim, a decisão desse tipo de investimento é tomada sob incerteza, tal como definida por Keynes (1936).

### 2.5.1 O fluxo de caixa para os investidores

Os fluxos de caixa utilizados na avaliação das empresas é o fluxo de caixa disponível livre (*free cash flow*). São calculados líquidos do imposto de renda após serem descontadas todas as necessidades de investimentos fixo e em giro. São, essencialmente, de dois tipos:

1) Fluxo de Caixa Disponível da Empresa (FCDE); e
2) Fluxo de Caixa Disponível dos Acionistas (FCDA).

O FCDE é o resultado líquido de caixa destinado a todos os investidores: credores e acionistas, sendo calculado a partir do fluxo de caixa operacional líquido do imposto de renda. Já o fluxo de caixa disponível aos acionistas é calculado subtraindo-se do fluxo de caixa da empresa (investidores) o fluxo de caixa dos credores.

O FCDA é relativo somente ao capital próprio, tendo como referência o lucro líquido (Póvoa, 2012). Em decorrência, Serra e Wickert (2014) afirmam que, neste caso, o CAPM deve ser aplicado para trazer os valores futuros ao presente. Caso os fluxos de caixa futuros previstos incorporem os resultados de todos os proprietários de capital, estes devem ser descontados pelo custo médio ponderado de capital (WACC), que é estimado considerando a participação dos investidores (*firm value*), decorrentes do uso de dívida (*debt*) e do emprego do capital próprio (*equity*).

Segundo Damodaran (2010), considerando os efeitos do fluxo de caixa das despesas líquidas de capital, das mudanças no capital de giro e das mudanças líquidas na dívida dos acionistas, pode-se definir os fluxos de caixa remanescentes como o fluxo de caixa livre do acionista (FCDA). Ou seja, FCDA = Lucro Líquido – (Despesas de Capital – Depreciação) – (Mudança no capital de giro não caixa) + (Novas emissões de dívida – Pagamentos de dívida).

Neste estudo, adotou-se o valor presente do fluxo de caixa livre (FCDE) para a determinação do valor de uma empresa, o qual incorpora o valor do patrimônio líquido (PL) e as dívidas, podendo ser calculado da seguinte maneira:

Receita Operacional Bruta
(-) Custos dos Produtos Vendidos
(-) Despesas Operacionais (exceto depreciação e amortização)
= EBITIDA - Lucro antes dos juros, impostos, depreciação e amortização
(-) Depreciação
= EBIT - Lucro antes dos juros e dos impostos (Lucro Operacional Bruto)
(-) Imposto de renda sobre o EBIT
= NOPLAT (Lucro Operacional Líquido menos Imposto de Renda Ajustado)
(+) Depreciação
= FCO - Fluxo de Caixa Operacional
(-) Investimentos Permanentes (CAPEX)
(-) Variações nas necessidades de Capital de Giro
= FCDE (Fluxo de Caixa Livre da Empresa)

Serra e Wickert (2014) apresentam o Fluxo de Caixa para os Investidores detalhando as partes destinadas aos credores e aos acionistas (Figura 2).

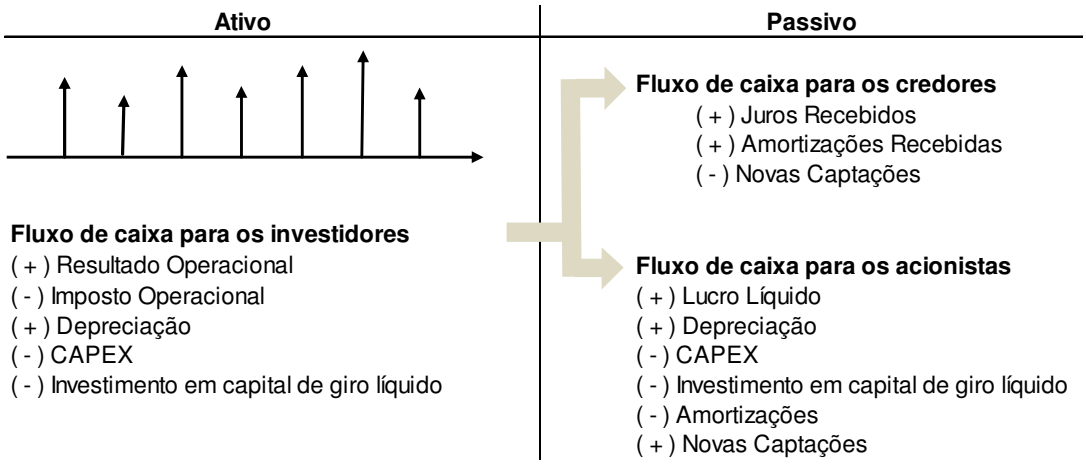



**Figura 2** - Fluxo de caixa para os investidores, para os credores e para os acionistas
**Fonte:** Serra, R. G., & Wickert, M. (2014). *Valuation: guia fundamental* (p. 59). São Paulo: Atlas.

### 2.5.2 Impactos socioeconômicos do projeto

Embora o *valuation* considere apenas a capacidade do projeto de gerar valor para os investidores, as análises que envolvem as políticas públicas deveriam abordar outras dimensões. Na teoria de desenvolvimento, conforme ressaltado por Locatelli (1985b), há vasta literatura sobre estratégias alternativas de investimento, sendo que os analistas destacam, dentre outros aspectos, os impactos de qualquer projeto nas receitas públicas, no mercado de trabalho e no ambiente de negócios.

Motivado pelos trabalhos de Locatelli (1985a) e Piketty (2014), nesta pesquisa, explicitou-se a geração de tributos, a criação de renda assalariada e do capital e a formação bruta de capital fixo. Em relação às receitas fiscais, a apuração retrata apenas os tributos diretos, uma vez que, a atividade é isenta de recolhimento de impostos indiretos (ICMS, IPI, PIS, Cofins, etc.). A renda assalariada compreende o pagamento de salários e encargos trabalhistas.

Sabe-se que as empresas têm como objetivo maximizar seu valor, refletindo no aumento da riqueza de acionistas e, por conseguinte, na melhoria da economia como um todo, o que demonstra a utilização mais eficiente de recursos econômicos de uma sociedade. De acordo com Copeland *et al*. (2002), se os administradores concentrarem-se na construção de valor para o acionista criarão empresas mais saudáveis, que, por sua vez, levarão a economias mais sólidas, padrões de vidas

mais elevados e maiores oportunidades de carreira e de negócios para os indivíduos. A melhoria do ambiente de negócios na presente análise é decorrente da formação bruta de capital fixo, que aumenta a capacidade produtiva da economia e da geração de renda do capital, que é medido pelo NOPLAT, constituindo-se na na recompensa pela mobilização de recursos e pelas inovações em produtos e processos.

# 3 A Sustentabilidade e a Gestão dos Resíduos Sólidos em Belo Horizonte-MG

Neste capítulo, apresenta-se a situação dos RSU no país e na região metropolitana de Belo Horizonte, considerando as preocupações mais recentes de ambientalistas, gestores públicos e de instituições voltadas para o desenvolvimento econômico-social.

## 3.1 A preocupação com o meio ambiente e os protocolos internacionais

Com o início da nova revolução industrial, do desenvolvimento de novas tecnologias de produção em grande escala de bens de consumo, do crescimento populacional e da maior expectativa de vida devido as novas técnicas da medicina, houve um crescimento vertiginoso da população mundial. Esta, de 2,5 bilhões em 1950, passou para 6 bilhões em 2000. Estima-se que em 2020 a população mundial já terá ultrapassado 8 bilhões de habitantes (Daniel & Perinaz, 2012).

Como consequência desse crescimento populacional ocorreu um aumento significativo do volume de resíduos gerados pelas populações urbanas, a maior responsável pela produção de resíduos, com média de 1,2 kg/dia para cada habitante das cidades.

De acordo com levantamentos do Banco Mundial, foram gerados 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos nas cidades de todo o mundo, sendo previsto um aumento de 2.2 bilhões de toneladas de volume para 2025 (Daniel & Perinaz, 2012).

A expressão "educação ambiental" foi mencionada pela primeira vez em 1965, na Conferência de Educação da Universidade de Keele na Inglaterra, com a recomendação de que esta deveria se tornar parte essencial da educação de todos os cidadãos (UNESCO,1998). Na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada em 1972, na cidade de Estocolmo, Suécia, foram feitas recomendações para a necessidade de mudanças éticas e epistemológicas sobre a questão ambiental e o desenvolvimento econômico e tecnológico.

Em 1983, foi criada pela ONU a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, presidida pela 1ª Ministra da Noruega, a Srª Gro Harlem Brundtland, e teve por objetivo pesquisar os problemas ambientais em uma perspectiva global. Em 1989, foi publicado o "Relatório Brundtland" ou "Nosso Futuro Comum", no qual dois importantes conceitos apareceram: desenvolvimento sustentável e uma nova ordem mundial (Brundtland,1987).

Diante da constatação de que os recursos naturais não são infinitos e o nível da qualidade de vida depende do equilíbrio entre o crescimento populacional, dos recursos naturais disponíveis e, consequentemente, dos resíduos gerados pela população consumidora destes recursos, a ONU promoveu em âmbito mundial o encontro de 170 países para, em comum acordo, implementar iniciativas para mitigar os problemas constatados (Agenda 21, 1997).

Leff (2001) declara que na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro, em 1992, e conhecida como ECO-92, foi legitimado, oficializado e difundido o discurso do desenvolvimento sustentável. Neste mesmo ano, em Belo Horizonte-MG, realizou-se o Encontro Internacional de Imprensa, Meio Ambiente e Desenvolvimento (Imprensa Verde 92), patrocinado pelo Sindicato dos Jornalistas Profissionais de Minas Gerais, onde, autoridades do meio jornalístico mundial, membros do governo nacional, estadual e municipal expressaram suas preocupações quanto ao futuro das águas, das florestas e da geração de resíduos.

Em 2002, na Conferência da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável realizada em Johanesburgo/África do Sul (Rio+10, 2002) foi apresentado um balanço sobre o que havia sido efetivado decorrente da reunião da Agenda 21, sendo constatada a insustentabilidade do modelo econômico vigente

O manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e as questões relacionadas com os esgotos foram tratadas de modo específico no capítulo 21 da Agenda 21. Estes temas também mereceram destaque nas discussões do Protocolo de Kyoto, tendo por objetivo reduzir as emissões de gases poluentes que geram o Efeito Estufa (GEE) e, como consequência, o aquecimento global. São citados neste

acordo os gases mais nocivos ao meio ambiente: dióxido de carbono, gás metano, óxido nitroso, hidrocarbonetos fluorados, hidrocarbonetos perfluorados e hexafluoreto de enxofre. Os três últimos gases são eliminados, principalmente, pelas indústrias, pelos aterros sanitários, pelos aterros controlados e pelos lixões (Protocolo de Kyoto, 1997).

O protocolo sugeriu ações comuns como:

a) aumento no uso de fontes de energias limpas (biocombustíveis; energia eólica, biomassa e solar;
b) proteção de florestas e outras áreas verdes;
c) otimização de sistemas de energia e transporte, visando o consumo racional;
d) diminuição das emissões de gás metano, presentes em sistemas de depósito de lixo orgânico; e
e) definição de regras para a emissão dos créditos de carbono (certificados emitidos quando há a redução da emissão de gases poluentes).

## 3.2 As políticas públicas brasileira e a gestão dos resíduos sólidos urbanos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída nos termos da Lei Federal n. 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto Federal n. 7.404/2010, em dezembro de 2010. Ficou estabelecido a obrigatoriedade do planejamento e o tratamento adequado de resíduos coletados mediante a implantação de aterros sanitários, da coleta seletiva e da análise das alternativas tecnológicas para geração de energia a partir do lixo (Lei Federal n. 12.305/2010; Decreto Federal n. 7.404/2010). Nesta lei ficou também definido como resíduos aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas e os de limpeza urbana - os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços de limpeza urbana.

Outro ponto importante da Lei 12.305/2010 refere-se às disposições preliminares quanto à utilização de tecnologias que visam a recuperação energética dos RSU, desde que tenha sido comprovada a sua viabilidade técnica e ambiental. Isto, tem

por finalidade apoiar a utilização energética dos resíduos, porém, sem descuidar do monitoramento de emissão de gases tóxicos.

A meta prevista na Lei 12.305/2010 é que em 2014 todos os municípios do país deveriam desativar os lixões a céu aberto. Porém, a meta proposta não foi cumprida (Lei Federal n. 12.305, 2010). A Confederação Nacional de Municípios (CNM) já previa em 2014, que a metade das cidades brasileiras, de até 300 mil habitantes, não teria condições de obedecer a legislação, principalmente, por falta de condições financeiras e de pessoal técnico preparado para atender adequadamente o que foi proposto na Lei. Mais de 1.000 dos 2.400 municípios consultados não conseguiram sequer elaborar o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), fundamental na obtenção de verbas federais para a extinção dos depósitos indadequados de lixo.

Conforme  a Confederação Nacional dos Municípios, 58,3% dos resíduos coletados seguiram para os aterros sanitários em 2013, cenário praticamente sem alteração em relação ao registrado no ano anterior. Os 41,7% restantes, correspondendo a aproximadamente 79 mil toneladas diárias, foram encaminhadas para os lixões ou para os aterros controlados, que pouco se diferenciam dos lixões, uma vez que ambos não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

No Estado de Minas Gerais, a gestão dos resíduos sólidos é considerada estratégica pelo governo estadual, para o desenvolvimento econômico sustentável. A gestão dos resíduos foi contemplada em 2003, pelo governo estadual na visão de futuro para um horizonte de 20 anos e explicitada no Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado (PMDI) com a finalidade de "Tornar Minas Gerais o melhor estado para se viver". Neste sentido, uma das estratégias estabelecidas é o tratamento adequado dos resíduos sólidos, visando equacionar a destinação e fomentar o reaproveitamento, bem como estabelecer parcerias na busca de soluções para a disposição adequada (PMDI, 2003).

Outras recomendações foram editadas na Ação 1231 – Redução e Valorização de Resíduos – Plano Plurianual de Ação Governamental (PPAG) 2012 – 2015, criando

o Programa Estruturador de Qualidade Ambiental do Estado. Esta ação foi criada depois da avaliação dos resultados do Programa Minas Sem Lixões de 2012. A Fundação Estadual de Meio Ambiente (2013) apresentou um levantamento das informações sobre a gestão de RSU e a política para os RSU que norteia as ações do Estado de Minas Gerais no que tange ao assunto.

Contudo, em 2013, um grande número de municípios mineiros não havia cumprido o que foi estabelecido em lei e esta situação apresentou poucas alterações (Figura 3).

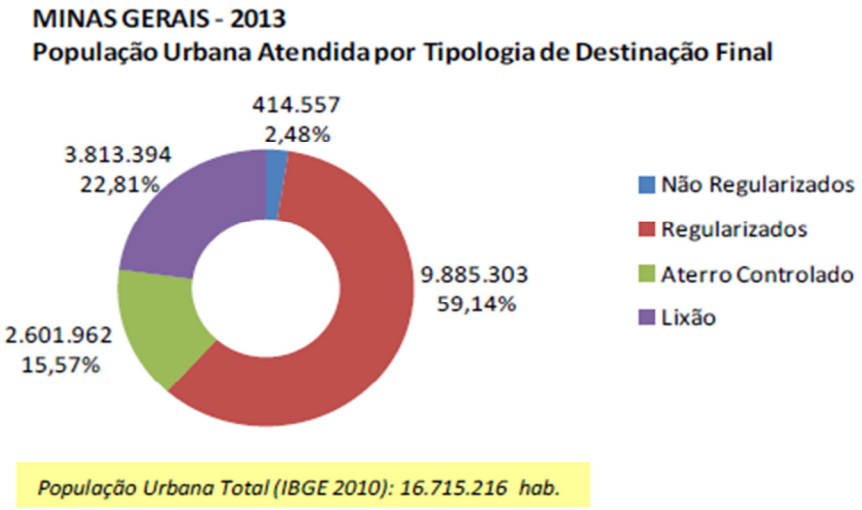



**Figura 3** - Porcentagem da população atendida por tipologia de destinação final em 2013

**Fonte:** Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM (2014). *Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais em 2013 (* p. 43). Belo Horizonte – MG.

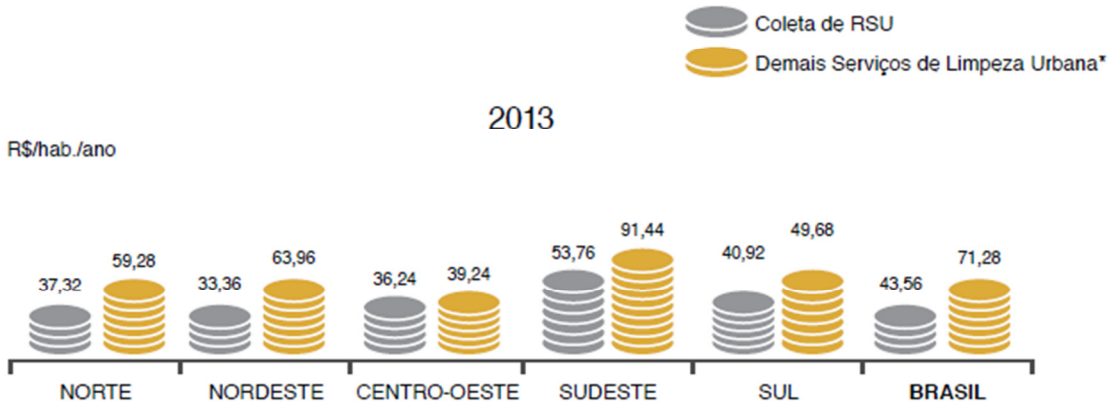
Mas a solução para os problemas de disposição dos RSU não depende apenas da União e dos estados. De acordo com o Art. 30 da Constituição Federal, cabe à administração municipal a responsabilidade pela gestão dos serviços de interesse local, como a coleta e a destinação final adequada de todo lixo gerado no município e o controle e a fiscalização do lixo domiciliar, comercial e público. E, ainda, o lixo especial, gerado nos hospitais e nas indústrias e o entulho da construção civil são, também, de corresponsabilidade das prefeituras e da fonte geradora, dependendo da legislação local. Éda competência da prefeitura o controle e a fiscalização desses serviços (Constituição, 1988).

Assim, em atenção aos dispositivos legais, o município de Belo Horizonte lançou em 29 de outubro de 2014 o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS-BH). O Plano atende as exigências da Lei 12.305/2010, sendo um instrumento legal que privilegia os aspectos técnicos, operacionais, econômicos, sociais, ambientais, de participação da população e de diretrizes e ações para a gestão ambientalmente adequada e sustentável dos resíduos sólidos.

Diante do exposto, nas leis nacional, estadual e municipal evidenciam-se uma declaração de políticas públicas no que se refere à coleta, à deposição ambientalmente correta e à necessidade da reutilização dos resíduos coletados, objetivando melhorar o meio ambiente, as finanças públicas e redução da incidência de doenças endêmicas.

### 3.3 A gestão dos resíduos sólidos e os aspectos econômicos e sociais

Para realizar os serviços de limpeza urbana no Brasil foram dispendidos, em média, cerca de R$ 52,00 por habitante/ano (Abrelpe, 2013). Na região sudeste o valor é de R$ 73,00 por habitante/ano e, neste valor, estão contemplados os custos provocados indiretamente pela má deposição de lixo nas vias públicas, a necessidade de limpeza de córregos pela deposição irregular do lixo em suas margens, pelo assoreamento de lagoas, rios e todo tipo de curso de água.




*Fontes: Pesquisa ABRELPE e IBGE*
*Notas: Incluem as despesas com a destinação final dos RSU e com serviços de varrição, capina, limpeza e manutenção de parques e jardins, limpeza de córregos, etc.*

**Figura 4** - Valores médios por habitante/ano correspondentes aos recursos aplicados na coleta de RSU e nos demais serviços de limpeza urbana
**Fonte**: ABRELPE (2013). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (p.31). São Paulo - SP.

A má gestão dos RSU tem implicações adversas não apenas nas finanças municipais e estaduais, mas também na saúde pública, sendo várias as doenças provocadas na população por vetores endêmicos como roedores, moscas, pernilongos e bactérias patogênicas. Entre as várias conseqüências, registram-se as faltas ao trabalho e a necessidade de exames médicos em razão das doenças provenientes da deposição irregurar de lixo em vias públicas e terrenos baldios. Esses fatos são conhecidos da população e documentados pela mídia.

Para Carvalho e Oliveira (1997), a quantidade de restos de alimentos existente no lixo urbano atrai uma diversidade de insetos e animais que estão a procura de comida. Estes podem ser classificados em micro e macro vetores. Dentre os micros vetores destacam-se os insetos e os roedores e, os macros vetores, os cães, gatos, aves e o homem.

Zveibil (2001) apresenta uma análise mais abrangente para identificar os diversos problemas provocados pela má gestão dos RSU:

a) físico - podem provocar assoreamento e deslizamento das encostas, devido ao seu acúmulo nas margens de cursos d'água, canais e encostas;
b) agentes biológicos - o mau acondicionamento do lixo e a disposição a céu aberto constituem em foco de proliferação de vetores transmissores de doença;
c) poluição atmosférica - causada pela queima de lixo a céu aberto e pela contaminação de lençóis d’água por substâncias químicas presentes na massa de resíduos;
d) aspectos estéticos e ao bem-estar (poluição visual) - a exposição indevida do lixo é geradora de incômodos à população, tanto pelo odor como pela poluição visual.

