

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Francisco Savastano Neto

**SUSTENTABILIDADE APLICADA À INDÚSTRIA: O USO
EFICIENTE DA ENERGIA COMO FORMA DE
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL**

**TAUBATÉ – SP
2010**

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Francisco Savastano Neto

**SUSTENTABILIDADE APLICADA À INDÚSTRIA: O USO
EFICIENTE DA ENERGIA COMO FORMA DE
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Programa de Pós
Graduação em Ciências Ambientais do
Departamento de Ciências Ambientais da
Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Nelson W. Dias

**TAUBATÉ - SP
2010**

**Ficha catalográfica elaborada pelo
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

S266s Savastano Neto, Francisco
Sustentabilidade aplicada à indústria: o eficiente da energia como
forma de conservação ambiental / Francisco Savastano Neto. - 2010.
117 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, Programa de Pós-
graduação em Ciências Ambientais, 2010.
Orientação: Prof. Dr. Nelson Wellausen Dias, Departamento de
Ciências Ambientais.

1. Eficiência energética. 2. Energia. 3. Indicador de sustentabilidade.
4. Redução das emissões de gases do efeito estufa. I. Título.

A minha esposa Zeza, pela paciência, companheirismo, e apoio na superação de todos os obstáculos. As minhas filhas Amanda e Thaís pelo apoio, e por entenderem as minhas constantes ausências.

AGRADECIMENTOS:

Os meus mais sinceros agradecimentos ao Alexandre Falleiros, João Costa, José Francisco Cau, Júlio Malva, Lázaro Oliveira (Moita), Renato Correa Netto, e Sebastião Rocha, pela ajuda recebida durante as várias etapas da elaboração desta dissertação. Esta ajuda e o apoio recebidos foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Ao meu orientador Nelson W. Dias por sua disponibilidade, e confiança em mim depositada.

Aos amigos da Turma XVI, pela boa convivência na caminhada deste aprendizado.

SUSTENTABILIDADE APLICADA À INDÚSTRIA: O USO EFICIENTE DA ENERGIA COMO FORMA DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL

RESUMO:

Uma parcela significativa da energia gasta no Brasil está relacionada ao consumo industrial (40,6%). Este trabalho propõe a mostrar um dos muitos caminhos para se obter a redução no consumo de energia elétrica na indústria e, com isso, diminuir as emissões associadas à geração, transmissão e consumo deste recurso. A busca da indústria pela eficiência energética, aliada às práticas econômicas, sociais e ambientais adequadas, pode colocá-la no caminho da sustentabilidade. A emissão de CO₂/kWh foi o indicador escolhido para monitorar o comportamento do consumo de energia no desenvolvimento dos dois estudos de caso. O principal objetivo destes casos foi a redução das emissões de gases do efeito estufa por meio do uso eficiente da energia elétrica. No primeiro caso um sistema de moagem de polpa de celulose usada na fabricação de fraldas foi substituído por outro mais eficiente, obtendo-se uma redução no consumo de energia de 60%, o que gera uma redução estimada das emissões de CO₂ de 80 t/ano. No segundo caso, o sistema de vácuo da formação da fralda foi trocado por outro mais eficiente, conseguindo-se uma redução de 56% no consumo de energia, com a conseqüente redução estimada de emissão de CO₂ de 74 t/ano. Nestes casos observou-se que a utilização eficiente de fontes de energia, além de gerar um menor nível nas emissões de gases do efeito estufa, também contribui para a redução dos custos industriais.

PALAVRAS CHAVE: Energia, Eficiência energética, Indicador de sustentabilidade, Redução das emissões de gases do efeito estufa.