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) relaciona os vetores, as formas de transmissão e as enfermidades associadas a doenças provocadas pelos agentes causadores de endemias conforme demonstra a Figura 5.

| Vetores | Formas de transmissão | Enfermidades |
|---|---|---|
| Rato e pulga | Mordida, urina, fezes e picada | Leptospirose, tifo, peste bulbônica, murino |
| Mosca | Asas, patas, corpo, fezes e saliva | Febre tifóife, cólera, amebiase, Disenteria, giardíase, ascaridíase |
| Mosquito | Picada | Malária, febre amarela,, dengue, leishmaniose |
| Barata | Asas, patas, corpo, fezes | Febre tifóide, colera, giardíase |
| Gado e porco | Ingestão de carne contaminada | Teníase, cictcercose |
| Cão e gato | Urina e fezes | Toxoplasmose |
| **Microorganismo** | **Doenças** | **Tempo de sobrevivência do microorganismo (dias)** |
| **Bactérias** | | |
| *Salmonella typhi* | Febre tifóide | 29 – 70 |
| *Coliformes fecais* | Gastrointerites | 35 |
| *Leptospira* | leptospirose | 15 – 43 |
| *Mycrobacterium turbeculosis* | Turberculose | 150 – 180 |
| **Vírus** | | |
| *Enterovirus* | Poliomielite | 20v-70 |
| *Vibrio cholerae* | Coléra | 30 (até -20º C) |
| **Helmintos** | | |
| *Ascaris lumbricóides* | Ascaridíase | 2.000 – 2.500 |
| *Trichuris trichiura* | Trichiuríase | 1.800 |
| *Larvas de ancilóstomos* | Ancilostomose | 35 |
| **Protozoários** | | |
| Entamoeba amebíase | Amebíase | 8 – 12 |

**Figura 5** - Enfermidades transmitidas por microorganismos relacionadas aos resíduos sólidos

**Fonte**: Funasa (2013). *Resíduos sólidos e a saúde da comuinidade. Informações Técnicas sobre a Interrelação Saúde, Meio Ambiente e Resíduos Sólidos*. Brasilia – DF.

De acordo com Monteiro e Zeveibil (2001), uma cidade limpa prioriza o aspecto coletivo em relação ao individual e propicia orgulho aos seus habitantes, atraindo diversos benefícios para a população. Os autores explicam que os principais motivos sanitários para a manutenção da limpeza das ruas são:

a) prevenir doenças resultantes da proliferação de vetores em depósitos de lixo nas ruas ou em terrenos baldios;

b) evitar danos à saúde, resultantes da poeira em contato com os olhos, os ouvidos, o nariz e a garganta;

c) prevenir danos aos veículos, causados por impedimentos ao tráfego como galhadas e objetos cortantes;

d) promover a segurança do tráfego, pois a poeira e a terra podem causar derrapagens dos veículos, assim como, folhas e capim seco podem causar incêndios e resultar em entupimento do sistema de drenagem de águas pluviais.

Além dos aspectos sanitários apresentados, deve-se ponderar que os gases gerados em aterros sanitários têm entre seus componentes o gás metano. Este é um dos maiores geradores de gás de efeito estufa (GEE), sendo motivo de preocupação mundial. Os efeitos do gás metano sobre a atmosfera terrestre e sobre a camada de ozônio, além dos problemas ambientais, impactam a saúde pública por meio das doenças associadas à exposição aos raios solares, especialmente, em países tropicais como o Brasil.

Finalmente, destaca-se a existência dos "catadores de lixo" nas cidades brasileiras. Mesmo com o aprimoramento do sistema de coleta pública de resíduos, essa classe de trabalhadores não desapareceu e continua atuando de maneira precária, sem equipamentos de segurança e expostos ao risco diário de contaminação, transmissão de doenças e acidentes que podem ser provocados pelos resíduos cortantes.

Este cenário impõe uma mudança de paradigma em relação aos resíduos coletados nos centros urbanos, visto que é possível considerar o seu reaproveitamento e, ainda, criar novas oportunidades de negócios, de promoção e geração de renda e de empregos.

Seguindo a tipologia de Schumpeter, conforme relatado em McCraw (2007), é possível tratar o reaproveitamento do resíduo sólido como uma inovação, pois este permite a produção de novo bem a ser transacionado no mercado – energia elétrica e compostagem -, a introdução de um novo método de produção – biometalização - e a conquista de novas fontes de matérias-primas. Em outros termos, o fim dos aterros sanitários abriria espaço para uma “destruição criativa”, suprimindo uma atividade subumana,que é comum em lixões, representada pelos “catadores de lixo”, para outra mais consentânea com a dignidade humana - representada pela reciclagem de materiais e a transformação do material orgânico em energia e

compostagem. Portanto, faz-se necessário investigar se a introdução dos novos produtos pode ser justificada sob o ponto de vista econômico-financeiro.

### 3.4 A situação dos resíduos sólidos de Belo Horizonte-MG

O manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos revela que a principal preocupação relacionada aos volumes produzidos de resíduos "deve ser com o manejo e a gestão integrada correspondente e com os procedimentos que devem fazer parte das políticas de gerenciamento, com a finalidade de evitar problemas irreversíveis ao meio ambiente e aos seres humanos" (IBAM, 2001, p. 8).

As autoridades municipais e órgãos públicos, que tratam do gerenciamento dos resíduos gerados em Belo Horizonte, estão cientes destes problemas, o que pode ser comprovado pela Lei n° 10.534, de 10 de setembro de 2012 (2012, p. 1), que "dispõe sobre a limpeza urbana, seus serviços e o manejo de resíduos sólidos urbanos no Município e dá outras providências". Porém, devido aos crescentes volumes que são coletados, os problemas da gestão se tornam preocupantes, sobressaindo-se os seguintes fatores:

a) aumento da população economicamente ativa e crescimento de consumo pessoal de bens e serviços, gerando, como conseqüência, maior volume de resíduos (IBGE, 2010; Abrelpe , 2013);
b) dificuldade de encontrar áreas, no município de Belo Horizonte, que, ambientalmente, possam ser disponibilizadas para instalação de aterros sanitários;
c) aumento da distância entre os locais de geração de resíduos até sua disposição final, elevando o custo de transporte;
d) dificuldades do poder público em implementar uma política realista de tarifas para a coleta e ao incipiente mercado de recicláveis em Belo Horizonte, que representa menos de 1% do total dos resíduos gerados e com possibilidades de reciclagem.

De acordo com a coordenadora do CMRR - Centro Mineiro de Referência em Resíduos, Camila de Couto Seixas, o crescimento da produção de lixo reduz o

tempo de uso dos aterros sanitários e representa um problema para a capital mineira. Segunda ela, o aterro sanitário público de BH inaugurado em 1975 esgotou sua operação há sete anos. E desde 2008, a capital envia o lixo para o aterro de Macaúbas/Sabará, amparado em um contrato válido por 25 anos, ao custo de R$ 94,3 milhões ao ano.

Reportagem veiculada no jornal “O Estado de Minas”, assinada por Ayer e Oliveira, (2014), ilustra a dimensão financeira envolvida na geração, coleta e aterramento dos resíduos gerados no município de Belo Horizonte. Segundo os articulistas eram dispendidos R$ 76 milhões por ano para a coleta e destinação do lixo domiciliar em Belo Horizonte, sendo que o custo de coleta por tonelada é de R$ 86,00 e de aterramento R$ 35,00.

Segundo dados fornecidos pelo Serviço de Limpeza Urbana (SLU, 2015) a quantidade de resíduos sólidos urbanos destinados a aterragem em 2014 foi de 828.157 toneladas, somados os volumes de resíduos sólidos urbanos de origem doméstica e de poda verde. Considerando estas informações, observa-se que a média de resíduos produzidos neste período é de 0,85 kg habitante/dia (Tabela 1).

**Tabela 1**

Histórico da evolução da destinação dos resíduos sólidos – Toneladas/ano

| HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DA DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS – TONELADAS/ANO | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DESTINAÇÃO** | **2005** | **2006** | **2007** | **2008** | **2009** | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** |
| Aterragem RCC | 211.816 | 318.475 | 664.332 | 883.556 | 791.912 | 297.737 | 299.891 | 617.101 | 345.745 | 354.909 |
| Aterragem RSS | 13.225 | 13.308 | 13.712 | 15.223 | 12.219 | 11.663 | 10.277 | 10.653 | 11.298 | 9.169 |
| Aterragem RSU | 966.377 | 930.521 | 940.165 | 1.240.908 | 1.335.556 | 1.041.166 | 1.062.874 | 986.960 | 917.362 | 828.158 |
| **Subtotal Aterragem** | **1.191.418** | **1.262.304** | **1.618.209** | **2.139.687** | **2.139.687** | **1.350.565** | **1.373.042** | **1.614.714** | **1.274.406** | **1.192.235** |
| Col. Seletiva PMPV RSU | 7.298 | 6.782 | 8.168 | 9.900 | 6.587 | 6.851 | 7.305 | 7.488 | 7.238 | 6.637 |
| **Subtotal Col. Seletiva PMPV** | **7.298** | **6.782** | **8.168** | **9.900** | **6.587** | **6.851** | **7.305** | **7.488** | **7.238** | **6.637** |
| Reciclagem Org. RDO | 1.316 | 1.388 | 1.492 | 1.439 | 1.732 | 3.288 | 3.026 | 3.037 | 2.964 | 2.525 |
| Reciclagem Org. RPO | - | - | - | - | 1.087 | 863 | 637 | 619 | 724 | 261 |
| **Subtotal Reciclagem Org.** | **1.316** | **1.388** | **1.492** | **1.439** | **2.820** | **4.152** | **3.664** | **3.656** | **3.687** | **2.786** |
| Reciclagem RCC | 104.783 | 63.501 | 91.379 | 132.934 | 104.854 | 136.424 | 102.115 | 103.252 | 45.820 | 49.839 |
| **Subtotal Reciclagem RCC** | 104.783 | 63.501 | 91.379 | 132.934 | 104.854 | 136.424 | 102.115 | 103.252 | 45.820 | 49.839 |
| **Total Geral** | **1.304.814** | **1.333.976** | **1.719.248** | **2.283.959** | **2.253.947** | **1.497.992** | **1.486.125** | **1.729.110** | **1.331.151** | **1.251.498** |

**Legenda**: RCC – Resíduos de construção civil
RDO – Resíduos domiciliares
RPO – Resíduos de poda
RPU – Resíduos públicos
RSS – Resíduos de serviço de saúde
RSU – Resíduos sólidos urbanos

**Nota:** 1) Os valores de resíduos de coleta seletiva anteriores a 2009 incluem parcela de residuos coletados por catadores cooperados somados à massa de resíduos de coleta seletiva pública.
2) A partir de 2009 a massa registrada na coleta seletiva considera unicamente a coleta pública.
3) Aterragem: áreas de destinação final: CTRS BR040; CTR Macaúbas (RSU) e ATT Maquiné (inertes e resíduos volumosos)

**Fonte:** Adaptado da Superintência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Diretoria de Planejamento e Gestão (2015)

A Central de Tratamento de Resíduos Macaúbas, no município de Sabará (CTR Macaúbas) está em operação desde 2005, com sua vida útil projetada para 20 anos. Todavia, com o aumento da geração de resíduos, houve a necessidade de ampliação do aterro. De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de Setembro de 2004, o empreendimento se enquadra nas atividades principais F-05-12-6 (aterro para resíduos não perigosos - classe II, de origem industrial), E-03-07-7 (tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos) e E-03-02-6 (canais para drenagem), sendo categorizado como classe 6 (Parecer Único n. 169/2013 [SIAM] - Licenciamento Ambiental 0543/2001/006/2012).

Além de Belo Horizonte, os municípios de Pedro Leopoldo, Lagoa Santa, Itaguara, Ibirité e Matozinhos enviam RSU para o aterro de Macaúbas. Os RSU da capital mineira representam dois terços de todo o volume diário depositados no aterro, cujo histórico pode ser visto na Tabela 2.

**Tabela 2**

Histórico da destinação de resíduos ao aterro de Macaúbas - Toneladas/Ano

| Ano | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RSU | 240.645 | 58.461 | 1.252.008 | 1.050.560 | 1.056.922 | 1.000.170 | 909.822 | 821.863 |

**Fonte:** SLU. Diretoria de Planejamento e Gestão.

"*Not in my back yard*" (NIMBY) é a expressão americana que, na tradução livre, significa "não em meu terreiro". Essa é uma atitude tomada por várias comunidades contrárias à deposição de resíduos dos grandes centros urbanos próximos a sua cidade, e como seria de se esperar há resistências e indignação da população de Sabará quanto ao funcionamento deste aterro sanitário.

De acordo com a administração municipal de Sabará, a obrigação de cuidar dos resíduos deveria ser da cidade onde são gerados. Esta preocupação da municipalidade e da população local fica claramente expressa pelos editoriais do jornal “Estado de Minas” em diversas reportagens. O prefeito de Sabará declara que

> [...] o Bairro Capitão Eduardo, em Belo Horizonte, não quis o aterro; Itaúna (Centro-Oeste de Minas) e Esmeraldas (Grande BH) também recusaram. O empreendimento acabou vindo para Sabará. Mas não queremos que nossa

> cidade se transforme no depósito de lixo da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Já somos o destino do esgoto de toda a região, uma vez que a cidade recebe águas do Ribeirão Arrudas, que é o destino da maior parte do esgoto da capital (Ayer & Oliveira, 2011).

A comunidade local também reclama da infestação de ratos provocada pela proximidade do aterro:

> [...] antes, diz a moradora, "não havia problemas com ratos, considerados excelentes nadadores, principalmente os de maior porte". A vizinha Maria Cândida, uma costureira de 42 anos, faz a mesma reclamação: "Minha casa chegou a ser infestada pelos ratos. Conversei com um médico, que me mandou queimar tudo com que eles tiveram contato na casa".Perdi quilos de tecido", afirma. Na Escola Municipal Vereador José Lopes, a única do bairro, a direção também reclama da presença de ratos na região (Macedo, 2013).

Os resíduos coletados em Belo Horizonte são, em sua grande maioria, acondicionados em sacolas plásticas, de toda natureza de forma indiferenciada e sendo acondicionados sem nenhuma separação prévia entre os resíduos da fração orgânica dos resíduos recicláveis. Alem disso está havendo uma mudança cultural , sendo exemplos de atitudes modificadoras o consumo de alimentos congelados e embalados ao invés de alimentos *in natura* e é crescente o uso de embalagens plásticas para diversos produtos de consumo em substiuição às de vidro. O uso intensivo de computadores que utilizam grande quantidade de papel para reprografia são um dos exemplos de atitudes modificadoras que favorecem alteração na composição do lixo.

O sistema de coleta seletiva no município não alcança a totalidade da população, visto que em 2011, conforme dados disponibilizados pelo Serviço de Limpeza Urbana (SLU), somente 30 dos 324 bairros eram atendidos, beneficiando, aproximadamente, 354 mil pessoas, o que corresponde a apenas 15% da população de Belo Horizonte (Ayer & Oliveira, 2011).

A coleta municipal seletiva, a coleta realizada por catadores independentes e a coleta feita pelos catadores da Associação de Catadores não alcança o percentual de 1% do total dos resíduos recicláveis gerados. Observa-se a concordância das

políticas públicas com relação a essa situação, pois, muitos desses catadores, têm na coleta e venda de resíduos recicláveis a única maneira de sobreviver.

Os resíduos orgânicos de origem doméstico são normalmente recolhidos e tratados como parte dos resíduos sólidos urbanos mistos (RSU). O papel, o metal, o vidro e o plástico, quando separados pelos moradores e recolhidos no domicílio ou estabelecimento comercial por caminhão baú, carrinho de mão motorizado ou caminhão compactador, são destinados as associações ou cooperativas de catadores (Ayer & Oliveira, 2011).

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares de Belo Horizonte está apresentada na Tabela 4. Pode-se verificar que os componentes orgânicos putrescíveis representam 61,59% do total, sendo que destes 40,55% são constituídos de resíduos alimentares (Tabela 3).

**Tabela 3**
Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos domiciliares de Belo Horizonte

| **Materiais** | **Componentes** | | | | **Total** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Orgânicos** | Resíduos alimentares 40,55% | Podas 9,05% | 7,77% | Fezes 4,22% | **61,59%** |
| **Papel/Papelão** | Papelão 1,13% | 4,99% | Embalagem longa vida 1,10% | Papel misto 2,31% | **9,53%** |
| **Vidros** | Recicláveis 2,63% | Não recicláveis 0,22% | - | - | **2,85%** |
| **Plásticos** | Filme 2,35% | Rígido 2,47% | PET 1,14% | Filme (sujo 4,93% | **10,89%** |
| **Metais** | Ferroso 1,75% | Não ferrosos 0,54% | - | - | **2,29%** |
| **Construção civil** | Entulho 2,85% | Espuma, isopor, cerâmica 0,65% | Madeira, couro e borracha 4,04% | - | **7,54%** |
| **Resíduos perigosos** | Domésticos 0,18% | Serviço de saúde 0,27% | Automotivos 0,26% | - | **0,71%** |
| **Rejeitos** | Rejeitos 4,60% | - | - | - | **4,60%** |
| **Total** | | | | | **100,00%** |

**Fonte:** Serviço de Limpeza Urbana. (2004). *Relatório final da caracterização dos resíduos sólidos de Belo Horizonte* (p.9). Belo Horizonte – MG.

Estes resíduos alimentares , que atualmente não tem qualquer utilidade, constituem o principal responsável pela saturação do aterro sanitário. Contudo, com o manejo adequado podem ser transformados em produtos que têm valor econômico, e o seu processamento evitará uma série de efeitos perversos na natureza e na saúde humana, de acordo com as discussões apresentadas anteriormente.

Isto posto, no capítulo seguinte serão elencadas formas e tecnologias disponíveis para o reaproveitamento dos RSU, e detalhado o projeto piloto que é capaz de transformar resíduos alimentares em energia e produto de compostagem.

# 4 Caracterização do Empreendimento

## 4.1 Tecnologias disponíveis para disposição final ou para reaproveitamento energético dos RSU

Muitos países desenvolvidos devido ao grande volume de resíduos produzidos, escassez de áreas para sua destinação final, exigências ambientais e da maior conscientização de suas populações passaram a dar uma maior atenção ao reaproveitamento energético e aos produtos reciclados na cadeia produtiva de novos produtos. Esses países criaram legislações que permitiram implantar, progressivamente, os avanços tecnológicos de reaproveitamento dos resíduos gerados.

Existem diversas tecnologias que podem ser utilizadas para o tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos. A Figuras 6 e 7 ilustram as tecnologias mais utilizadas, sendo que as rotas tecnológicas de destinação dos RSU devem ser analisadas em função de fatores técnicos, econômicos e de políticas municipais. A definição do modo mais racional da rota tecnológica para cada municipalidade deve conter uma análise pormenorizada de cada um dos aspectos, pois, é dessa análise que defini-se a alternativa mais apropriada para a implantação de um projeto de reaproveitamento dos resíduos.

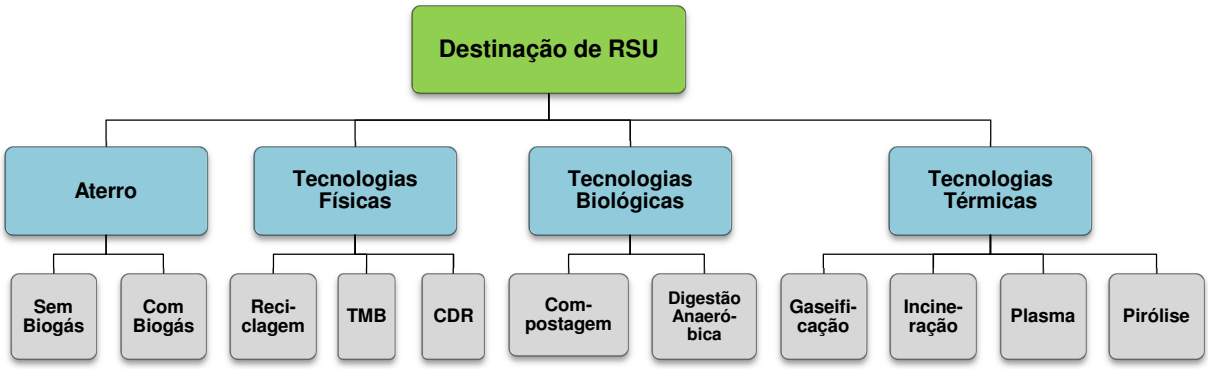



**Figura 6 -** Rotas tecnológicas para destinação de RSU
**Fonte**: Elaborada pelo autor

| Sistemas básicos | Processos | Evolução | Produtos | Inovação |
|---|---|---|---|---|
| Triagem | Físico | Coleta seletiva e tratamento mecânico biológico (MBT) | Matéria-prima para reciclagem e energia | Waste to Reourses (WTR) Waste to Energy (WTE) |
| Tratamento biológico | Biológico | Biodigestores anaeróbios compostagem | Composto orgânico e energia | Agricultura e Waste to Energy (WTE) |
| Incineração | Físico-químico | Tratamento térmico | Vapor e energia elétrica | Waste to Energy (WTE) |
| Aterros sanitários | Físico, químico e biológico | Reator anaeróbio tratamento da M. Orgânica | Biogás (energia) e lixiviado | Waste to Energy (WTE) Fertilizantes |

**Figura 7 -** Tecnologias disponíveis para tratamento dos resíduos sólidos urbanos
**Fonte:** Jucá, J. F. T. *et al. (*2012). Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Pesquisa Científica (p.46). BNDES FEP Nº 02/2010, Rio de Janeiro – RJ.

### 4.1.1 Aterro sanitário

A deposição em aterro é o principal método utilizado na destinação dos SRU pelo serviço de limpeza urbana em Belo Horizonte. Por serem obras de engenharia, a Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define aterro sanitário como sendo:

> [...] disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos na menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada trabalho, ou intervalos menores, se necessário (NBR 8419, 1992, p. 1).

De acordo com a estimativa de custos para destinação adequada de RSU no Brasil (Abrelpe, 2013) há uma enorme demanda por aterros adequados em todo o Brasil, devido ao aumento do volume de resíduos sólidos municipais e às exigências legais de substituição dos lixões a céu aberto. A implantação de novos aterros é premente, uma vez que os que estão em operação atingiram seu limite de capacidade.

Os aterros sanitários podem ser implantados com ou sem geração de biogás. Este é produzido pelo processo de decomposição natural de resíduos em um ambiente sem

a presença de oxigênio. Ele é composto, principalmente, por dióxido de carbono e metano. Caso o modelo definido seja pelo aproveitamento de biogás, isto deve ser previsto na fase de desenvolvimento do projeto de aterro.

O operador do aterro sanitário tem por opções para destinação do biogás a queima do gás em flares, ou a produção de energia para uso próprio ou venda. Mas, destaca-se que um dos problemas para investimento em recuperação de biogás em aterro sanitário é percebido no decaimento, ou seja, a sua geração é maior nos primeiros anos, depois, diminui com o passar do tempo (FADE, 2014)

Os aterros sanitários exigem vários cuidados para sua implantação, operação, manutenção e monitoramento:

a) grande investimento inicial para sua implantação, pela necessidade de compra de área apropriada para atender as exigências ambientais e que, em geral, ficam distantes do centro urbano;
b) deposição em aterro provoca a inutilização, por um longo período, de grandes áreas próximas às cidades, não podendo ter outra utilização, a não ser para cobertura verde;
c) superfície de terreno utilizada, que é maior que a necessária, quando comparado com outros métodos de gestão dos resíduos;
d) tempo de utilização limitado pelo esgotamento, exigindo a procura de outras áreas para implantação de novo aterro;
e) elevado custo operacional, pela necessidade de investimento em equipamentos como retroescavadeiras, tratores para movimentação, espalhamento e compactação das camadas dos resíduos;
f) risco de poluição de mananciais subterrâneos, devido a vazamento ou percolação de chorume pela falha no tapete plástico. O chorume é um líquido altamente poluente e mal cheiroso;
g) necessidade de queima permanente dos gases emanados pelos drenos, principalmente do gás metano que é 23 vezes mais potente que o dióxido de carbono ao promover alterações climáticas - como o Gás do Efeito Estufa (GEE);

h) o plástico contido nos resíduos não é biodegradável, ele permanece incólume, criando bolsões de gases e condições que favorecem os deslizamentos das camadas componentes do aterro;

i) custo de transporte muito elevado, em virtude do baixo peso específico do lixo e das crescentes distâncias para sua coleta e deposição final;

j) resistência dos moradores nas cercanías do aterro que, muitas vezes, por não serem ouvidos e devidamente esclarecidos quanto ao problema, acabam por criar impasses desgastantes para a administração municipal; e

k) os aterros podem ser uma fonte de perturbações para as áreas limítrofes, por gerarem bioaerossóis, odores e perturbações visuais.

### 4.1.2 Tecnologias físicas

#### 4.1.2.1 Reciclagem

A reciclagem é a reutilização de materiais que já foram descartados. Consiste no aproveitamento e na transformação de resíduos, por meio do seu retorno às indústrias recicladoras, para serem beneficiados e, novamente, transformados em produtos comercializáveis. Para que a reciclagem seja de fato eficiente é necessário que os materiais recicláveis sejam separados da matéria orgânica, preferencialmente na origem. A coleta pode ser feita de forma indiferenciada, quando o gerador disponibiliza os resíduos sem nenhuma separação prévia e, diferenciada, consequência da separação prévia feito pelo próprio gerador (FADE, 2014) .

Para que um programa de coleta seletiva seja eficiente é necessário que, no mínimo, que tenha escala de produção, regularidade na entrega (separação) e na coleta, e um mercado para reaproveitamento desses materiais. O custo do beneficiamento da maioria dos materiais recicláveis ainda é considerado elevado em relação ao custo de matéria-prima virgem. Sua importância está relacionada à redução do uso de recursos naturais e insumos nos processos industriais, contemplando uma inovação tecnológica denominada “Recuperação de Materiais” (*Waste To Resources* - WTR).

A instalação, operação e manutenção de uma unidade de triagem, no Brasil, ainda tem custos superiores às receitas auferidas com a venda do material beneficiado. Este tratamento requer um modelo de gestão que esteja atento às necessidades de mercado, ao avanço das tecnologias de aproveitamento de novos materiais e à complexidade dos diferentes setores envolvidos no processo, como trabalhadores, intermediários e indústrias recicladoras.

4.1.2.2 Tratamento mecânico biológico (TMB)

As unidades de triagem evoluíram para tecnologias mais recentes como os tratamentos mecânicos-biológicos (TMB), cujos produtos são matérias-primas para reciclagem de inorgânicos e compostos orgânicos por meio de técnicas que combinam o tratamento biológico com o tratamento mecânico (triagem). O termo refere-se ao pré-tratamento de resíduos mistos, com o objetivo de produzir insumos mais estáveis para os aterros, ou um produto com propriedades de combustão melhoradas para os recicláveis. Por ser o TMB com digestão anaeróbia, gerador de biogás, pode também ser entendido como um processo de valorização energética (FADE, 2014).

Os resíduos combustíveis separados no processo podem ser depois incinerados devido ao seu potencial de valorização energética. Uma vez que, a maioria das emissões das operações de tratamento mecânico-biológico, é resultante do tratamento biológico dos resíduos biodegradáveis, as emissões para a atmosfera são similares às da compostagem ou da digestão anaeróbia. O processo de triagem apresenta as seguuintes vantagens:

a) redução na quantidade de resíduos destinado a tratamento ou disposição final em aterros sanitários;
b) menor consumo de matérias-primas;
c) menor consumo de energia e de insumos; e
d) redução da poluição ambiental para produção de novos insumos.

Por desvantagens a triagem apresenta:

a) as despesas são, em geral, maiores que os recursos advindos da venda de produtos. Isto é, as vendas dos materiais recicláveis e de composto são insuficientes para suprir as despesas operacionais;

b) os custos financeiros do investimento são maiores do que em um processo de tratamento e destinação de resíduos sem a triagem prévia; e

c) este tratamento requer um modelo de gestão que esteja atento às necessidades de mercado, ao avanço das tecnologias de aproveitamento de novos materiais, além da complexidade dos diferentes trabalhadores, intermediários e setores da indústria envolvidos.

4.1.2.3 Combustível derivado de resíduo (CDR)

O CDR é produzido a partir de uma série de estágios de classificação e remoção magnética de materiais ferrosos e não ferrosos e materiais de baixo poder calorífico, resultando em uma fração mais homogênea e de alto poder calorífico. O processo tem por finalidade produzir um combustível de maior poder calorífico composto basicamente por materiais plásticos, papéis e papelões não reciclados, madeiras, panos e frações orgânicas (FADE, 2014; FEAM, 2012).

Com a utilização de equipamentos de retirada de umidade contido nos RSU é possível aumentar o poder calorífico do CDR. Por isso, pode-se utilizar esse material em fornos industriais de cimenteiras ou em incineradores para a geração de energia. Esta tecnologia apresenta as seguintes vantagens:

d) o subproduto desse processo são os materiais recicláveis que podem ser resgatados durante a triagem; e

e) o resíduo orgânico resultante da triagem é utilizado em processos biológicos como a Digestão Anaeróbica e Compostagem.

Por desvantagens, apresenta:

a) o CDR é um combustível com menor poder calorífico que outros mais comuns no mercado como o carvão e o coque. Portanto, alguns processos industriais têm um limite baixo para a porcentagem de CDR a ser utilizado e, ainda, aumentam a complexidade de operação;

b) apresenta maior custo com a operação do aterro, pois, somente a parte dos resíduos recicláveis é utilizada para a produção de CDR, sendo o restante, aterrados; e

c) o custo do aterro e superior ao custo de operação das máquinas de triagem do CDR (FADE, 2014).

### 4.1.3 Tecnologias biológicas

#### 4.1.3.1 Tratamento biológico

É o processo de tratamento da matéria orgânica biodegradável, na qual se intensifica a ação de microrganismos visando à estabilização e oxidação dessa matéria. Havendo a presença de oxigênio livre, os processos são aeróbios. Na ausência do oxigênio livre, os processos são anaeróbios. Aplica-se aos resíduos orgânicos biodegradáveis, podendo ser originários de atividades industriais, domésticas, comerciais e rurais, como: restos de alimentos e poda, madeiras, papéis, papelão A compostagem, a digestão anaeróbia e o tratamento mecânico biológico também produzem emissões (incluindo os gases de efeito estufa CH4, N2O e CO2). Após a estabilização via tratamento biológico, o material resultante liga o carbono de ciclo de vida curto por um tempo limitado. Estima-se que, numa escala temporal de 100 anos, cerca de 8% da matéria orgânica presente no composto permanecerá no solo sobre a forma de húmus40.

Os benefícios agrícolas da utilização de composto são evidentes, mas a sua quantificação adequada é objeto de debate (por exemplo, em comparação com outras fontes para correção de solos), enquanto o principal risco é a poluição dos solos por composto de má qualidade. Dado que os bio-resíduos são facilmente contaminados durante a coleta de resíduos mistos, a sua utilização pode resultar na acumulação de substâncias perigosas nos solos e nas plantas. Entre os contaminantes típicos do composto contam-se os metais pesados e as impurezas

(por exemplo, vidros partidos), mas existe também um potencial risco de contaminação por substâncias orgânicas persistentes como os PCDD/F, PCB ou PAH (FADE, 2014; FEAM, 2012).

4.1.3.2 Compostagem

A compostagem é um processo biológico de decomposição aeróbia (processo de decomposição na presença de oxigênio) da matéria orgânica contida em resíduos de origem animal ou vegetal. Como resultado, os resíduos orgânicos são transformados em composto rico em húmus e nutrientes minerais (fertilizante orgânico). Durante o processo de compostagem aeróbia, estão ativos diversos micro-organismos. Predominam nas primeiras fases do processo as bactérias mesofílicas e, quando a temperatura do composto aumenta, bactérias termofílicas (FADE, 2014, FEAM, 2012).

A alternativa da digestão aeróbica tem sido apontada como a que traz maiores vantagens para a decomposição da fração orgânica do lixo. Essa opção demanda tecnologia de processo relativamente complexo e controle em todas as suas fases. Estão disponíveis várias técnicas que aceleram o processo de compostagem, tais como: adição de biocatalisador, introdução de bactéria ou produto químico que auxilie no processo de decomposição do resíduo orgânico, aumento da umidade do composto, aumento da temperatura do local da compostagem e implementação de um processo de movimentação, que permita revirar os resíduos orgânicos esporadicamente (FADE, 2014, FEAM, 2012)

Para que o processo de compostagem seja economicamente viável é necessário que haja um mercado disposto a adquirir o composto orgânico por um preço que tenha um retorno que cubra os custos de sua produção. Também se observa a baixa escala nas plantas de compostagem, ou seja, a tecnologia não é utilizada com frequência para grandes quantidades de RSU. O principal motivo que torna o fertilizante orgânico onero é o custo do transporte, pois ele pesa cerca de 15 a 20 vezes mais que o fertilizante químico (FADE, 2014, FEAM, 2012).

4.1.3.3 Digestão anaeróbica

A digestão anaeróbica é conhecida e amplamente utilizada em vários países, principalmente na Alemanha e na Dinamarca, sendo que os principais detentores da tecnologia do processo são as empresas, Valorga (França), Dranco (Bélgica) e Kompogas (Suíça).

Ela é especialmente adequada para o tratamento de bio-resíduos úmidos, incluindo gorduras (por exemplo, resíduos de cozinha) e sua utilização como biocombustível produz uma mistura de gases (principalmente metano, entre 50 a 75%; e dióxido de carbono) em reatores controlados. O biogás é considerado uma fonte alternativa para geração de calor e de vapor e, por consequência, cogerador de energia elétrica e energia térmica. Para a produção em larga escala de biogás, com base em resíduos orgânicos, é necessario a construção de uma planta industrial específica para este processo. Em função da linha de processo, pode ser necessária a adição de biocatalisadores aos resíduos orgânicos com a finalidade de acelerar e aumentar a geração de biogás. Uma vantagem da digestão anaeróbica é que esta é uma tecnologia limpa sustentável no longo prazo, uma vez que, a matéria orgânica é reaproveitada como energia e como fertilizante orgânico (FADE, 2014, FEAM, 2012).

### 4.1.4 Tecnologias térmicas

As tecnologias térmicas utilizam o calor como forma de recuperar, separar ou neutralizar determinadas substâncias presentes nos resíduos, reduzir massa e volume ou, ainda, produzir energia térmica e energia elétrica. Aplica-se a resíduos que tenham em sua composição química os elementos carbono e hidrogênio, podendo ser originários de atividades industriais, domésticas, comerciais e rurais. Atualmente, as principais tecnologias de tratamento térmico de resíduos, com aproveitamento energético, são a incineração, a pirólise, a gaseificação, o plasma e o coprocessamento em forno de clínquer. Em uma planta dedicada aos RSU, a princípio, qualquer resíduo compatível a este pode ser tratado em conjunto, independente de sua origem, desde que contemplados e aprovados no processo de regularização ambiental (FADE/UFPE, 2014, FEAM,2012).

#### 4.1.4.1 Gaseificação

É o processo que utiliza calor, pressão e vapor para obter por intermédio dos resíduos, a reação de carbono com o vapor para produzir hidrogênio e monóxido de carbono. Neste processo, ocorre a conversão da matéria-prima sólida ou líquida em gás por meio de oxidação parcial sob a aplicação de calor.

Os gaseificadores são recipientes revestidos com material refratário e o processo ocorre a temperaturas de, aproximadamente, 850°C, sob condições de pressão atmosférica ou sob elevada pressão, produzindo syngas (Cortez, Lora & Gómez, 2009).

Os sistemas de tratamento/controle das emissões atmosféricas devem contemplar os principais problemas a respeito dos gases de gaseificação: material particulado (causa a erosão das palhetas das turbinas a gás), metais alcalinos (devido a corrosão e deposição nas palhetas) e o alcatrão (causa o bloqueio dos filtros de particulados) (FADE, 2014, FEAM, 2012).

#### 4.1.4.2 Incineração - Mass burning

A tecnologia da incineração caracteriza-se pelo seu processo. Ela gera altas temperaturas pelo reaproveitamento do poder calorífico contido nos resíduos sólidos, orgânicos e inorgânicos. Por gerar altas temperaturas pode ser usado como combustível para a geração de vapor superaquecido em caldeiras de recuperação de calor e produção de energia elétrica e energia térmica (FADE, 2014, FEAM, 2012)

É um processo mais racional para reaproveitamento da energia contida nos componentes orgânicos e não orgânicos. Cada tonelada de lixo pode gerar cerca de 500 kWh de energia elétrica, quantidade equivalente à energia gerada por 200 kg de petróleo (Porteous, 2005).

Os principais poluentes resultantes do tratamento térmico de resíduos domiciliares são:

a) gases ácidos, tais como: ácido clorídrico, ácido fluorídrico e dióxido de enxofre. E, ainda, gases como óxidos de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO2). Estes útimos devem ser removidos pelos sistemas de limpeza dos gases;

b) metais, em particular, cádmio, mercúrio, arsênico, vanádio, cromo, cobalto, cobre, chumbo, manganês, níquel e tálio;

c) substâncias orgânicas como as dioxinas que são os poluentes orgânicos que motivam as maiores preocupações. Este nome é dado a um grupo de 210 compostos químicos organoclorados similares, altamente tóxico, carcinogênico e teratogênico;

d) materiais particulados ou partículas finas, que quase sempre são materiais inorgânicos como Sílica, frequentemente com metais e compostos orgânicos em suas superfícies (FADE, 2014, FEAM, 2012)

O processo de incineração apresenta algumas vantagens:

a) otimiza a logística de transporte;

b) produz vapor e energia elétrica com mais eficiência se comparada a outros métodos de disposição de resíduos;

c) trata os resíduos na condição que são coletados;

d) reduzi o volume e a massa dos resíduos após tratamento (90% e 75%, respectivamente), aumentando a vida útil dos aterros.

Grandes avanços tecnológicos têm permitido ganhos no controle da qualidade do ar a partir da queima dos resíduos,mediante ao uso de processos de múltiplos estágios de tratamento das emissões gasosas da combustão com obtenção de alto rendimento de controle ambiental (trata mais de 99% das emissões gasosas).

O processo de incinaeração é uma solução de saneamento básico, em que são evitados os efeitos indesejáveis característicos da disposição inadequada de resíduos em lixões e aterros controlados, tais como: transmissão de doenças, geração de gás metano, formação de efluentes líquidos, contaminação do solo e dos lençóis d'água, odores indesejáveis, ocupação indevida do solo e passivos ambientais significativos. Ademais, é uma solução consistente com os objetivos e

diretrizes da PNRS, pois gera empregos diretos e indiretos qualificados, agregando benefícios sociais locais quando integrada com plantas industriais que utilizam a energia elétrica produzida (FADE, 2014, FEAM, 2012).

#### 4.1.4.3 Plasma

O plasma é uma tecnologia recente e pouco utilizada. O processo utiliza gás ionizado, gerado por um arco elétrico, entre 5.000°C a 8000ºC, em um ambiente sem oxigênio e que desconstitui a matéria em sua forma elementar básica no estado gasoso e sólido (Engebio, 2010, FADE, 2014, FEAM, 2012).

O processo tem como resultado a produção de gáses decompostos e parcialmente oxidados para produzir um gás combustível limpo, entre 1.200°C a 1.400°C, tendo basicamente syngas. Ele emite pouquíssimos poluentes e reduz a massa dos resíduos sólidos em até 99%, o que, do ponto de vista de sustentabilidade, é muito positivo. Os materiais inorgânicos são transformados em uma escória vítrea e apresentam potencial de uso em uma variedade de aplicações, tais como a construção de leito de estradas e os materiais de cobertura.

Os altos custos associados à tecnologia, a pequena escala das poucas plantas existentes e o elevado custo de operação são os principais motivos que tornam a tecnologia de plasma pouco usual para o tratamento de RSU comuns. Atualmente, 90% dos resíduos processados nas usinas de plasma são "resíduos especiais" - resíduos com alta periculosidade e que precisam passar por algum tratamento especial antes de ser aterrado (FADE, 2014; FEAM, 2012 ).

#### 4.1.4.4 Pirólese

A pirólise é um processo de decomposição térmica, com ausência de oxigênio, por fonte externa de calor que converte a matéria orgânica em diversos subprodutos. O balanço energético do sistema é sempre positivo, pois produz mais energia do que consome e a redução em volume alcança 90%.

No final do processo pirolítico ocorrem:

. Gases não condensáveis - compostos principalmente por nitrogênio e gás de sintético (syngas). Basicamente, uma mistura de dióxido de carbono, hidrocarbonetos (CnHm) e, principalmente, monóxido de carbono e hidrogênio;

. Líquido pirolenhoso - obtido pela condensação dos gases que se desprendem durante o processo. Apresentam baixo teor de enxofre e é composto por ácido pirolenhoso (ácido acético, metanol, alcatrão solúvel e outros vários compostos em menor quantidade) e alcatrão insolúvel. O líquido pirolenhoso é corrosivo, nocivo e altamente poluente. Este pode ser gaseificado ou refinado para uso energético e, dependendo da concentração de alcatrão e outros compostos tóxicos, pode ser utilizado na agricultura;

. Resíduo sólido - constituído por carbono quase puro (char) e, ainda, por vidros, metais e outros materiais inertes (escória), caso estejam presentes no RSU processado. A matéria resultante nos estados líquido e gasoso pode ser usada para a produção de vapor utilizando trocadores de calor e caldeiras, ou queimados em caldeiras, turbinas a gás ou motores de combustão interna para a geração de eletricidade ou destinados à fabricação de produtos químicos após serem resfriados e filtrados para limpeza em sistema de controle de emissão (FADE, 2014).

## 4.2 A tecnologia proposta para o reaproveitamento dos resíduos orgânicos de Belo Horizonte

### 4.2.1 WTE - Waste to Energy - aproveitamento energético de resíduos sólidos

O tratamento de RSU por processos de recuperação energética é previsto pela legislação brasileira por meio da Lei Federal n. 12.305/2010, em seu art. 9°, §1°: "Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica ambiental e, com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovados pelo órgão ambiental".