**INDUSTRIAL SUSTAINABILITY: THE EFFICIENT ENERGY USE
AS FORM OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION**

ABSTRACT:

A significant fraction of the energy spent in Brazil is associated with industrial consumption (40.6%). The purpose of this work is to demonstrate one of many ways to reduce electric energy consumption by the industry and, as consequence, reduce emissions associated with generation, transmission, and consumption of this resource. The search of energetic efficiency, coupled with economical, social, and environmental practices can shift the industry in the direction of a sustainability path. The emission of CO₂/kWh was chosen as a sustainability indicator to monitor the energy consumption pattern during the development of this research. The main objective was to assess the reduction of the greenhouse gas emission, associated with a higher electric energy efficiency consumption strategy adopted in two cases that were analyzed. At the first case, a cellulose pulp milling system, used at a diaper manufacturing process, was replaced by another system with higher efficiency. The reduction in energy consumption reached 60%, and reduced greenhouse gas emissions in an estimated 80 ton/year. At the second case, a fan of the diaper vacuum system was also replaced by a more efficient system. The energy consumption decreased 56%, resulting in a greenhouse gas emissions reduction of 74 ton/year. These results demonstrate the relationship between adopting more energy efficient system, and the reduction in greenhouse gas emissions, that moreover, contributes to industrial cost reduction.

KEY WORDS: Energy, Energetic efficiency, Sustainability indicator, Greenhouse gas emissions reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de sustentabilidade empresarial	23
Figura 2 – Estrutura do uso da energia	34
Figura 3 – Triângulo de potência	59
Figura 4 – Esquema do sistema de formação da fralda	61
Figura 5 – Rolo de polpa de celulose	62
Figura 6 – Moinho antigo	63
Figura 7 – Motor 250 CV acionamento do moinho antigo	64
Figura 8 – Rotor do moinho antigo (martelos oscilantes)	64
Figura 9 – Instrumentista obtendo dados de campo	67
Figura 10 – Instrumentista com equipamentos de segurança	68
Figura 11 – Ventilador antigo removido da unidade de produção	72
Figura 12 – Ventilador de nova geração	72
Figura 13 – Vacuômetro do sistema de formação	74
Figura 14 – Gráfico exibindo variação significativa da Ee	78
Figura 15 – Gráfico Ee moinho antigo com variação quantidade de polpa	79
Figura 16 – Gráfico Ee moinho antigo com base dados modificada	80
Figura 17 – Gráfico Ee moinho nova geração com variação quantidade de polpa	81
Figura 18 – Gráfico Ee moinho nova geração com base de dados modificada	82
Figura 19 – Gráfico potência acionamento moinhos em vazio	84
Figura 20 - Comparativo potência acionamento ventiladores antigo e novo	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo comparativo entre competitividade e sustentabilidade	21
Tabela 2 – Consumo de energia por setores da economia brasileira	28
Tabela 3 – Evolução do consumo de energia por setor no Brasil	32
Tabela 4 – Distribuição da energia primária no Brasil e no mundo	36
Tabela 5 – Oferta interna de energia no Brasil	38
Tabela 6– Principais fontes antropogênicas emissoras gases do efeito estufa	54
Tabela 7– Modelo de planilha de coleta dados dos moinhos	69
Tabela 8– Modelo de planilha de coleta dados dos ventiladores	76
Tabela 9 – Comparativo da Ee dos moinhos em operação	83
Tabela 10 – Comparativo energia acionamento moinhos em vazio	84
Tabela 11 – Comparativo energia acionamento dos ventiladores	85
Tabela 12 – Comparativo energia acionamento dos ventiladores em vazio	86
Tabela 13 – Emissões anuais de CO ₂ por moinho	88
Tabela 14 – Emissões anuais de CO ₂ por ventilador	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Ampère;

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;

BEN – Balanço Energético Nacional;

BPF – Baixo ponto de fluidez;

CONPET – Programa Racionalização de Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural;

CFC – Clorofluorcarbono;

CH₄ – Metano;

CV – Cavalo vapor;

Ee – Eficiência energética;

g – Grama;

GEE- Gases do efeito estufa;

HP – *Horse Power*;

i – Corrente;

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas;

O₃ – Ozônio;

TEP (tep) – Tonelada equivalente de petróleo;

MEB – Matiz Energética Brasileira;

Mtep – Milhões de toneladas equivalentes de petróleo;

MW – megawatts;

N₂O – Óxido nitroso;

P – Potência;

PCH's – Pequenas centrais hidrelétricas;

Pp – Peso de polpa;

PPM – Produtos por minuto;

PROCEL – Programa nacional de conservação de energia elétrica;

Qp – Quantidade de polpa desfibrada;

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre;

V – volt;

Vo – Velocidade de operação.