O processo *waste to energy* (WTE) encontra-se bem estabelecido em alguns países, mas, no Brasil, a técnica não tem sido aplicada para a obtenção de energia. Embora

as vantagens do processo WTE sejam significativas, deve-se ter atenção aos seguintes aspectos:

a) os custos de investimento e operação das usinas WTE apresenta dificuldades para os países em desenvolvimento. Isso ocorre devido aos custos iniciais de implantação, mas que podem ser compensados com a venda de energia; e
b) a operação de uma WTE demanda mão de obra especializada.

Portanto, as características do setor de energia são importantes nos projetos WTE, sendo desejáveis acordos sobre os preços de fornecimento de energia elétrica e energia térmica no longo prazo e na avaliação cuidadosa dos riscos para a sua implantação. O recente fato de que os projetos de usinas WTE, nos países em desenvolvimento, possam ser enquadrados no MDL - mecanismo de flexibilização criado pelo protocolo de Kyoto para auxiliar o processo de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) ou de captura de carbono (ou sequestro de carbono) -, oferece a possibilidade de uma fonte adicional de receita para sua implantação.

Os principais fabricantes ou dententores da tecnologia globais são a Kompogas, Dranco e Valorca. A Kompogas vem instalando plantas de produção de energia desde 1988, marcando sua presença em 28 paises. A Figura 8 apresenta alguns desses projetos instalados no período de 2013 e 2014, utilizando diversas capacidades de fermentador e de matéria-prima.

| Planta | Capacidade (t/a) | Iníco de operação | Tipo de resíduos |
|---|---|---|---|
| Winterthur - Suiça | 25.000 | 2014 | Bio waste, poda verde. |
| Vétroz - Suiça | 20.000 | 2014 | Bio waste, poda verde, fezes, óleo usado. |
| Amarsul - Portugal | 60.000 | 2014 | Fração orgânica de residuos sólidos urbanos/municipal. |
| Olawa - Polônia | 25.000 | 2014 | Fração orgânica de residuos sólidos urbanos/municipal. |
| Hofu - Japão | 17.500 | 2013 | Fração orgânica de residuos sólidos urbanos/municipal. |
| Nantan - Japão | 9.000 | 2013 | Fração orgânica de residuos sólidos urbanos/municipal. |
| Fulda - Alemanha | 32.000 | 2013 | Bio Waste, poda verde. |
| Tilburg - Holanda | 46.000 | 2013 | Bio Waste, poda verde. |
| Zurich - Suiça | 25.000 | 2013 | Bio Waste, poda verde. |
| Clermont- Ferrand - França | 15.000 | 2013 | Bio Waste, poda verde. |

**Figura 8 –** Referências de plantas Kompogas

**Nota**: *Bio waste* são considerados os resíduos de diferentes fontes de geração orgânica como as fezes dos animais, o lodo de estações de tratamento de esgoto e os restos de alimentos que podem gerar biogás.

**Fonte:** Kuttner do Brasil Ltda (2016). Contagem – MG, Brasil.

Ressalta-se que, no mercado brasileiro, não existem referências de plantas com processo anaeróbico termofílico a seco em fermentador para resíduos sólidos orgânicos municipais. Mas, A Kuttner do Brasil Ltda, sediada em Contagem-MG, já possui o acesso ao acordo de licenciamento do Grupo Küttner da Alemanha com a Kompogas-Suiça, que é detentora da tecnologia e tem experiência comprovada para o aproveitamento da energia contida no lixo orgânico e na poda verde a partir da produção de biogás em fermentadores.

Os RSU coletados em Belo Horizonte possuem uma elevada fração de matéria orgânica (61,59%) com elevada umidade. Isto, pode resultar em resíduos misturados, com carga térmica inferior que implica no aumento do consumo de combustível auxiliar quando utilizado as tecnologias térmicas para o seu reaproveitamento. Porém, a utilização desses mesmos resíduos, com a tecnologia de processo termofílico anaeróbico a seco em fermentador, considerada mais adequada a gravimetría dos resíduos de Belo Horizonte, favorece a produção de biogás com potencial de cogeração de energias.

### 4.2.2 Descrição do projeto piloto

A instalação deverá ser efetuada em área a ser definida pelo poder concedente, para a prestadora do serviço de tratamento do RSU. Porém, recomenda-se que seja implantada o mais próximo possível da área de recebimento dos resíduos orgânicos de grandes estabelecimentos comerciais, preferencialmente ná área de aterro sanitário já existente.

No projeto piloto proposto o estágio de fermentação é composto de um módulo básico da Kompogas e com fermentador[1] dimensionado para capacidade máxima de operação de 15.000 toneladas/ano no reaproveitamento de resíduos orgânicos. A Kuttner do Brasil Ltda, no documento "Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano", sustenta que a instalação dessa unidade apresenta as seguintes vantagens:

a) o aterramento é utilizado somente para o rejeito do processo;
b) produz, em tempo reduzido, um composto orgânico de alta qualidade, fertilizante líquido extraído por prensagem da compostagem;
c) gera biogás para operação da planta industrial como energia elétrica limpa ou gás natural veicular e com a possibilidade de comercialização para a concessionária local, do que não for utilizado;
d) gerar calor aproveitável que pode ser transformado em frio e utilizado de acordo com o desejo do operador da planta;
e) obtenção de certificados em função da redução das emissões de gases de efeito estufa, permitindo a negociação de Créditos de Carbono;
f) melhorar o conceito social e ambiental da central de abastecimento e da população vizinha.

A produção de biogás, energia elétrica "verde" e térmica, gerada por uma unidade de cogeração, poderá ser vendida para a concessionária local de energia elétrica,

---

[1] A planta piloto que será objeto do valuation nesta dissertação foi desenvolvida pela Kompogas e, assim, a descrição técnica apresentada nesta seção foi extraída, literalmente, do documento de divulgação restrita da empresa: "Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano", Kuttner do Brasil Ltda, Contagem-MG.

cuja opção é analisada nesta dissertação. A outra opção para o biogás, seria a sua converção em gás natural para uso veicular (GNV), mas, foi desconsiderada por não haver no Brasil uma política pública para uso deste combustível.

O calor residual proveniente da unidade motogeradora pode, também, ser utilizado como fonte de energia térmica, de acordo com o desejo do operador da planta ou, até mesmo, transformado em frio para outros fins. A energia produzida é neutra de CO2 e, por este motivo, contribui, essencialmente, na redução GEE (gás de efeito estufa), um dos principais fatores poluentes do meio ambiente na atualidade, e este fato favorece a obtenção de Certificados de Crédito de Carbono.

O resíduo sólido de fermentação pode ser vendido como composto orgânico agrícola e, o resíduo líquido, como fertilizante líquido de alta qualidade para utilização imediata no cultivo orgânico devido ao processo de fermentação biológica. Esses fertilizantes naturais são certificados pelo *The Swiss Research Institute of Organic Agriculture* FIBL e pelo Instituto Suíço de Pesquisa da Agricultura Orgânica (FIBL).

A planta piloto industrial opera automaticamente por regime de 24 horas/dia, sendo esta sua principal característica do projeto e, sua automação, realizada em duas modalidades, o sistema de comando e o sistema de operação.

a) Comando Local - previsto apenas para as condições de manutenção. Ele permite o acionamento local dos equipamentos por meio de botões liga/desliga e sem intertravamento lógico.

b) Comando Remoto - efetuado por intermédio do sistema supervisório localizado na sala de operação. Na sala de comando encontram-se o computador (PC) do sistema supervisório para a operação da unidade e os controladores lógico programável (PLCs) para controle e automação. O PC e os PLCs comunicam-se via rede Ethernet.

A visualização dos estados funcionais, bem como dos dados de processo, é efetuada pela estação supervisora (composta por microcomputador, monitor de vídeo de Display de Cristal Líquido - *liquid crystal display* - (LCD) e periféricos). Os problemas operacionais, quando detectados, são indicados no monitor e os

relatórios gerados pelo sistema supervisório podem ser impressos e armazenados eletronicamente. O sistema é constituido pelas seguintes telas de supervisão:

a) tela de sinótico geral;
b) ela de alarmes e eventos; e
c) tela de parâmetros

### 4.2.3 Relação dos principais grupos de equipamentos

Os principais grupos de equipamentos e controle da planta piloto são informados pela Kuttner no documento “Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano”:

a) Sistema de recebimento, de preparação do lixo orgânico e de eliminação dos resíduos com granulometria superior a 60 mm - Carregadeira móvel (Bobcat), moega, peneira, posto de triagem manual, separador de metais ferrosos e triturador.
b) Sistema de transporte e distribuição para alimentação, sistema de carregamento e fermentador - transportador de correia, alimentador dosador, balança, alimentador tubular tipo parafuso, fermentador em construção combinada de concreto e aço, distribuição de calor e de utilidades.
c) Sistema de descarregamento e desidratação: bomba de descarga e de retorno d’água (injeção), tubulações de transporte, estação hidráulica central, prensa de desidratação, tanque de água da prensa e prédio para compostagem.
d) Unidade geradora de energia termoelétrica: usina geradora de energia termoelétrica.
e) Instalações elétricas, controle e visualização: controlador lógico programável (PLC), estação supervisória, centro de controle de motores (CCM) e postos de comando local.

### 4.2.4 Rota de processo

A unidade de recebimento e de preparação da matéria-prima fornece o lixo orgânico condicionado, ou seja, a fração peneirada entre 0 a 60 mm livre de contaminações

(por exemplo, resíduos inorgânicos), para um fluxo de 15.000 toneladas/ano. Para garantir o abastecimento regular faz-se necessário manter um estoque intermediário reduzido, neste caso específico, sob avforma de um alimentador de matéria-prima condicionada.

Com base no estoque intermediário previsto, sob forma de alimentador dosador, o fermentador deve ser alimentado, continuamente, 24 h/dia e por sete dias/semana. Pressupondo-se uma qualidade uniforme e regular do material na entrada, devem ser constatadas somente baixas flutuações na produção de biogás.

Para garantir o abastecimento regular deve ser mantido um estoque intermediário reduzido, neste caso específico, sob a forma de um alimentador de matéria-prima condicionada. Este estoque, destinado à unidade de fermentação, assegura o fornecimento contínuo, mesmo em períodos fora do tempo normal de trabalho nas áreas de recebimento ou de preparação. Com isso, garante-se o carregamento uniforme do fermentador e, também, a produção regular de biogás.

O material deve ser fornecido em bateladas por meio de uma correia transportadora localizada na saída do alimentador dosador e, enviado para a área de carregamento do fermentador. Com o apoio do transportador tipo parafuso, o material deve ser introduzido no fermentador. Adicionalmente, água recirculada de processo e água industrial devem ser misturadas. O teor TS (teor de substância seca) na entrada deve ser de aproximadamente 40%.

Parte dos resíduos de fermentação deve ser retirada pela bomba extratora, prevista na saída do fermentador e recirculada para efetuar a injeção de microorganismos na matéria-prima fresca na entrada do fermentador. Com a finalidade de evitar sobrecargas do processo biológico, distribui-se uniformemente o carregamento da quantidade diária da matéria-prima ao longo do período de 24h.

O reator tubular horizontal de fermentação hermeticamente fechado tem por base o princípio de fermentação anaeróbica. Ou seja, sem a presença de oxigênio, termofílica "a seco", a uma temperatura entre 55 °C e 60 ºC e umidade média do substrato de aproximadamente75 %. O tempo de permanência do substrato no

fermentador varia entre 15 a 20 dias. O sistema de distribuição do calor de processo, que transporta o calor do gerador (trocador de calor, tipo placas), sob forma de água quente para os seus usuários deve ser montado em um *rack* protegido, ao lado do fermentador. Todos os circuitos de aquecimento são alimentados a partir desse distribuidor. O fermentador é alimentado por três circuitos de aquecimento fornecidos pelo grupo motogerador.

Para a descarga do produto e encaminhamento para a desidratação por prensagem, os resíduos de fermentação de cada fermentador devem sair pela bomba de descarga (bomba de sólidos). O material residual de fermentação após a desidratação por uma prensa do tipo parafuso (fração sólida) é transferida para a área de compostagem intensiva, enquanto a água proveniente das prensas é conduzida para um tanque de estocagem e de decantação do líquido.

O fermentador de arranjo horizontal é preenchido apenas, com aproxidamente 2/3 de material, porque a câmara de gás, situada na parte superior, serve como acumulador de gás (gasômetro). O biogás obtido pela fermentação é conduzido diretamente ao motogerador para a geração de energia elétrica e/ou energia térmica. Pelo fato do processo de fermentação ser, uniformemente, abastecido durante 24h/dia e sete dias/semana, não existe a necessidade de prever um reservatório para estocagem de biogás. Quando o grupo motogerador estiver parado ou, caso a produção de biogás ultrapassar o consumo e não houver condições do seu aproveitamento, este deve ser queimado no *flare* previsto como dispositivo de segurança, principalmente se a pressão interna ajustada no fermentador ultrapassar o valor limite admissível.

Se na fase de partida do fermentador ou durante uma interrupção de operação não houver ou tiver insuficiente energia térmica, o calor deve ser gerado por um *boiler* de aquecimento utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP) ou gás natural (GN) que não foi contemplado neste estudo.

O material sólido prensado deve ser encaminhado para a área de compostagem intensiva em um prédio fechado, com baias para o depósito do material prensado, para a maturação do composto por um período de aproximadamente quatro

semanas. O material deve ser revirado por meio de uma pá carregadeira de uma baia para outra a cada dis dias.

A água para umidificação do material na entrada no fermentador deve ser retirada do tanque de água obtida por meio da prensagem. Aplica-se a água adicional industrial para a umidificacão do material apenas quando for necessário. A água de prensagem excedente pode ser vendida como fertilizante líquido. Para tal fim, instala-se uma bomba para o enchimento do caminhão tanque do cliente.

A produção de gás, no caso de seleção, é de aproximadamente 2.200.000 Nm3/a úmida. O rendimento do reator (proporção entre oTS) degradado e a substância degradável orgânica anaeróbia teórica, corresponde ao potencial de formação de gás GB21 e é no mínimo 0,8, podendo aumentar aproximandamente até 0,9 com o teor de água crescente.

A Figura 9 apresenta o balanço de massa.

| | | |
|---|---|---|
| Entrada de lixo na mistura (t/a) | - | 15.000 |
| Substância seca (TS) | % FS | 40 |
| Substância seca orgânica degradável biológica (oTSbio) | % TS | 65 |
| oTS degradável anaeróbica | % oTS | 62 |
| Produto de gás úmido | $Nm^3$/ano | 2.200.000 |
| Produto específico de gás | $Nm^3$/t | 140 |

**Figura 9 -** Balanço de massa
**Fonte:** Kuttner do Brasil Ltda (2016). *Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano* (p.18). Contagem – MG, Brasil.

### 4.2.5 Ciclos de operação

A instalação deve ser operada durante seis dias por semana e, em dois turnos diários. O fermentador é controlado automaticamente e supervisionado pelo técnico operacional em cada turno de trabalho. No horário noturno deve ter somente o técnico de supervisão no controle da planta. A geração de biogás, com exceção dos períodos de serviço normal de manutenção e de assistência deve operar ininterruptamente. A Figura 10 mostra o tempo operacional das princípais unidades.

| Tempo operacional dos equipamentos | Horas/dia | Dias/Semana | Dias/Ano | Horas/Ano |
|---|---|---|---|---|
| Recebimento e tratamento de resíduos | 18 | 6 | 312 | 6.570 |
| Alimentação do fermentador | 24 | 7 | 365 | 8.760 |
| Fermentação/produção de gás/preparação de gás | 24 | 7 | 365 | 8.760 |
| Material novo para compostagem | 18 | 6 | 312 | 6.570 |
| Descarga do fermentador/desidratação | 24 | 7 | 365 | 8.760 |

**Figura 10 –** Ciclos de operação

**Fonte:** Kuttner do Brasil Ltda (2016). *Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano* (p.19 ). Contagem – MG, Brasil.

A principal característica da instalação é seu funcionamento ininterrupto de 24 horas/dia de modo automático através do modo supervisório instalado na sala de controle.

# 5 Metodologia

Para Gil (2009, pg.08), a pesquisa tem um caráter pragmático e definido como "processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico" e, portanto, seus resultados devem ser satisfatórios, estarem baseadas em planejamento cuidadoso, reflexões conceituais sólidas e alicerçados em conhecimentos já existentes.

O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos, sendo que nesta dissertação será analisada a proposição de uma solução para um problema real nos campos de infraestrutura e meio ambiente. Caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, que tem como objetivo gerar conhecimentos para a aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos.

Conforme Collis e Hussey (2005, p. 61), a metodologia "refere-se à maneira de tratar o processo de pesquisa, da base teórica até a coleta e análise de dados". Para que isto ocorra, algumas premissas devem ser avaliadas quanto à determinação da finalidade para se coletar tais dados ou, de outra maneira, porque coletar; quais os dados são necessários; como e onde estes dados foram coletados; e de que modo será realizada a análise dos dados.

## 5.1 Caracterização da pesquisa

Para Gil (2009), as pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito. Ainda de acordo com o autor, na maioria dos casos, as pesquisas exploratórias assumem a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso. Ressalta que o estudo de caso é o delineamento mais adequado para investigação de um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto real, quando envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. Mattar (1994) destaca que o estudo de caso apresenta certo relacionamento com os métodos da pesquisa exploratória, pois sua metodologia permite desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias.

Além de constituir um estudo de caso, esta pesquisa pode ser classificada como quantitativa, uma vez que foram empregados métodos econométricos e uso de testes de hipóteses para quantificar o custo de capital, e instrumentais matemáticos para inferir se o investimento sob análise é capaz de propiciar valor aos investidores.

## 5.2 Etapas do processo de avaliação

### 5.2.1 Precificação dos riscos e do custo de capital

A estimativas do custo de capital próprio ocorreu por meio das contribuições de Modigliani e Miller (estrutura de capital e uso de dívida) e de Sharpe, Markowitz e Tobin (risco e retorno), sendo empregado o modelo que quantifica os riscos de mercado mediante o cálculo do beta alavancado, conforme discutido no referencial teórico.

Para levantar o risco do investimento (expresso pelo beta) da planta piloto, cujo principal produto é a geração de energia elétrica, adotou-se o método *bottom up*, sendo selecionada uma amostra inical de empresas de capital aberto do setor de energia elétrica, cujas ações constam do IBOVESPA (Cemig, Cesp, Copel) da BM&FBOVESPA. Desta forma, foi necessário desalavancar os betas utilizando a estrutura de capital específica das empresas da amostra e realavancados para retratar a possível estrutura de capital do projeto.

Os *betas* (alavancados) de empresas brasileiras de energia foram estimados com base na seguinte expressão:

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t \qquad (12)$$

Onde:

$Y_t$ é a variável dependente, retornos das ações da empresa de geração de energia elétrica da amostra;

$X_t$ é a variável independente, isto é, o retorno da carteira de mercado - IBV.

> $\alpha$ é o intercepto da reta de regressão, que indica o valor médio da variável dependente quando a variável independente for igual a zero;
> $\beta$ é o coeficiente angular da reta de regressão, que indica a sensibilidade do retorno das ações de empresas de energia em relação ao retorno da carteira de mercado;
> $\varepsilon_t$ é o termo de erro da regressão, ou perturbação estocástica, indicando a diferença entre o valor observado e o valor estimado.

Obtido o beta alavancado de empresas de energia, foi necessário levantar informações sobre a estrutura de capital dessas empresas (*debt e equity*) para obter o beta desalavancado, consoante a equação (4). Em seguida, este "beta setorial" foi realavancado, adotando-se uma possível estrutura de capital para financiar a planta industrial.

Para obter o custo de capital próprio foi empregado o CAPM (equação 2), sendo usados o "beta setorial" alavancado, uma taxa livre de risco e o prêmio de risco do mercado brasileiro. Sobre a taxa livre de risco Assaf (2008, p. 76) salienta:

> Para um investidor, a taxa livre de risco (Rf) deve expressar o correto cumprimento da obrigação de pagamento, por parte do devedor, do principal e dos encargos financeiros, em conformidade com seus respectivos vencimentos. Em outras palavras, uma taxa livre de risco não pode revelar incerteza alguma com relação ao inadimplemento (*default*) de qualquer obrigação prevista no contrato de emissão do título.

Conforme Póvoa (2012), a NTNB é o título que mais se aproxima de um título livre de risco à disposição no mercado brasileiro. Dessa forma, para espelhar a taxa livre de risco (RF), foi utilizada a taxa referente a um título soberano emitido pelo governo brasileiro - Nota do Tesouro Nacional, Série B (NTN-B) - desconsiderando-se a correção pela inflação medida pelo IPCA/IBGE, com vencimento em 15/05/2035. Este título oferecia uma rentabilidade real em 09/09/2016 de 6,0% ao ano.

O prêmio de risco retrata o retorno extra necessário para atrair os investidores para aplicações em ativos de renda variável, sendo obtido pela diferença entre o retorno médio anual da carteira de mercado e o retorno médio anual dos títulos públicos no longo prazo. Tendo em vista as turbulências da economia brasileira e a necessidade

de elevadas taxas de juros para controlar a inflação e ajustar as contas externas, o mercado acionário não tem conseguido remunerar adequadamente os investitores no médio prazo. Assim, analistas têm arbitrado um valor para o prêmio de risco em consonância com a experiência internacional, abordagem também utilizada nesta dissertação.

Póvoa (2012) recomenda prêmios de risco entre 5% e 6,5%. Outros autores como Silva, Locatelli e Lamounier (2016) e Moreira *et al.* (2015) têm adotado a mesma taxa internacional (5% ao ano), sob o argumento de que a taxa livre de risco brasileira está muito elevada em face do elevado risco país, o que onera bastante o custo do capital próprio. Nesta pesquisa, optou-se por utilizar o prêmio de risco de 5%.

Uma vez definido o custo do capital próprio, levantou-se o custo do capital de terceiros para estimar o WACC. Identificou-se que existe a possibilidade de acesso de uma linha de financiamento no longo prazo com *funding internacional*, repassada pelo Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG), com *swap* em reais. O custo real, desconsiderando-se a inflação, aproximado desta linha em moeda doméstica, atualmente, é da ordem de 11% a.a. antes dos tributos. Considerando-se a alíquota de 34%, que é a alíquota máxima de tributos sobre a renda, o custo real líquido da dívida é de 7,26% a.a.

Identificados o custo do capital próprio e o custo do capital de terceiros do projeto em análise, o próximo passo foi calcular o WACC mediante o emprego da equação (5), utilizado como taxa de desconto para trazer os fluxos de caixa futuros para o presente. A taxa de desconto pode ser vista como uma *proxy* para a taxa mínima de atratividade de um projeto, entendida como a menor taxa de retorno aceitável pelos potenciais investidores para que se proponham a correr o risco associado a um ativo ou projeto. Assim, uma das utilidades do custo de capital é servir como taxa referencial para as decisões de aceitar ou rejeitar investimentos, eliminando as alternativas que apresentarem retornos abaixo da taxa de retorno mínima requerida. A correta definição da taxa de custo de capital é essencial para que sejam tomadas decisões acertadas a respeito da sua viabilidade ou inviabilidade de um investimento.

### 5.2.2 O fluxo de caixa descontado

O projeto, que deve ser objeto de concessão municipal, foi previsto para ter a durabilidade de 30 anos. Para o cálculo do fluxo de caixa descontado empregou-se contas derivadas, principalmente, do demonstrativo de resultados (DRE), construído para embasar as análises de investimento.

#### 5.2.2.1 Receita operacional

A receita operacional do projeto é gerada pela comercialização de energia elétrica, energia térmica e dos compostos orgânicos, sólido e líquido, produzidos na planta piloto. A receita de energia elétrica é decorrente da venda para a concessionária estadual ou para o mercado livre de fornecimento de energia. O calor residual proveniente da unidade motogeradora, deve ser fornecida para as empresas que utilizem a fonte térmica para uso industrial ou, até mesmo, transformado em frio para outros fins. A compostagem sólida e líquida, poder ser comercializada para a adubação orgânica em hortas, jardinagem e atividades agrícolas.

A receita operacional projetada foi calculada a partir dos dados obtidos da Kuttner do Brasil, de acordo com as premissas apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4**
Previsão de geração de energia elétrica e energia térmica

| Fonte | Previsão de Geração de Energia |
|---|---|
| Energia elétrica | 4.420.000 Kwh/ano |
| Energia térmica | 4.460.000 Kwh/ano |

**Fonte:** Kuttner do Brasil Ltda (2016). *Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano* (p.18 ). Contagem – MG, Brasil

#### 5.2.2.2 Previsão para produção de composto orgânico sólido e líquido

A previsão de produção de composto orgânico, parcialmente desidratado, é de 7.500 toneladas/ano. O volume de composto orgânico líquido previsto, após a prensagem da compostagem retirada do processo, é de 6.000 toneladas/ano. Porém, parte do

composto é reintroduzido no fermentador para manutenção do nível de biometanização (Tabela 5).

**Tabela 5**
Consumo de água industrial e de resíduos produzidos

| Processo | Consumo de Água | Quantidade de resíduo |
|---|---|---|
| Entrada de RSU | - | 15.000 t/a |
| Consumo de água industrial | 3.000 t/a - (3.000 m³/a) | - |
| Resíduo parcialmente desidratado | - | 7.500 t/a |
| Compostagem | - | 7.500 t/a |

**Fonte:** Elaborada pelo autor a partir de dados fornecidos pela Kuttner do Brasil Ltda (2016) - *Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano* (p.18 ). Contagem – MG, Brasil

5.2.2.3 Preços para cálculo dos valores das energias, elétrica e térmica

No 23º leilão de energia nova, A-5, realizado em 30/04/2016, pela pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)/Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), na qual a entrega de energia no mercado regulado se dará em 5 anos, foram contratadas energias proveniente de novos empreendimentos de geração a partir de fontes hidrelétrica (PCH), termelétrica a carvão, gás natural em ciclo combinado, de fontes alternativas renováveis como eólica e biomassa. Os preços de referência praticados no leilão são demonstrados na Tabela 6.

**Tabela 6**
23º Leilão de energia nova A-5 - ANNEL, 2016

| Início de suprimento | Fim de suprimento | Tipo de Energia | Ano de demanda | Preço inicial R$/MWh |
|---|---|---|---|---|
| 01/01/2021 | 31/12/2040 | Eólica | 2021 | 223 |
| 01/01/2021 | 31/12/2040 | Gás natural | 2021 | 290 |
| 01/01/2021 | 31/12/2045 | Biomassa e carvão | 2021 | 251 |

**Fonte:** Elaborada pelo autor

Como não há na atualidade brasileira um preço de referência para energias com base em resíduos sólidos urbanos, para o cálculo da receita bruta da planta piloto considerou-se duas alternativas com base em energias que mais se aproximam do motivo da análise, ou seja, a energia de biomassa/carvão e a energia a gás natural.

a) Alternativa 1 - preço de venda de R$ 251,00/MWh.

b) Alternativa 2 - preço de venda de R$ 290,00/MWh.

Os preços das fontes de energia térmica e energia elétrica para o período compreendido entre 2021 a 2051 foram mantidos constantes. Ou seja, não foram considerados reajustes de preços, seja decorrente de inflação ou provenientes de mudanças na competitividade.

O composto orgânico produzido no processo de compostagem é comercializado por preços que variam entre R$100,00 a 150,00/tonelada (Compromisso Empresarial para a Reciclagem [CEMPRE], 2016). Neste estudo foi considerado para a comercialização do composto orgânico um valor intermediário de R$ 125,00/tonelada.

5.2.2.4 Custo dos serviços/produtos

Estão inclusos nos custos dos serviços e produtos, a energia elétrica e a energia térmica utilizados para a operação da planta, bem como outros insumos como o óleo lubrificante, o óleo diesel e a água de uso industrial. Foram deduzidos da geração a energia elétrica e a energia térmica, necessarias para a operação da planta piloto. Como a geração de energias é suficiente para suprir a operação e o superavit energético deve ser vendido ao mercado, não deve ser necessário a compra de energia da concessionaria estadual ou do mercado livre.

Os valores em reais aqui aplicados são os mesmos praticados no leilão n. 1/2016 (A-5). A energia elétrica e a energia térmica necessária para a operação da planta piloto é detalhada na Tabela 7.

**Tabela 7**
Previsão de geração de energia elétrica e energia térmica

| Tipo de Energia | Consumo de energia da Planta |
|---|---|
| Energia elétrica | 4.500.000 kWh/a |
| Energia térmica | 1.200.000 kWh/a |

**Fonte:** Elaborada pelo autor a partir de dados fornecidos pela Kuttner do Brasil (2016). *Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano* (p.18 ). Contagem – MG, Brasil

O volume de óleo diesel para consumo da operação da planta é de 150 litros/ano, conforme informações obtidas via *e-mail* da Kuttner, em 24/05/2016. Os custos totais de óleo diesel foram considerados como o volume consumido x preço do óleo diesel de R$ 2,978/litro, com os preços praticados em 16/07/2016 pela Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis [ANP].

O volume do consumo de água industrial de projeto é de 3.000t/ano, ou seja, 3.000 m³/ano (Kuttner, 2016). O valor tarifado - Tabelas tarifárias da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG) – Resolução ARSAE – MG 82/2016, de 12 de abril de 2016 -, é de R$ 9,984/m³ para consumo industrial maior que 200 m³.

5.2.2.5 Tributos incidentes sobre a venda dos produtos

De acordo com informações fornecidas pela Superintendência de Tributação - Diretoria de Orientação e Legislação Tributária da Secretaria de Estado de Fazenda de Minas Gerais (2016), em resposta ao *e-mail* enviado em 31 de maio de 2016, as hipóteses de isenção para geração e comercialização de energias alternativas, estão relacionadas no Anexo I do RICMS/2002. Para as hipóteses de redução da base de cálculo, estão disciplinadas no Anexo IV do mesmo Regulamento, itens 204 e 205 do Anexo I, que tratam deste assunto. Para a obtenção da isenção, há a necessidade de solicitação de Regime Especial, junto ao governo do estado de Minas Gerais.

O Decreto nº. 46.296 de 14 de agosto de 2013, (2013, p. 1) "dispõe sobre o Programa Mineiro de Energia Renovável - Energias de Minas e medidas para incentivo à produção e uso de energia renovável". Entre os incentivos para geração e comercialização de energias renováveis podem ser citados:

> Art. 1º. Parágrafo único. Para fins deste Programa entende-se por energia renovável a energia elétrica de fonte solar, eólica, biomassas, biogás e hidráulica gerada em Centrais de Geração Hidrelétrica - CGHs - e Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs
> Art. 2º. Serão concedidos incentivos fiscais e tratamento tributário diferenciado aos empreendimentos localizados em Minas Gerais, na forma da legislação tributária, nos seguintes casos:

> I - na produção de peças, partes, componentes e ferramentas utilizados na geração de energia renovável;
> II - no material a ser utilizado como insumo nas obras de construção civil necessárias aos empreendimentos de geração de energia renovável;
> III - na infraestrutura de conexão e de transmissão que se faça necessária aos empreendimentos geradores de energia renovável para sua interligação no Sistema Interligado Nacional;
> IV - no fornecimento da energia elétrica produzida a partir de usinas geradoras de energia de fonte solar, eólica, biogás, biomassa de reflorestamento, biomassa de resíduos urbanos, biomassa de resíduos animais ou hidráulica de CGHs, por um prazo de quinze anos a contar da data de sua entrada em operação.
> Art. 3º A empresa de geração de energia renovável poderá solicitar ao Estado a implantação de infraestrutura de linhas de transmissão, por meio de contrato de parceria, nos termos da Lei nº 18.038, de 12 de janeiro de 2009, nos casos em que se fizerem necessários.

O Senado Federal da República, na legislatura de 2016 afirma em seu sitio, que as isenções dos tributos federais incidentes sobre geração e comercialização de energias renováveis estão em análise terminal pela Comissão de Assuntos Econômicos do Senado (CAE) e o programa Regime Especial de Tributação para o Incentivo ao Desenvolvimento e à Produção de Fontes Alternativas de Energia Elétrica (REINFA), já foi aprovado na Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado. A notíca veiculada na *site* do Senado Federal revela:

> A Comissão de Assuntos Econômicos do Senado (CAE) pode votar nesta terça-feira (12/04/2016) a criação de incentivos fiscais para fontes alternativas de energia, como a solar e a eólica (PLS nº 311/2009). O chamado Reinfa, Regime Especial de Tributação para o Incentivo ao Desenvolvimento e à Produção de Fontes Alternativas de Energia Elétrica, já foi aprovado na Comissão de Serviços de Infraestrutura (CI). Segundo o relator na Comissão de Assuntos Econômicos, senador Walter Pinheiro (PT – BA), a proposta isenta do IPI, Imposto de Importação, PIS/PASEP e COFINS, as empresas que investirem nas novas modalidades de geração e armazenamento de energia.

Desta forma, não foram considerados nesta dissertação, qualquer tributo indireto incidente sobre a comercialização da energia elétrica, energia térmica e de composto orgânico. Na implementação do projeto, o profissional da área técnica fiscal deve consultar a legislação pertinente para verificar a aderência desta hipótese.

### 5.2.3 Despesas administrativas

O salário mínimo para base de cálculo das despesas de salários e encargos foi de R$ 880,00/mês, data base de 1º de maio de 2016 (Ministério do Trabalho, 2016). As outras despesas administrativas consideradas foram:

a) aluguel de terreno;
b) assistência técnica;
c) escritório;
d) suporte técnico em informática e material de escritório; e
e) assessoria contábil e jurídica.

O valor do aluguel do terreno de 7.500 m² para a implantação da planta piloto, localizado dentro do próprio aterro sanitário em Macaúbas, foi estimado em R$ 1.500,00/mês.

A assistência técnica deve ser realizada quando solicitada pelo cliente (Kuttner/Kompogas, 2016). O termo de garantia do equipamento de fabricação Kuttner/Kompogas tem cobertura para os defeitos pelo prazo de 12 meses, a partir da data de funcionamento, desde que a montagem seja orientada por supervisores da Kuttner, e desde que os equipamentos estejam sendo usados dentro das condições para as quais foram projetados. Ou ainda, 18 meses da data da entrega do material. Para efeito desta análise, foi considerado um valor fixo de R$ 10.000,00/ano, iniciando-se no ano 4, ou seja 12 meses após o início efetivo de operação. As despesas de hospedagem encontram-se inclusas na diária (Tabela 8).

**Tabela 8**
Valores de assistência técnica

| Categoria profissional | Hora trabalhada (R$) | Diária p/despesas (R$) |
|---|---|---|
| Supervisor técnico Kuttner do Brasil | 159,00 | 255,00 |
| Engenheiro Kuttner do Brasil | 255,00 | 255,00 |
| Engenheiro Kompogas/Suiça | 600,00 | 600,00 |

**Fonte:** Elaborada pelo autor a partir de dados fornecidos pela Kuttner do Brasil (2016). *Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano* (p.48 ). Contagem – MG, Brasil

O valor para o material de escritório foi estimado em R$ 200,00/mês e, para assessoria contábil e jurídica, um salário mínimo por mês.

As despesas com pessoal incluem os profissionais que atuam na operação da planta piloto (Tabela 9). O engenheiro operacional deve ser contratado no início da obra, para o acompanhamento da montagem e construção. Os outros profissionais, devem ser contratados somente nos últimos quatro meses do Ano 1, para treinamento e acompanhamento dos testes operacionais a frio. A equipe operacional completa, composta por seis profissionais, pode ser contratada no início da operação da planta, ou seja, no ínicio do Ano 2.

**Tabela 9**
Quadro de funcionários para a operação da planta industrial

| Qualificação profissional | Número de funcionários operacionais | Remuneração (SM) | Ano 0 12 meses | Ano 1 12 meses | Ano 1 12 meses | Do ano 2 ao ano 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Engenheiro operacional | 1 | 8 | X | X | | X |
| Técnico operacional | 3 | 4,5 | | | X | X |
| Operador pá-carregadeira | 1 | 2 | | | X | X |
| Operário de limpeza geral | 1 | 1 | | | X | X |

**Fonte:** Elaborada pelo autor a partir de dados fornecidos pela Kuttner do Brasil.

Outra despesa operacional que foi considerada é a água para consumo humano. A média prevista foi de 80 litros/pessoa/dia, com base no consumo comercial, a um valor de R$ 1,98/m³, de acordo com a tabela tarifária disponibilizada pela COPASA (Resolução ARSAE-MG 82/2016, 2016).

### 5.2.4 EBITDA - Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização

O *Earnings Before Interests and Taxes, Depreciation and Amortization* (EBITDA) é um indicador econômico e financeiro muito utilizado, a partir da década de 1970, nos EUA, e, posteriormente, no Brasil. Ele tem por finalidade, representar a geração de caixa operacional da companhia. Segundo Iudícibus (2010, p. 247), "o EBITDA é uma medida essencialmente operacional, desconsidera os efeitos dos resultados financeiros, assim revelando o potencial da empresa para a geração de caixa

operacional". Corroborando com o autor, Silva (2010) defende que o cálculo do EBITDA considera as receitas operacionais líquidas, reduzindo os custos e as despesas operacionais, mas exclui as depreciações e amortizações.

### 5.2.5 Depreciação e amortização

Conforme o item 62 do Pronunciamento Técnico CPC 27, vários métodos de depreciação podem ser utilizados para apropriar, de forma sistemática, o valor depreciável de um ativo ao longo da sua vida útil. Tais métodos incluem: de linha reta; dos saldos decrescentes; e das unidades produzidas. A depreciação, pelo método linear, resulta em despesa constante durante a vida útil do ativo, caso o seu valor residual não se altere. O método dos saldos decrescentes, resulta em despesa decrescente durante a vida útil, sendo este método adotado para esta pesquisa.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram adotadas as seguintes premissas:

. máquinas e equipamentos foram depreciadas em 10% ao ano, por um período de 10 anos.
. A depreciação de obras civis foi de 3,33% ao ano, por um período de 30 anos.

### *5.2.6* EBIT - Lucro antes de juros e imposto de renda

O *Earnings Before Interests and Taxes* (EBIT) é o EBITDA menos a depreciação e a amortização de intangíveis, sendo, portanto, o resultado operacional da atividade.

### 5.2.7 Tributos diretos

Os tributos diretos são representados pelo Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ) e pela Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido (CSLL), sendo adotadas as alíquotas máximas previstas na legislação vigente que estabelece a alíquota de 15% sobre o lucro antes dos impostos mais o adicional de 10% sobre a parcela do lucro tributável que exceder R$ 240 mil por ano (Lei n. 9.430, 1996) e, de 9%, nos termos

previstos na legislação vigente em relação à Contribuição Social (Lei n. 10.637, 2002)

### 5.2 8 Resultado operacional Líquido

O NOPLAT – *Net Operational Profit less Adjusted Tax* - revela o resultado operacional menos os impostos ajustado obtido, menos os impostos diretos que recaem sobre o resultado operacional. Desconsidera portanto, o pagamento dos juros e as deduções ao imposto de renda propiciado pela ocorrência de despesas financeiras.

### 5.2.9 CAPEX - Capital Expenditure

O Capex refere-se aos investimentos em máquinas, equipamentos, obras civis e edificações.Neste estudo foi considerado como montante de CAPEX a aquisição do fermentador e todos os equipamentos de movimentação de carga, alimentação e extração do sistema, sistemas de controle e automação, o conjunto motogerador de energia elétrica e energia térmica, pá carregadeira (*Bobcat*) para movimentação de resíduos e compostagem, transporte de equipamentos e supervisão de montagem eletromecânica. A descrição desses conjuntos foi apresentada no Capítulo 4 deste estudo. O valor do investimento em valores correntes em máquinas e equipamentos totalizam R$10.821.289,00 e R$12.018.828,00, dispendidos no 1º e 2º ano da fase de implantação do projeto. No 10º e 20º ano de operação são necessários pequenos investimentos de reposição de peças da ordem de R$571.003,00.

### 5.2.10 Capital de giro líquido

A necessidade de capital de giro, conforme explica Assaf (2010), retrata o volume de recursos demandado pelo ciclo operacional da empresa e resulta da diferença entre o Ativo Circulante Operacional e o Passivo Circulante Operacional. Neste projeto, será necessário o aporte de capital de giro para honrar os compromissos durante a implantação nos anos 0 e 1, e este valor que totaliza R$500.000,00 retornará ao investidor no final da concessão.

### 5.2.11 Fluxo de caixa livre da empresa

O fluxo de caixa livre da empresa é o resultado operacional (EBIT) deduzido dos tributos sobre a renda (imposto de renda e contribuição social sobre o lucro), resultando, assim, no NOPLAT, que deve ser adicionado à imobilização líquida de capital (CAPEX + Variação da necessidade de capital de giro – Depreciação).

Registra-se que o fluxo de caixa livre foi projetado desconsiderando o efeito da inflação e, dessa maneira, descontado pelo custo médio ponderado de capital (WACC) em termos reais.

## 5.3 Unidade de análise

O projeto, objeto deste estudo, refere-se a uma planta piloto industrial, com capacidade de 15.000 toneladas por ano, para reaproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos coletados na cidade de Belo Horionte, com um prazo de funcionamento de 30 anos. O empreendimento deve ser construído no aterro sanitário de Macaúbas, com área aproximada de 5.000 m², no prazo de 20 meses após a sua aprovação e obtenção das licenças ambientais regulamentadas em leis específicas. Também foram previstos a realização de testes a frio, por um período de 4 meses, após a finalização da construção e da montagem. A produção industrial contínua de energia elétrica, energia térmica e de compostagem está prevista para 24 meses após a implantação e os testes operacionais.

## 5.4 Fonte de dados

A planta piloto objeto do *valuation,* foi desenvolvida pela Kompogas Suiça e sua representante Kutner do Brasil Ltda. Os custos da planta e dados técnicos de produção foram extraidos de um projeto de divulgação restrita, elaborado pela Kuttner do Brasil Ltda: “Fermentador para lixo orgânico - 15.000 tonelada/ano”.

Além das informações descritas no item 5.2, foi necessário levantar dados do mercado financeiro e as fontes estão descritas a seguir:

a) Yahoo Finance - informações sobre a estrutura de capital, retornos das ações de empresas brasileiras de energia e variações do Índice da Carteira de Mercado – Ibovespa;

b) Tesouro Direto - cotação da NTNB; e

c) Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais S/A - custo do financiamento.

Os dados foram processados com o emprego dos softwares Eviews 9.0 e Excel.

## 6 Apresentação e Discussão dos Resultados

A presente pesquisa teve como objetivo estimar o valor de um projeto da empresa geradora de energia elétrica e térmica com base no reaproveitamento da fração orgânica de resíduos coletados na Ceasa, bares, restaurantes, escolas, casernas militares, entre outros, no município de Belo Horizonte. Para alcançar os objetivos propostos, foi necessário, em primeiro lugar, estimar o risco sistêmico, o que implica em quantificar o beta desalavancado mediante o emprego da formulação beta *bottom up*. Com a informação de risco sistêmico setorial foi possível calcular o WACC empregado para retratar o valor do projeto.

### 6.1 O beta de empresas brasileiras do setor elétrico

Como a empresa, objeto desta dissertação, não possui ativos negociados em Bolsa de Valores, foi necessário utilizar informações de empresas de geração de energia para refletir o risco sistêmico do projeto, conforme descrito na metodologia. Os resultados de estimativa do beta para a Cemig - uma das empresas da amostra - mediante o emprego dos Mínimos Quadrados Ordinários, encontram-se na Tabela 10.

**Tabela 10**
Estimativas de *beta* – Cemig

| Variável | Coeficientes | Erro Padrão | Estatística t | Prob. |
|---|---|---|---|---|
| **C** | -0,002066 | 0,004083 | -0,505904 | 0,6136 |
| **IBV** | 1,125739 | 0,119490 | 9,421177 | 0,0000 |
| **$R^2$ = 0,3656** | | $R^2$ ajustado = 0,3615 | F= 88,7586 | |

Nota: Dados semanais no período agosto de 2013 a julho de 2016. Número de observações 156.
**Fonte:** Dados da pesquisa.

Verifica-se que o valor de beta é 1,1257 ,estatisticamente significativo, mesmo considerando o nível de significância de 1%. Colocado em outros termos, o que está sendo testado é a chamada Hipótese nula (H0), estabelecida, nesse caso, como beta = zero. Como se rejeita essa hipótese em favor da hipótese alternativa (beta ≠ zero) aceita-se que beta é igual ao valor fornecido pela regressão, isto é, $\beta$ = 1,1257.

Como o beta é pouco superior a 1,0, há indicação de que a sensibilidade dos retornos da Cemig é um pouco mais elevevada do que a da carteira de mercado.

Ao aceitar essa hipótese alternativa, pode-se cometer o erro do tipo 1, que consiste em rejeitar $H_0$ quando este for verdadeiro. No entanto, esta possibilidade, no presente caso, é praticamente nula, haja vista a probabilidade de significância do coeficiente beta apresentado na Tabela 10.

Em termos de ajuste de modelo, indicado pelo $R^2$ ajustado, o valor é baixo (apenas 36,15%), explicado pela regressão. Como o risco que está sendo medido é o risco sistemático, deve-se ponderar que outros importantes fatores não estão sendo considerados para explicar os retornos proporcionados pelos ativos da Cemig. Tal resultado não constitui surpresa e, em geral, é observado para várias empresas e mercados (Damodaran, 2004; Felix, Locatelli, Fernandes & Ramalho, 2016). Entretanto, a regressão é válida, o que é confirmado pela estatística F, altamente significativa.

O modelo clássico de regressão pressupõe que os erros da regressão não se correlacionam entre si e apresentam variância constante. Assim, o próximo passo consistiu se essas hipóteses são atendidas. A Tabela 11 contém os dados para o teste de correlação serial dos erros e, para tal, utilizou-se o Teste de Breusch-Godfrey.

**Tabela 11**

Teste Breusch-Godfrey para verificação de autocorrelação[1]

| | | | |
|---|---|---|---|
| Estatística F | 0,420819 | Prob. F (2, 152) | 0,6573 |
| Nº Obs x $R^2$ | 0,859030 | Prob. Qui-quadrado (2) | 0,6508 |

Nota: [1] Variável dependente: Resíduo
**Fonte:** Dados da pesquisa.

Pode-se aceitar a $H_0$ de não observância de correlação serial dos erros, visto que a probabilidade de significância é maior que o nível de 5%. Este é um resultado desejado, em conformidade com os pressupostos do modelo de regressão.

Estudos têm demonstrado que séries financeiras tendem a exibir heteroscedasticidade (Bonomo, 2010; Araújo, Bressan, Bertucci, & Lamounier, 2004; Silva, Locatelli & Lamounier, 2016). Assim, realizou-se o Teste de White, que consiste em estimar uma regressão auxiliar dos erros elevados ao quadrado em relação à variável explicativa, seus quadrados e produtos cruzados. Multiplica-se o $R^2$ dessa regressão auxiliar pelo número de observações e compara-se com a distribuição Qui-quadrado e, nessa comparação, pode haver "p" graus de liberdades, em que "p" é o número de coeficientes estimados na regressão auxiliar para analisar a presença ou não de heteroscedasticidade. Os resultados desse teste estão apresentados na Tabela 12, podendo-se afastar a presença de heteroscedasticidade, uma vez que a probabilidade de significância é maior que 5%.

**Tabela 12**

Teste White para verificação de heteroscedasticidade - Cemig

| | | | |
|---|---|---|---|
| Estatística F | 1,783268 | Prob. Qui-Quadrado (2,153) | 0,1716 |
| Nº Obs x $R^2$ | 3,553631 | Prob. Qui-quadrado (2) | 0,1692 |

**Fonte:** Dados da pesquisa

Foram estimados, também, o *beta* para as outras duas empresas da amostra e os resultados estão apresentados na Tabela 13. Similarmente, para essas empresas, não foram identificados problemas de autocorrelação de erros e heterocedasticidade, sendo estatisticamente justificável o emprego do método de MQO.

**Tabela 13**

Risco sistemático de empresas do setor elétrico brasileiro

| **Empresa** | **Coeficientes** | **Erro Padrão** | **Estatística t** | **Prob. Signif.** | **$R^2$ Ajustado** | **Estatistica F** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cemig | 1,1257 | 0,1195 | 9,4212 | 0,0000 | 0,3615 | 88,7586 |
| Cesp | 0,8134 | 0,1024 | 7,9395 | 0,0000 | 0,2858 | 63,0356 |
| Copel | 1,0221 | 0,0865 | 11,8169 | 0,0000 | 0,4721 | 139,6401 |

**Fonte:** Dados da pesquisa.

Verificou-se que há similaridade na magnitude dos betas de empresas do setor elétrico brasileiro, mas a Cesp, que figurou como a empresa de menor risco sistêmico da amostra, com beta inferior a 1,0, é a que revela uma menor volatilidade

dos retornos da empresa em relação à carteira de mercado. Ao se comparar os dados obtidos nesta pesquisa com os de um estudo realizado para o período de 2009-2013 (Lima, Locatelli e Lara, 2015), identificou-se um aumento significativo do risco do setor, fruto da crise econômica brasileira e as políticas de governo equivocadas em relação ao setor elétrico em período recente. Segundo os autores, o beta alavancado de empresas do setor de energia situou-se naquele período em torno de 0,30. Por conseguinte, esta elevação de risco irá impactar sobremaneira o custo de capital próprio do setor.

Como o beta alavancado ($\beta_L$) tem uma relação direta com o uso de capital de terceiro, deve-se prosseguir com a análise para expurgar o efeito produzido pela alavancagem no risco de cada empresa. O beta desalavancado é construído com a hipótese de uma estrutura de capital baseada somente no uso de capital próprio, permitindo que o beta reflita apenas os riscos tipicamente operacionais do negócio.

Constatou-se, inicialmente, que as empresas apresentam diferentes estruturas de capital, sendo que a Cemig é a que usa mais intensamente a dívida para financiar suas atividades, e este fato, certamente, explica o seu maior risco sistemático (beta) (Tabela 14). Aplicando-se a fórmula (4) apresentada no Capítulo 2, obteve-se o beta não alavancado do setor, calculado mediante uma média simples dos betas não alavancados das empresas, que situou-se em em 0,7114 (Tabela 14).

**Tabela 14**
Betas desalavancados das empresas

| Empresa | Beta Alavancado | Dívida/ Capital próprio (%) | Taxa de Tributo (%) | Beta Desalavancado |
|---|---|---|---|---|
| Cemig | 1,1257 | 117,89 | 0,34 | 0,6331 |
| Cesp | 0,8134 | 14,05 | 0,34 | 0,7444 |
| Copel | 1,0221 | 53,16 | 0,34 | 0,7566 |
| **Beta do Setor** | **1,1809** | | | **0,7114** |

**Fonte:** Dados da pesquisa

A partir do beta não alavancado do setor, estimou-se o beta *bottom up* do projeto. Para o cálculo da relação dívida/capital próprio, foi considerado a alavancagem financeira para o projeto, levando em consideração as possíveis fontes de

financiamento. Foi adotada a premissa de que 50% seriam oriundos de dívida e, 50%, de capital próprio, apresentando, assim, uma estrutura equilibrada. Aplicando-se os dados na equação 4, e tendo em vista que o valor de t = 34%, o beta alavancado a ser considerado no projeto é da ordem de 1,1809.

### 6.1.1 O custo do capital próprio e o WACC

Para a quantificação do custo de oportunidade do *equity* foi utilizado o CAPM, conforme discutido nos capítulos anteriores; sendo estimado o retorno real esperado de 10,73% a.a. O custo real de capital de terceiros levantado é de 11% a.a. antes dos tributos. Considerando-se a alíquota de 34%, que é a alíquota máxima de tributos sobre a renda, o custo real líquido da dívida para a empresa após a dedutibilidade fiscal é de 7,26% a.a. Admitindo-se as participações de 50% de capital de terceiros e de 50% de capital próprio no financiamento do projeto, o custo da dívida (Kd) de 7,26% a.a. O custo do capital próprio (Ke) de 11,9% - [E(Ri) = 6% + 1,18 (5%)] = 11,9%. O WACC foi estimado da ordem de 9,58% ao ano.

Além do beta calculado, identificou-se a remuneração de um ativo livre de risco e do prêmio de risco do mercado acionário no país. O ativo livre de risco adotado nesta pesquisa foi, conforme razões apresentadas na metodologia, a Nota do Tesouro Nacional – Série B (NTN-B) principal, com vencimento em 2035. Na data de 03/08/2016, a taxa do título era de 5,83%. Outro componente para estimativa do CAPM é o prêmio de risco de mercado, sendo arbitrado nesta pesquisa um prêmio de 6%.

Introduzindo os dados levantados na equação (2), obtém-se o retorno esperado pelos investidores conforme apresentado na Tabela 15.

**Tabela 15**
Custo do Capital Próprio

| Taxa livre de risco (%) * | Dívida/ Capital próprio (%) | Beta Alavancado | Prêmio de risco (%) | Custo de Capital Próprio (%) * |
|---|---|---|---|---|
| 5,83% | 1,0 | 0,9462 | 6,00 | 11,50 |

**Nota:** * Taxa real ao ano.

**Fonte:** Dados da pesquisa

Após a estimativa do custo do capital próprio, faz-se necessário calcular o custo de capital de terceiros do projeto. Neste sentido, identificou-se que existe a possibilidade de acesso de uma linha de financiamento no longo prazo com *funding* internacional, repassada pelo Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG), com *swap* em reais. O custo aproximado desta linha em moeda doméstica, atualmente, é da ordem de 11% a.a. antes dos tributos. Considerando-se a alíquota de 34%, que é a alíquota máxima de tributos sobre a renda, o custo real líquido da dívida para a empresa após a dedutibilidade fiscal é de 7,26% a.a. Uma vez identificados o custo do capital próprio e o custo do capital de terceiros do projeto em análise, o próximo passo será calcular o WACC.

Considerando o custo bruto da dívida (Kd) de 11% a.a., o custo do capital próprio (Ke) de 11,50%, a alíquota de IR de 34%, as participações de 50% de capital de terceiros e de 50% de capital próprio no financiamento do projeto, foi possível calcular o WACC, em conformidade com a equação (4). Obteve-se uma taxa de 9,38% a.a. em termos reais, que foi utilizada como taxa de desconto.

### 6.1.2 O fluxo de caixa livre e o valor presente do projeto

Após estimativa do custo de oportunidade de capital deve-se identificar o fluxo de caixa livre do projeto obtido ao longo de sua vida útil, que é de 30 anos. Para realizar a avaliação do projeto, foram contempladas as informações operacionais e financeiras, considerando os resultados desde o início do projeto. As projeções foram feitas em valores reais de acordo com duas alternativas:

Alternativa 1 – energia eletrica gerada por biomassa/carvão
Preço da venda de energia: R$ 251,00 (kWh)
Preço de composto orgânico: R$125,00/tonelada.
Alternativa 2 – energia elétrica gerada por gás natural.
Preço de venda da energia: R$ 290,00 (kWh)
Preço do composto orgânico: R$ 125,00/tonelada.

Como a geração de energia pela planta é insignificante em relação à produção brasileira, admitiu-se que ela irá operar sem ociosidade, mantendo a mesma Receita Bruta durante todo o período. Admitiu-se, ainda, que os preços de venda dos produtos e as despesas se mantenham fixas em termos reais.

Para efeito de recolhimento de Imposto de Renda e Contribuição Social foi considerada a alíquota máxima de imposto de renda (34%), sendo que nos dois primeiros anos de implantação do projeto a planta é deficitária, acumulando prejuízo. Este prejuízo é compensado nos anos posteriores para efeito de pagamento de imposto de renda na forma da legislação (máximo de 30% dos lucros do exercício).
Como discutido, os investimentos em máquinas, equipamentos e obras civis serão realizados nos dois anos de implantação. Estes investimentos devem ser depreciados pelo método linear, conforme a legislação, sendo 10% ao ano para máquinas e equipamentos, e 4% ao ano para obras civis. Nos anos 10 e 20 serão feitos investimento de reposição da ordem de 2,5% do valor do Capex, demandados pelos desgastes naturais de motogerador e pá carregadeira. E estes investimentos serão, também, depreciados em 10 anos. A necessidade de capital de giro foi calculada em cerca de 10% das receitas, sendo o montante devolvido aos investidores no final do projeto.

Como seria de se esperar, o projeto contabiliza prejuízo nos anos de sua implantação, mas, em seguida, apresenta geração positiva de caixa (EBITDA) em valores um pouco acima de R$ 3 milhões/ano. A margem EBITDA/Receita Líquida é da ordem de 76%, enquanto que as despesas administrativas e operacionais perfazem 14% do Lucro Bruto.

Nos dois primeiros anos de operação do projeto, o fluxo de caixa é impactado positivamente pela compensação de imposto de renda decorrente de prejuízos acumulados na fase de implantação. Do terceiro ao nono ano, o fluxo de caixa livre aos investidores situa-se em torno de R$ 2,8 milhões/ano.

A partir do 11º ano, a geração de caixa livre é reduzida pelo fim das deduções de imposto de renda referentes à depreciação de máquinas e equipamentos adquiridas na implantação do projeto, e no 25º ano, encerra-se a depreciação das obras civis.

Finalmente, no 30º e último ano de concessão há o retorno do capital de giro disponível.

As informações desagregadas referente a Alternativa 1 estão apresentadas na Tabela 16. Foram, também, projetados os resultados decorrentes da Alternativa 2, que difere da primeira apenas em relação ao preço de venda da energia. Neste caso, o preço da energia é mais elevado, impactanto as receitas do projeto e, em menor grau, as despesas, pois parte da energia gerada é utilizada no processo produtivo. Os números desagregados deste Alternativa podem ser vistos no Apêndice.

**Tabela 16**

Fluxo de Caixa Livre – Alternativa 1 - Período de implantação anos 1 e 2, e Operação do ano 1 a 9

(Continua...)

| Descrição | Implantação | | Operação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ano 1 | Ano 2 | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 a 9 |
| **Receita Líquida** | | | **4.103.880** | **4.103.880** | **4.103.880** |
| Venda de Energia elétrica | | | 1.109.420 | 1.109.420 | 1.109.420 |
| Venda de Energia térmica | | | 1.119.460 | 1.119.460 | 1.119.460 |
| Compostagem | | | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 |
| **( - ) Custo dos serviços/produtos** | | (14.025) | (485.052) | (485.052) | (495.052) |
| Energia elétrica | | | (112.950) | (112.950) | (112.950) |
| Energia térmica | | | (301.200) | (301.200) | (301.200) |
| Outros Insumos | | (14.025) | (70.902) | (70.902) | (70.902) |
| Óleo lubrificante | | (2.000) | (6.000) | (6.000) | (6.000) |
| Diesel | | (2.041) | (34.950) | (34.950) | (34.950) |
| Água industrial planta piloto | | (9.984) | (29.952) | (29.952) | (29.952) |
| Assistência técnica | | | | | (10.000) |
| **( = ) Lucro Bruto** | | **(14.025)** | **3.618.828** | **3.618.828** | **3.608.828** |
| **( - ) Desp. Administrativas/Operacionais** | (146.385) | (258.592) | (492.409) | (492.409) | (492.409) |
| **Despesas administrativas** | (1.603) | (8.241) | (30.918) | (30.918) | (30.918) |
| Aluguel do terrreno /planta piloto | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) |
| Escritório (Banda larga/telefonia) | | (1.200) | (2.400) | (2.400) | (2.400) |
| Suporte Técnico Informática/Mat.Esc. | | (5.280) | (15.840) | (15.840) | (15.840) |
| Assessoria Contábil | | | (10.560) | (10.560) | (10.560) |
| Água de uso do escritório | (103) | (261) | (618) | (618) | (618) |
| **Despesas com Pessoal** | (144.782) | (250.351) | (461.491) | (461.491) | (461.491) |
| Engenheiro Operacional | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) |
| Operador de pá carregadeira | | (10.560) | (31.680) | (31.680) | (31.680) |
| Técnico Operacional | | (47.520) | (142.560) | (142.560) | (142.560) |
| Operário de limpeza geral | | (3.520) | (10.560) | (10.560) | (10.560) |
| Encargos Trabalhistas | (55.900) | (96.661) | (178.182) | (178.182) | (178.182) |
| Ticket alimentação e Vale transporte | (4.401) | (7.610) | (14.029) | (14.029) | (14.029) |
| **( = ) EBITDA** | **(146.385)** | **(272.617)** | **3.126.419** | **3.126.419** | **3.116.419** |
| ( - ) Depreciação | | | **(2.424.457)** | **(2.424.457)** | **(2.424.457)** |
| Máquinas e equipamentos | | | (2.284.012) | (2.284.012) | (2.284.012) |
| Obras civis | | | (140.445) | (140.445) | (140.445) |
| **( = ) EBIT** | **(146.385)** | **(272.617)** | **701.963** | **701.963** | **691.963** |
| ( - ) Tributos sobre o lucro (IRPJ e CSLL) | | | **(28.078)** | **(30.254)** | **(235.267)** |
| **( = ) NOPLAT** | **(146.385)** | **(272.617)** | **673.885** | **671.709** | **456.695** |
| ( + ) Depreciação e Amortizaçao | | | **2.424.457** | **2.424.457** | **2.424.457** |
| **( - ) CAPEX** | **(12.927.962)** | **(13.423.277)** | | | |
| **Máquinas/equipamentos/mobiliário** | (10.821.289) | (12.018.828) | | | |
| Planta piloto industrial | (9.610.638) | (10.112.851) | | | |
| Motogerador | (425.195) | (637.792) | | | |
| Pá carregadeira (Bobcat) | | (90.000) | | | |
| Montagem eletromecânica | (785.456) | (1.178.185) | | | |
| **Obras civis** | (2.106.673) | (1.404.449) | | | |
| **( - ) Capital de giro** | **(200.000)** | **(300.000)** | | | |
| **( = ) Fluxo de caixa para os investidores** | **(13.274.347)** | **(13.995.894)** | **3.098.341** | **3.096.165** | **2.881.152** |

**Fonte:** Dados da pesquisa.

**Tabela 16**

Fluxo de Caixa Livre – Alternativa 1 - Período de implantação anos 1 e 2, e Operação do ano 10 ao 30

(Conclusão)

| Descrição | Operação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ano 10 | Ano 11 a 19 | Ano 20 | Ano 21 a 25 | Ano 26 a 29 | Ano 30 |
| **Receita Líquida** | **4.103.880** | **4.103.880** | **4.103.880** | **4.103.880** | **4.103.880** | **4.103.880** |
| Venda de Energia elétrica | 1.109.420 | 1.109.420 | 1.109.420 | 1.109.420 | 1.109.420 | 1.109.420 |
| Venda de Energia térmica | 1.119.460 | 1.119.460 | 1.119.460 | 1.119.460 | 1.119.460 | 1.119.460 |
| Compostagem | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 |
| **( - ) Custo dos serviços/produtos** | (495.052) | (495.052) | (495.052) | (495.052) | (495.052) | (495.052) |
| Energia elétrica | (112.950) | (112.950) | (112.950) | (112.950) | (112.950) | (112.950) |
| Energia térmica | (301.200) | (301.200) | (301.200) | (301.200) | (301.200) | (301.200) |
| Outros Insumos | (70.902) | (70.902) | (70.902) | (70.902) | (70.902) | (70.902) |
| Óleo lubrificante | (6.000) | (6.000) | (6.000) | (6.000) | (6.000) | (6.000) |
| Diesel | (34.950) | (34.950) | (34.950) | (34.950) | (34.950) | (34.950) |
| Água industrial planta piloto | (29.952) | (29.952) | (29.952) | (29.952) | (29.952) | (29.952) |
| Assistência técnica | (10.000) | (10.000) | (10.000) | (10.000) | (10.000) | (10.000) |
| **( = ) Lucro Bruto** | **3.608.828** | **3.608.828** | **3.608.828** | **3.608.828** | **3.608.828** | **3.608.828** |
| **( - ) Desp. Administrativas/Operacionais** | (492.409) | (492.409) | (492.409) | (492.409) | (492.409) | (492.409) |
| **Despesas administrativas** | (30.918) | (30.918) | (30.918) | (30.918) | (30.918) | (30.918) |
| Aluguel do terrreno /planta piloto | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) |
| Escritório (Banda larga/telefonia) | (2.400) | (2.400) | (2.400) | (2.400) | (2.400) | (2.400) |
| Suporte Técnico Informática/Mat.Esc. | (15.840) | (15.840) | (15.840) | (15.840) | (15.840) | (15.840) |
| Assessoria Contábil | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) |
| Água de uso do escritório | (618) | (618) | (618) | (618) | (618) | (618) |
| **Despesas com Pessoal** | (461.491) | (461.491) | (461.491) | (461.491) | (461.491) | (461.491) |
| Engenheiro Operacional | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) |
| Operador de pá carregadeira | (31.680) | (31.680) | (31.680) | (31.680) | (31.680) | (31.680) |
| Técnico Operacional | (142.560) | (142.560) | (142.560) | (142.560) | (142.560) | (142.560) |
| Operário de limpeza geral | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) |
| Encargos Trabalhistas | (178.182) | (178.182) | (178.182) | (178.182) | (178.182) | (178.182) |
| Ticket alimentação e Vale transporte | (14.029) | (14.029) | (14.029) | (14.029) | (14.029) | (14.029) |
| **( = ) EBITDA** | **3.116.419** | **3.116.419** | **3.116.419** | **3.116.419** | **3.116.419** | **3.116.419** |
| ( - ) Depreciação | **(2.424.457)** | **(197.545)** | **(197.545 )** | **(197.545)** | (57.100) | (57.100) |
| Máquinas e equipamentos | (2.284.012) | (57.100) | (57.100) | (57.100) | (57.100) | (57.100) |
| Obras civis | (140.445) | (140.445) | (140.445) | (140.445) | | |
| **( = ) EBIT** | **691.963** | **2.918.874** | **2.918.874** | **2.918.874** | **3.059.319** | **3.059.319** |
| ( - ) Tributos sobre o lucro (IRPJ e CSLL) | **(235.267)** | **(992.417)** | **(992.417)** | **(992.417)** | **(1.040.169)** | **(1.040.169)** |
| **( = ) NOPLAT** | **456.695** | **1.926.457** | **1.926.457** | **1.926.457** | **2.019.150** | **2.019.150** |
| ( + ) Depreciação e Amortizaçao | **2.424.457** | **197.545** | **197.545** | **197.545** | **57.100** | **57.100** |
| **( - ) CAPEX** | **(571.003)** | | **(571.003)** | | | |
| **Máquinas/equipamentos/mobiliário** | (571.003) | | (571.003) | | | |
| Planta piloto industrial | | | | | | |
| Motogerador | | | | | | |
| Pá carregadeira (Bobcat) | | | | | | |
| Montagem eletromecânica | | | | | | |
| **Obras civis** | | | | | | |
| **( - ) Capital de giro** | | | | | | 500.000 |
| **( = ) Fluxo de caixa para os investidores** | **2.310.149** | **2.124.002** | **1.552.999** | **2.124.002** | **2.076.250** | **2.576.250** |

**Fonte:** Dados da pesquisa.

Um balanço dos principais resultados para a Alternativa 1 estão detalhados na Tabela 17. Apesar dos resultados positivos dos fluxos de caixa a planta mostrou-se incapaz de gerar valor aos investidores, com os preços de energia no 23º leilão de energia nova, A-5, de R$ 251,00 kWh praticados em 30/04/16 pela ANEEL/CCEE. O valor presente dos fluxos livre de caixa na fase de operação do projeto atinge a cifra na Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) de R$ 26,3, mas não são suficientes para cobrir o custo do investimento, de tal forma que resulta em VPL negativo (Tabela 17).

**Tabela 17**

Valuation - Planta piloto de RSU com geração de energia – Alternativa 1*

| Variáveis | Reais (R$) |
|---|---|
| **Valor presente líquido (VPL)** | |
| Alternativa 1 | -1.716.185 |
| **Impactos do projeto – Alternativa 1** | |
| Geração direta de receita tributária | 4.211.228 |
| Geração de renda assalariada | 4.902.726 |
| Geração de renda do capital - NOPLAT | 9.488.626 |
| Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) | 26.351.239 |

**Nota:** * Nos cálculos do valor presente líquido e dos impactos do projeto foi utilizada a mesma taxa de desconto.
**Fonte:** Dados da pesquisa.

Um balanço dos principais resultados para a Alternativa 2 estão detalhados na Tabela 18. Com os preços de energia de R$ 290,00 kWh praticados em 30/04/16 pela ANEEL/CCEE. O valor presente dos fluxos livre de caixa na fase de operação do projeto atinge a cifra na Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) de R$ 26,3, e com os preços de energia praticados o VPL é positivo em R$ 647,7 mil.

**Tabela 18**

Valuation - Planta piloto de RSU com geração de energia – Alterantiva 2*

| Variáveis | Reais (R$) |
|---|---|
| **Valor presente líquido (VPL)** | |
| Alternativa 2 | 647.711 |
| **Impactos do projeto – Alternativa 2** | |
| Geração direta de receita tributária | 5.073.132 |
| Geração de renda assalariada | 4.902.725 |
| Geração de renda do capital - NOPLAT | 12.055.418 |

| | |
|---|---|
| Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) | 26.351.239 |

**Nota:** * Nos cálculos do valor presente líquido e dos impactos do projeto foi utilizada a mesma taxa de desconto.
**Fonte:** Dados da pesquisa.

Entretanto, o VPL negativo encontrado na Alternativa 1 é muito reduzido: cerca de R$ 1,7 milhões. O VPL na Alternativa 2 é positivo em R$ 647 mil. O resultado negativo da Alternativa 1 não deve ser impeditivo para a implantação de projetos desta natureza. Ademais, é provável que esse resultado seja revertido à luz de uma nova realidade da economia brasileira, caracterizada por crescimento econômico e redução da taxa de inflação e do risco país. Um ambiente político e econômico mais favorável promoverá queda na taxa básica de juros da economia, com a consequente redução na taxa desconto a ser utilizada para avaliar o projeto, que poderiam resultar em geração de valor pela projeto. Também, não foram considerados na presente pesquisa a desoneração dos serviços de manejo dos resíduos sólidos em aterros sanitários, que devem ser observados no cotejo de custo x benefícios efetivos do projeto.

Face aos resultados encontrados, a viabilidade do projeto demandaria subsídio por parte do poder concedente da ordem encontrada no VPL negativo do projeto da Alternativa 1. É importante registrar que não obstante este subsídio, o projeto não provoca danos às finanças públicas, muito antes pelo contrário, pois sua operação irá propiciar receitas tributárias diretas da ordem de R$ 4,3 milhões (Alternativa 1) e de R$ 5,0 milhões (Alternativa 2), números estes estimados em valor presente, conforme apresentado nas Tabelas 17e18. Verifica-se, assim, que o balanço líquido, no que diz respeito às finanças públicas, é positivo, sendo o subsídio mais do que compensado pela geração direta de tributos. É fato, contudo, que o subsídio deve ser arcado pelo poder público municipal, enquanto que a arrecadação, representada pelos tributos diretos (IR), será absorvida pela União.

Além dos seus notórios ganhos ambientais, outras contribuições deste investimento podem ser brevemente elencadas e estão apresentadas a seguir em valor presente: impactos no mercado de trabalho com geração de renda assalariada da ordem de R$ 4,9 milhões, impactos na renda de capital decorrentes de geração de lucro líquido ajustado após tributação direta (NOPLAT) de cerca de R$ 9 milhões e

contribuição na Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) de R$ 26,3 milhões na Alternativa 1. Na Alternativa 2, os valores no mercado de trabalho com geração de renda assalariada é da ordem de R$ 4,9 milhões e impacto na renda de capital decorrentes de geração de lucro líquido ajustado após tributação direta (NOPLAT) de cerca de R$ 12,0 milhões e contribuição na Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) de R$ 26,3 milhões.

Em suma, o projeto de aproveitamento de resíduos sólidos é viável, mesmo na conjuntura adversa da Alternativa 1, para novos investimentos, mediante pequeno aporte de subsídio por parte do poder público. É perfeitamente justificado pela geração líquida positiva de receita tributária e seus benefícios sociais e ambientais advindos de uma gestão mais racional dos resíduos sólidos.

## 7. Considerações Finais e Recomendações

A presente pesquisa teve por objetivo estimar o *valuation* de um projeto para implantação de uma planta piloto com capacidade de 15.000 t/ano para reaproveitamento energético de resíduos sólidos orgânicos provenientes de grandes estabelecimentos comerciais, como restaurantes, bares, restaurantes industriais, *shopping centers*, hortifrutis, supermercados, grandes condomínios residenciais da cidade de Belo Horizonte.

A planta piloto deverá gerar energia, elétrica e energia térmica para comercialização no mercado regulamentado ou no mercado livre de fornecimento de energia e produzir produtos de composto orgânico. Atualmente, não há no Brasil plantas que comercializem energias com base em biogás gerados no processo de fermentador anaeróbico a seco e, portanto, para valorar as energias produzidas foram considerados preços atuais de mercados que mais se aproximam da energia a ser produzida na planta piloto. Foram projetados dois cenários para a venda desta energia.

No cálculo do custo de oportunidade de capital foi necessário empregar o método *bottom up*, pois a empresa/projeto analisado não possui ações negociadas em bolsas de valores. Assim, o risco sistêmico (beta) foi baseado em betas de empresas do setor de geração/distribuição de energia elétrica, principais clientes da empresa em análise. O beta desalavancado do setor energético foi da ordem de 0,75 e o beta alavancado do projeto foi de 1,1809 considerando uma estrutura equilibrada de capital.

Considerando-se os riscos do projeto e a taxa livre de riscos, obteve-se, com o emprego do CAPM, um custo de capital próprio de 11,90% ao ano, resultando no WACC de 9,38% a.a., que foi utilizado para expressar o custo de oportunidade do capital. Esta taxa real foi utilizada para trazer os fluxos projetados de caixa para o presente.

O fluxo de caixa foi projetado em valores constantes, consoante a capacidade produtiva da planta e as necessidades operacionais e administrativas do processo

produtivo. Foram considerados os normativos legais/contábeis em relação à tributação e à depreciação de máquinas, equipamentos e obras civis. Os investimentos necessários foram extraídos de um projeto fornecido por uma grande empresa multinacional produtora dos referidos equipamentos.

As empresas têm como objetivo maximizar seu valor, que reflete no aumento da riqueza de acionistas e, para tal, o retorno sobre o capital investido deve superar o custo de oportunidade do capital. Apesar dos resultados positivos dos fluxos de caixa na operação da planta, o projeto mostrou-se incapaz de gerar valor aos investidores. Contudo, o valor presente líquido negativo na Alternativa 1 de R$ 1,7 milhões é pouco expressivo e, na Alternativa 2 é positivo em R$ 647 mil.

Conforme discutido, esse resultado negativo na Alternativa 1 pode ser revertido à luz de uma nova realidade da economia brasileira, em um ambiente político e econômico mais favorável. Tal mudança na conjuntura promoverá queda na taxa básica de juros da economia, com a consequente redução na taxa desconto a ser utilizada para avaliar o projeto. Também, não foram considerados na presente pesquisa a desoneração dos serviços de manejo dos resíduos sólidos em aterros sanitários, que devem ser considerados no cotejo de custo x benefícios efetivos do projeto.

Face aos resultados encontrados, a viabilidade do projeto demandaria pequeno subsídio por parte do poder concedente da ordem encontrada no VPL negativo do projeto É importante registrar que não obstante este subsídio, o projeto não provoca danos às finanças públicas, muito antes pelo contrário, pois sua operação irá propiciar receitas tributárias diretas da ordem de R$ 4,3 milhões. Verifica-se, assim, que o balanço líquido, no que diz respeito às finanças públicas, é positivo, sendo o subsídio mais do que compensado pela geração direta de tributos Registra-se, contudo, que o subsídio deve ser arcado pela poder público municipal, enquanto que a arrecadação representada pelos tributos diretos (IR) irá ser absorvida pela União.

Além dos seus notórios ganhos ambientais outras contribuições deste investimento podem ser brevemente elencadas e estão apresentadas a seguir em valor presente: impactos no mercado de trabalho com geração de renda assalariada da ordem de

R$ 4,8 milhões, impactos na renda de capital decorrentes de geração de lucro líquido ajustado após tributação direta (NOPLAT) de aproximados R$ 9 milhões e contribuição na Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) de R$ 26,3 milhões.

Deve-se ter em conta que os resultados encontrados nesta pesquisa apresentam cifras bem reduzidas, pois são relativos à implantação de uma planta piloto com capacidade de processamento de 15.000 ton/ano de fração orgânica de resíduos sólidos. Tendo em vista que Belo Horizonte gera aproximadamente, 828 mil ton/ano de RSU e deste total, aproximadamente 41% são resíduos alimentares com volume aproximado de 339 mil ton/ano, o potencial de aproveitamento é de cerca de 23 vezes a planta piloto considerada neste estudo. neste estudo. Projeções do aproveitamento total da fração do lixo orgânico em 30 anos podem atingir cifras significativas, sendo que o valor presente das rendas do trabalho, capital e de receita tributária poderia atingir o montante de R$ 410 milhões.

Pode-se concluir sobre a relevância desta iniciativa de aproveitamento de RSU em consonância com um modelo de desenvolvimento sustentável, sendo que a ampliação deste projeto, possibilitada pela oferta disponível de matéria prima orgânica, irá mitigar danos ambientais e exercer impactos sociais e econômicos no município.

A pesquisa apresenta limitações, dentre elas, o fato de não ter considerado os elevados custos de implantação, operação e monitoramento dos aterros sanitários convencionais, cujas reduções devem ser consideradas no cotejo de custo x benefícios efetivos de projetos alternativos. Ademais, merece ser analisada a sensibilidade do projeto ao aumento de capacidade produtiva, pois pode haver economias de escala com redução dos custos fixos, com o consequente melhora de valor do projeto.

Para concluir, não obstante às limitações do estudo, enfatiza-se, uma vez mais, que o projeto de aproveitamento de resíduos sólidos afigura-se como viável, mesmo nesta conjuntura adversa para novos investimentos, mediante pequeno aporte de subsídio para sua implantação por parte do poder público concedente, perfeitamente

justificado pela geração positiva de tributos na sua operação, e pelos benefícios sociais e ambientais advindos de uma gestão mais racional dos resíduos sólidos.

Espera-se, desta forma, que o estudo fomente o debate e forneça parâmetros básicos para análises de instalações de plantas desta natureza em municípios brasileiros. Como recomendação para futuras pesquisas, além dos aspectos ressaltados, salienta-se que outros métodos podem ser utilizados no *valuation*, com destaque para a Teoria de Opções Reais, haja vista que a volatilidade do preço da *commodity* introduz uma flexibilidade importante no projeto em questão e pode agregar valor ao projeto.

**Referências**

Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (2016). *Levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis*. Recuperado de http://www.anp.gov.br/?pg=82457&m=sistema%20de%20levantamento%20de%20pre%E7os&t1=&t2=sistema%20de%20levantamento%20de%20pre%E7os&t3=&t4=&ar=0&ps=1&1475953747618

Araújo, D., Bressan, A., Bertucci, L. A., & Lamounier, W. M. (2004). O risco de mercado do agronegócio brasileiro: uma análise comparativa entre os modelos capm e garch-m. *Revista Gestão. Org.* 2(3), 207-220.

Assaf, A., Neto. (2010). *Finanças corporativas e valor* (6a ed.). São Paulo: Atlas.

Assaf, A., Neto. (2006). *Estrutura e análise de balanços: um enfoque econômico e financeiro* (8a ed.). São Paulo: Atlas.

Assaf, A., Neto (2008). *Mercado financeiro* (8a. ed). São Paulo: Atlas.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2014). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.* São Paulo: Abrelpe. Recuperado de http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf http://www.abrelpe.org.br/

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2014). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.* São Paulo: Abrelpe. Recuperado de http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf http://www.abrelpe.org.br/

Ayer, F. & Oliveira. (2014). Montanhas de lixo revelam misto de má educação e de falta de soluções. *Jornal Estado de Minas*. Recuperado de http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2014/03/27/interna_gerais,512294/montanhas-de-lixo-revelam-misto-de-ma-educacao-e-de-falta-de-solucoes.shtml

Banz, R. W., (1981). The relationship between return and market value of common stock. *Journal of Financial Economics*, 9(1), 3-18.

Basu, J. S. (1977). Investment Performance of Common Stocks in Relation to Their Price- Earnings Ratios: A Test of the Efficient Market Hypothesis. *Journal of Finance*. 12(3), 129–56.

Black, F., Jensen, M. C., & Scholes, M. (1972). *The Capital Asset Pricing Model: Some Empirical Tests*. Praeger Publishers Inc. Recuperado de http://papers.ssrn.com/abstract=908569

Bonomo, M. (2010). *Finanças aplicadas ao Brasil* (2a ed.). São Paulo: FGV..

Brealey, R. A. & Myers, S. C. (2003). *Princípios de finanças empresariais.*(3a ed.). São Paulo: McGraw Hill.

Brigham, E. F., & Houston, J.F. (1999). *Fundamentos da moderna administração financeira.* Rio de Janeiro: Campos/Elsevier

Burch, E.E. & Henry, W. R. (1974). Opportunity and incrementall cost: attempt do define in systems terms: a comment. *The Accounting Review*. 49(1),118-123.

Burton, B. J., & Jacobsen, P. J. (1999). Measuring Returns on Investments in Collectibles. *The Journal of Economic Perspectives*, 13(4), 193-212.

Carvalho, A.R., & Oliveira, M. V. C. *Princípios básicos do saneamento do meio.* Senac: 1997

Collis, J., & Hussey, R. (2005). *Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação* (2a ed.) Porto Alegre: Bookman.

Compromisso empresarial para reciclagem. (2016). *Manuais, artigos e publicações*. Recuperado de www.cempre.org.br

Confederação Nacional de Municípios (2014). *Diagnóstico municipal para a política nacional de resíduos sólidos.* http://www.lixoes.cnm.org.br/

*Constituição da República Federativa do Brasil.* (1988, 05 de outubro). Recuerado de http//www.senado.gov.br/sf/legislação/const/

Copeland, T. E., & Weston, J. F. (1988). Financial theory and corporate policy. EUA: Addison Wiley Publishing Company.

Copeland, T., Koller, T., & Murrin, J. (2012). *Avaliação de empresas valuation: calculando e gerenciando o valor das empresas* (3a ed.). São Paulo: Pearson.

Copeland, T., Koller, T., & Murrin, J. (2002). *Avaliação de empresas valuation: calculando e gerenciando o valor das empresas* (3a ed.). São Paulo: Makron Books.

Cortez, L. A. B., Lora, E. E. S., & Gómez, E. O. (2009). *Biomassa para energia*. Campinas: Unicamp.

Costa, L. G. T. A., Costa, L. R. T. A., & Alvim, M. A. (2010). *Valuation: manual de avaliação e reestruturação econômica de empresas*. São Paulo: Atlas.

Damodaran, A. (2010). *Avaliação de investimentos: ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo* (2a ed.). Rio de Janeiro: Qualitymark.

Damodaran, A. (2004). *Finanças corporativas: teoria e prática* (2a ed.). Porto Alegre: Bookman.

Damodaran, A. (2002) A face oculta da avaliação. São Paulo: Makron Books.

Da, Z.; Guo, R. & Jagannathan, R. (2012). *CAPM for estimating the cost of equity capital: interpreting the empirical evidence. Journal of Financial Economics,* 103(1), 204-220.

*Decreto n. 46.296, de 14 de agosto de 2013*. (2013, 14 de agosto). Dispõe sobre o Programa Mineiro de Energia Renovável - Energias de Minas - e de medidas para incentivo à produção e uso de energia renovável. Recuperado de https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=257589

*Decreto n. 7.404, de 23 de dezembro de 2010*. (2010, 23 de dezembro). Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm

Deliberação Normativa n. 74, de 09 de setembro de 2004. (2004, 09 de setembro). Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Recuperado de http://www.igam.mg.gov.br/images/TR_outorga/dn_copam_74-04%20empreendimentos%20poluidores.pdf

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. Recuperado de http://www.engebio.net.

Fama, E. F., & MacBeth, J. (1973). Risk, return, and equilibrium: empirical tests. *Journal of Political Economy*, 81(3), 607--636.

Fama, E.F & French, K.R (2004).The capital asset pricing model: theory and evidence. *Journal of Economic Perspectives*, 18(3), 25-26.

Fama, E. F. & French, K. R. (1993). Common risk factors in the returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics*, 33(1), 3-56.

Fama, E. F. & French, K. R.(1992). The cross-section of expected stock returns.*The Journal of Finance*, 47( 2), 427-465.

Famá, R., & Grava, W. (2000). Teoria da estrutura de capital: as discussões persistem. *Caderno de Pesquisas em Administração*, 1(11), 27-36.

Felix, F. S., Locatelli, R. L., Fernandes, J. F., & Ramalho, W. ( 2016). Construção Civil no Brasil: Criando ou Destruindo Valor? *Revista de Gestão de Projetos, 7*(1), 70-81. Recuperado de http://www.revistagep.org/ojs/index.php/gep/article/view/400

Fernandes, J. F. (2013). *Alavancagem financeira e risco de mercado: um estudo aplicado ao setor siderúrgico brasileiro*. (Dissertação de mestrado). Fundação Pedro Leopoldo, Pedro Leopoldo, MG, Brasil.

Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco (2014). *Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão.* Jaboatão dos Guararapes: UFPE. Recuperado de http://www.bndes.gov.br/ programas/outros/fep.asp

Fundação Estadual de Meio Ambiente (2012). *Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientações para governos municipais*. Belo Horizonte. Recuperado em 22 agosto, 2016, do sitio http://www.resol.com.br/cartilhas/aproveitamento_energetico_de_rsu_guia_feam_(2).pdf

Fundação Naciional de Saúde (2016). *Biblioteca eletrônica, publicações, engenharia de saúde pública e saúde ambiental.* Recuperado de http://www.funasa.gov.br/site/noticias/noticias-de-sua-regional/mg/

GIL, A. C. (2009). *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas.

Hamada, R. S. (1971). the effect of the firm's capital structure on the systematic risk of common stocks. *Annual Meeting of the American Finance Association*, New Orleans, Louisiana, EUA.

Horne, J. C., Van (1998). *Financial management and policy.* New Jersey: Prentice Hall Inc. Recuperado de https://pt.scribd.com/doc/100728869/Financial-Management-Policy-by-James-c-Van-Horne-12th-edition

Instituto Brasileiro de Administração Municipal ((2001). *Gestão integrada de resíduos sólidos. manual Gerenciamento Integrado de Resíduos* .Rio de Janeiro: Recuperado de http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *Censo 2010*. Recuperado de http://censo2010.ibge.gov.br/

Iudícibus, S. de. (2010). *Análise de balanços* (10a ed.). São Paulo: Atlas.

Jucá, J. F. T.(2012). *Alternativas Tecnológicas para Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*. Palestra ministrada na Rio+20 - Conferência das Nações Unidas. Rio de Janeiro, RJ, Basil.

Keynes, J. M. (1936). T*he general theory of employment, interest and money*. New York: Harcourt, Brace and Company.

Khotari, S., Shanken, J., & Sloan, R. (1995). Another look at the cross section of expected returns. The Jornal of Finance, 1(1), p.85-205.

Lakonishok, J., & Shapino A.C. (1986). Systematic risk, total risk and size as determinants of stock market returns. *Journal of Banking and Finance*, 115-132. North-Holland

Leão, L., Martins, P., & Locatelli, R. (2012). Gestão de ativos e passivos e controle de riscos: um estudo aplicado ao Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais S/A. *Revista de Gestão & Tecnologia*, 12(3), 3-25.

Leff, E. (2001). *Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder.* Petrópolis: Vozes.

*Lei n. 9.430, de 27 de dezembro de 1996*. (1966, 27 de dezembro). Dispõe sobre a legislação tributária federal, as contribuições para a seguridade social, o processo administrativo de consulta e dá outras providências. Recuperada de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9430.htm

*Lei n. 10.637, de 30 de dezembro de 2002*. (2002, 30 de dezembro). Dispõe sobre a não-cumulatividade na cobrança da contribuição para os Programas de Integração Social (PIS) e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (Pasep), nos casos que especifica; sobre o pagamento e o parcelamento de débitos tributários federais, a compensação de créditos fiscais, a declaração de inaptidão de inscrição de pessoas jurídicas, a legislação aduaneira, e dá outras providências. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10637.htm

*Lei n 10.534, de 10 de setembro de 2012*. (2012, 10 de setembro). Dispõe sobre a limpeza urbana, seus serviços e o manejo de resíduos sólidos urbanos no Município, e dá outras providências. Recuperada de http://cmbhsilinternet.cmbh.mg.gov.br:8080/silinternet/consultaNormas/detalheNorma.do?id=2c907f7639b1362c0139b57ba6f50001&metodo=detalhar

*Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010*. (2010, 2 de agosto). Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

Lima, S. M., Locatelli, R. L., Lara, J. E., & Ramalho, W. (2015). Gestão do desempenho de empresas baseada na geração de valor: análise do setor de energia em anos recentes. *Anais do 4º Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade*, São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de http://www.singep.org.br/4singep/resultado/691.pdf

Lintner, J. (1965). The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. *The Review of Economics and Statistics,* 47(1), 13-37.

Locatelli, R. L. (1985a). Efeitos macroeconômicos de uma redistribuição de renda: um estudo para o Brasil. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, 15(1), 139-170.

Locatelli, R. L. (1985b). *Industrialização, crescimento e emprego: uma avaliação da experiência brasileira.* Rio de Janeiro: PNPE, IPEA/INPES.

Locatelli, R. L., Nasser, J, & Mesquita, J. M. C. (2015a). Fatores determinantes da estrutura de capital no agronegócio: o caso das empresas brasileiras. *Revista Organizações Rurais & Agroindustriais*, 17(1), 72-86.

Locatelli, R. L., Ramalho, W., Silvério, R. A., & Afonso, T.(2015b). Determinantes da inadimplência no crédito habitacional direcionado à classe média emergente Brasileira. *Revista de Finanças Aplicadas*, 1, 1-30. Recuperado de http://www.financasaplicadas.net/index.php/financasaplicadas/article/view/235

Lourenço, B. (2016). CAE pode votar criação de incentivos fiscais para fontes alternativas de energia. Recuperado de http://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/cae-pode-votar-criacao-de-incentivos-fiscais-para-fontes-alternativas-de-energia

Macedo, J. (2013). *Aterro sanitário aumenta infestação de ratos em Sabará*. Recuperado de http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/10/14/interna_gerais,459489/aterro-sanitario-aumenta-infestacao-de-ratos-em-sabara.shtml

Marquetotti, D. M. (2014*). IPO e o custo de capital*: *um estudo de caso do setor de serviços de locação de máquinas e equipamentos*. (Dissertação de mestrado). Fundação Pedro Leopoldo, Pedro Leopoldo, MG, Brasil.

Markowitz, H. M. (1952). Portfolio selection. *Journal o The Journal of Finance*, 7 (1), 77-91. Recuperado de https://www.math.ust.hk/~maykwok/courses/ma362/07F/markowitz_JF.pdf

Mattar, F. N. (2014). *Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento, execução e analise* (7a ed.). Rio de Janeiro: Elservier.

McCraw,T.K. (2007). *Prophet of innovation*. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press.

Miller, R. L. (1981). *Microeconomia: teoria, questões e aplicações*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

Ministério do Meio Ambiente (2016). *Agenda 21*. Recuperado de http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21

Modigliani, F., & Miller, M. H. (1963). The corporate income taxes and the cost of capital: a correction. *American Economic Review*, 53(3), 433-443.

Modigliani, F., & Miller, M. H.. (1958). The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *American Economic Review*, 48(3), 261-297.

Monteiro, José H. P., & Zveibil, V. Z. (2001). *Manual Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos*, Rio de Janeiro: IBAM.

Moreira, R., Locatelli, R. L., & Ramalho, W. (2015). Avaliação e gestão econômico-financeira de projetos: um estudo aplicado ao setor metalúrgico. *Anais do 4º Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade*, São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de http://www.singep.org.br/4singep/resultado/687.pdf

Nascimento, A. M. (1988). *Uma contribuição para o estudo dos custos de oportunidade.* (Dissertação de mestrado em Contabilidade). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de São Paulo, SP, Brasil.

*Norma Brasileira 8419* (1992, 30 de abril). *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento*. Recuperado de http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=80553

Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura. (1998) World education report 1998: teachers and teaching in a changing world reference Recuperado de http://www.voced.edu.au/content/ngv:33487

Pereira, A. C., Souza, B. F., Redaelli, D. R., & Imoniana, J. O. (1990). Custo de oportunidade: conceitos e contabilização. *Caderno de Estudos,* (02), 1-24.

Piketty, T. (2014). *O capital no século XXI.* Rio de Janeiro: Íntriseca.

Póvoa, A. (2012). *Valuation: como precificar ações*. Rio de Janeiro: Campus.

Porteous, A. (2005). Why energy from waste incineration is an essential component of environmentally responsible waste management. *Waste Management* , *25*(4), 451–459.

Resolução ARSAE – MG 82/2016, de 12 de abril de 2016. (2016, 12 de abril). Autoriza a Revisão Tarifária dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário prestados pela Companhia de S https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=318837aneamento de Minas Gerais - Copasa e dá outras providências. Recuperado de

Ross, S., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. E (2002*). Administração financeira - corporate finance*. São Paulo: Atlas.

Ross, S., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. E. (2010). *Princípios da Administração Financeira*. São Paulo: Atlas.

Saito, R., Terra, P. R., Silva, A. L., & Silveira, A. D. (2008). Fórum O cinquentenário de Modigliani & Miller: reflexões sobre a teoria e a prática das finanças no Brasil. *Revista de Administração de Empresas*, 48(4), 64-66.

Sandroni, P. (1999). Novíssimo dicionário de economia. Rio de Janeiro: Best Seller. Recuperado de http://sinus.org.br/2014/wp-content/uploads/2013/11/FMI.BMNovíssimo-Dicionário-de-Economia.pdf

Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão. (2016). *Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado.* Recuperado de http://www.planejamento.mg.gov.br/estrategia-de-governo/plano-mineiro-de-desenvolvimento-integrado

Serra, R. G., & Wickert, M. (2014). *Valuation: guia fundamental*. São Paulo: Atlas.

Serviço de Limpeza Urbana. (2004). C*aracterização dos resíduos sólidos de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Limpeza Urbana. Recuperada de http://www.blogdocancado.com/wp-content/uploads/2011/02/relat-caracterizacao-residuos-2004-bh.pdf

Serviço de Limpeza Urbana (2014). C*aracterização dos resíduos sólidos de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Limpeza Urbana. Recuperado de http://www.blogdocancado.com/wp-content/uploads/2011/02/relat-caracterizacao-residuos-2004-bh.pdf

Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425-442.

Sharpe, W. F., Alexander, G. J., & Bailey, J. V. (1995). *Investments* (5a ed.) Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Silva, T. V., Locatelli, R. L., & Lamounier, W, M. (2016). Abertura de capital e retornos aos acionistas: o caso da Companhia de Saneamento de Minas Gerais S/A. *Revista Gestão & Tecnologia, 16*(1), 7-32.

Silva, J. P. da (2010). *Análise financeira das empresas*. (10a ed.). São Paulo: Atlas.

Sontag, A. G.; Cruz, I.K,H.; Butarelli, F. P.; Bertolini, G. R. F, (2015), Analysis of economic viability for solid urban waste treatment systems in the municipality of Marechal Candido Rondon-PR*. Revista Gestão Ambiental,* 4(3), 1-13.

Tobin, J. (1958).Liquidity preference as behavior towards risk. *The Review of Economic Studies*, *25*(2), 65-86.

Treynor, J. L. (1961). *Market value, time, and risk*. Recuperado de http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2600356

Zveibil, V. Z. (2001). *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM.

# Apêndice

**Tabela 19**

Fluxo de Caixa Livre – Alternativa 2 - Período de Implantação Anos 1 e 2 e Operação

| Descrição | Implantação | | Operação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ano 1 | Ano 2 | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 a 9 |
| **Receita Líquida** | | | **4.450.200** | **4.450.200** | **4.450.200** |
| Venda de Energia elétrica | | | 1.281.800 | 1.281.800 | 1.281.800 |
| Venda de Energia térmica | | | 1.293.400 | 1.293.400 | 1.293.400 |
| Compostagem | | | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 |
| **( - ) Custo dos serviços/produtos** | | (14.025) | (485.052) | (485.052) | (495.052) |
| Energia elétrica | | | (112.950) | (112.950) | (112.950) |
| Energia térmica | | | (301.200) | (301.200) | (301.200) |
| Outros Insumos | | (14.025) | (70.902) | (70.902) | (70.902) |
| Óleo lubrificante | | (2.000) | (6.000) | (6.000) | (6.000) |
| Diesel | | (2.041) | (34.950) | (34.950) | (34.950) |
| Água industrial planta piloto | | (9.984) | (29.952) | (29.952) | (29.952) |
| Assistência técnica | | | | | (10.000) |
| **( = ) Lucro Bruto** | | **(14.025)** | **3.965.148** | **3.965.148** | **3.955.148** |
| **( - ) Desp. Administrativas/Operacionais** | (146.385) | (258.592) | (492.409) | (492.409) | (492.409) |
| **Despesas administrativas** | (1.603) | (8.241) | (30.918) | (30.918) | (30.918) |
| Aluguel do terrreno /planta piloto | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) |
| Escritório (Banda larga/telefonia) | | (1.200) | (2.400) | (2.400) | (2.400) |
| Suporte Técnico Informática/Mat.Esc. | | (5.280) | (15.840) | (15.840) | (15.840) |
| Assessoria Contábil | | | (10.560) | (10.560) | (10.560) |
| Água de uso do escritório | (103) | (261) | (618) | (618) | (618) |
| **Despesas com Pessoal** | (144.782) | (250.351) | (461.491) | (461.491) | (461.491) |
| Engenheiro Operacional | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) |
| Operador de pá carregadeira | | (10.560) | (31.680) | (31.680) | (31.680) |
| Técnico Operacional | | (47.520) | (142.560) | (142.560) | (142.560) |
| Operário de limpeza geral | | (3.520) | (10.560) | (10.560) | (10.560) |
| Encargos Trabalhistas | (55.900) | (96.661) | (178.182) | (178.182) | (178.182) |
| Ticket alimentação e Vale transporte | (4.401) | (7.610) | (14.029) | (14.029) | (14.029) |
| **( = ) EBITDA** | **(146.385)** | **(272.617)** | **3.472.739** | **3.472.739** | **3.462.739** |
| ( - ) Depreciação | | | **(2.424.457)** | **(2.424.457)** | **(2.424.457)** |
| Máquinas e equipamentos | | | (2.284.012) | (2.284.012) | (2.284.012) |
| Obras civis | | | (140.445) | (140.445) | (140.445) |
| **( = ) EBIT** | **(146.385)** | **(272.617)** | **1.048.283** | **1.048.283** | **1.038.283** |
| ( - ) Tributos sobre o lucro (IRPJ e CSLL) | | | **(28.078)** | **(30.254)** | **(353.016)** |
| **( = ) NOPLAT** | **(146.385)** | **(272.617)** | **1.020.205** | **1.018.029** | **685.267** |
| ( + ) Depreciação e Amortizaçao | | | **2.424.457** | **2.424.457** | **2.424.457** |
| **( - ) CAPEX** | **(12.927.962)** | **(13.423.277)** | | | |
| **Máquinas/equipamentos/mobiliário** | (10.821.289) | (12.018.828) | | | |
| Planta piloto industrial | (9.610.638) | (10.112.851) | | | |
| Motogerador | (425.195) | (637.792) | | | |
| Pá carregadeira (Bobcat) | | (90.000) | | | |
| Montagem eletromecânica | (785.456) | (1.178.185) | | | |
| **Obras civis** | (2.106.673) | (1.404.449) | | | |
| **( - ) Capital de giro** | **(200.000)** | **(300.000)** | | | |
| **( = ) Fluxo de caixa para os investidores** | **(13.274.347)** | **(13.995.894)** | **3.444.661** | **3.442.485** | **3.109.723** |

**Tabela 20**
Fluxo de Caixa Livre – Alternativa 2 - Período de Operação dos anos 10 ao 30.

| Descrição | Operação | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Ano 10** | **Ano 11 a 19** | **Ano 20** | **Ano 21 a 25** | **Ano 26 a 29** | **Ano 30** |
| **Receita Líquida** | **4.450.200** | **4.450.200** | **4.450.200** | **4.450.200** | **4.450.200** | **4.450.200** |
| Venda de Energia elétrica | 1.281.800 | 1.281.800 | 1.281.800 | 1.281.800 | 1.281.800 | 1.281.800 |
| Venda de Energia térmica | 1.293.400 | 1.293.400 | 1.293.400 | 1.293.400 | 1.293.400 | 1.293.400 |
| Compostagem | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 | 1.875.000 |
| **( - ) Custo dos serviços/produtos** | (495.052) | (495.052) | (495.052) | (495.052) | (495.052) | (495.052) |
| Energia elétrica | (112.950) | (112.950) | (112.950) | (112.950) | (112.950) | (112.950) |
| Energia térmica | (301.200) | (301.200) | (301.200) | (301.200) | (301.200) | (301.200) |
| Outros Insumos | (70.902) | (70.902) | (70.902) | (70.902) | (70.902) | (70.902) |
| Óleo lubrificante | (6.000) | (6.000) | (6.000) | (6.000) | (6.000) | (6.000) |
| Diesel | (34.950) | (34.950) | (34.950) | (34.950) | (34.950) | (34.950) |
| Água industrial planta piloto | (29.952) | (29.952) | (29.952) | (29.952) | (29.952) | (29.952) |
| Assistência técnica | (10.000) | (10.000) | (10.000) | (10.000) | (10.000) | (10.000) |
| **( = ) Lucro Bruto** | **3.955.148** | **3.955.148** | **3.955.148** | **3.955.148** | **3.965.148** | **3.955.148** |
| **( - ) Desp. Administrativas/Operacionais** | (492.409) | (492.409) | (492.409) | (492.409) | (492.409) | (492.409) |
| **Despesas administrativas** | (30.918) | (30.918) | (30.918) | (30.918) | (30.918) | (30.918) |
| Aluguel do terrreno /planta piloto | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) | (1.500) |
| Escritório (Banda larga/telefonia) | (2.400) | (2.400) | (2.400) | (2.400) | (2.400) | (2.400) |
| Suporte Técnico Informática/Mat.Esc. | (15.840) | (15.840) | (15.840) | (15.840) | (15.840) | (15.840) |
| Assessoria Contábil | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) |
| Água de uso do escritório | (618) | (618) | (618) | (618) | (618) | (618) |
| **Despesas com Pessoal** | (461.491) | (461.491) | (461.491) | (461.491) | (461.491) | (461.491) |
| Engenheiro Operacional | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) | (84.480) |
| Operador de pá carregadeira | (31.680) | (31.680) | (31.680) | (31.680) | (31.680) | (31.680) |
| Técnico Operacional | (142.560) | (142.560) | (142.560) | (142.560) | (142.560) | (142.560) |
| Operário de limpeza geral | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) | (10.560) |
| Encargos Trabalhistas | (178.182) | (178.182) | (178.182) | (178.182) | (178.182) | (178.182) |
| Ticket alimentação e Vale transporte | (14.029) | (14.029) | (14.029) | (14.029) | (14.029) | (14.029) |
| **( = ) EBITDA** | **3.462.739** | **3.462.739** | **3.462.739** | **3.462.739** | **3.462.739** | **3.462.739** |
| ( - ) Depreciação | **(2.424.457)** | **(197.545)** | **(197.545)** | **(197.545)** | (57.100) | (57.100) |
| Máquinas e equipamentos | (2.284.012) | (57.100) | (57.100) | (57.100) | (57.100) | (57.100) |
| Obras civis | (140.445) | (140.445) | (140.445) | (140.445) | | |
| **( = ) EBIT** | **1.038.283** | **3.265.194** | **3.265.194** | **3.265.194** | **3.405.639** | **3.405.639** |
| ( - ) Tributos sobre o lucro (IRPJ e CSLL) | **(353.016)** | **(1.110.166)** | **(1.110.166)** | **(1.110.166)** | **(1.157.917)** | **(1.157.917)** |
| **( = ) NOPLAT** | **685.267** | **2.155.028** | **2.155.028** | **2.155.028** | **2.248.722** | **2.248.722** |
| ( + ) Depreciação e Amortizaçao | **2.424.457** | **197.545** | **197.545** | **197.545** | **57.100** | **57.100** |
| **( - ) CAPEX** | **(571.003)** | | **(571.003)** | | | |
| **Máquinas/equipamentos/mobiliário** | (571.003) | | (571.003) | | | |
| Planta piloto industrial | | | | | | |
| Motogerador | | | | | | |
| Pá carregadeira (Bobcat) | | | | | | |
| Montagem eletromecânica | | | | | | |
| **Obras civis** | | | | | | |
| **( - ) Capital de giro** | | | | | | 500.000 |
| **( = ) Fluxo de caixa para os investidores** | **2.538.720** | **2.352.573** | **1.781.570** | **2.352.573** | **2.305.822** | **2.805.822** |

Fonte: Dados da pesquisa.