SUMÁRIO

1 Introdução	16
1.1 Objetivo Geral	17
1.2 Objetivos Específicos	17
2 Revisão Bibliográfica	18
2.1 Desenvolvimento Sustentável	18
2.1.1 Sustentabilidade Empresarial	19
2.1.2 Indicadores de Sustentabilidade	24
2.1.3 Indicadores de Sustentabilidade – Roteiro Discussão	25
2.1.3.1 Para Produto	25
2.1.3.2 Para Processo	26
2.1.3.3 Para Social	26
2.2 Energia	29
2.2.1 Classificação das Fontes de Energia	32
2.2.2 Fontes de Energia	36
2.2.3 Fontes Renováveis de Energia	38
2.2.3.1 Grandes Empreendimentos de Energia Hidráulica	39
2.2.3.2 Energia de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's)	41
2.2.3.3 Energia de Biomassa	42
2.2.3.4 Energia Solar	44
2.2.3.5 Energia Eólica	45
2.2.4 Fontes Não Renováveis de Energia	46
2.2.4.1 Petróleo	46
2.2.4.2 Gás Natural	48
2.2.4.3 Carvão	50
2.2.4.4 Energia Nuclear	50
2.3 Efeito Estufa	52
2.3.1 Efeito Estufa Natural	52
2.3.2 Efeito Estufa Antropogênico	53

2.4 Externalidades Relativas à Energia	55
2.5 Eficiência Energética	56
2.5.1 Motores Elétricos	58
3 Material e Método	60
3.1 Indicadores de Sustentabilidade Adotados	60
3.2 Caracterização do Estudo de Caso	60
3.2.1 Moinho Desfibrador de Polpa	62
3.2.1.1 Obtenção dos Dados	65
3.2.2 Ventilador do Sistema de Vácuo de Formação	71
3.3 Obtenção dos Dados	73
4 Resultados e Discussão	77
4.1 Moinho Desfibrador de Polpa	77
4.2 Ventilador do Sistema de Vácuo de Formação	85
4.3 Cálculo de Emissões	87
5 Conclusões	89
6 Outras Considerações	90
7 Referências Bibliográficas	92
Apêndice	95
Apêndice A – Descrição dos Equipamentos de Medição	95
Apêndice B – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Moinho Antigo	96
Apêndice C – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Moinho Antigo	97
Apêndice D – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Moinho Antigo	98
Apêndice E– Dados Produção e Consumo da Máquina 1 com Moinho de Nova Geração. .	99
Apêndice F – Dados Produção e Consumo da Máquina 1 com Moinho de Nova Geração. .	100
Apêndice G – Dados Produção e Consumo da Máquina 1 com Moinho de Nova Geração .	101
Apêndice H– Dados Produção e Consumo Moinho Antigo Rodando em Vazio	102
Apêndice I – Dados Produção e Consumo Moinho de Nova Geração Rodando em Vazio .	103
Apêndice J – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Ventilador Antigo	104
Apêndice K – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Ventilador Antigo	105
Apêndice L – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Nova Geração de Ventilador	106
Apêndice M – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Nova Geração de Ventilador	107
Apêndice N – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Nova Geração	

de Ventilador	108
Apêndice O – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Ventilador Antigo	
em Vazio	109
Apêndice P – Dados Produção e Consumo da Máquina 2 com Ventilador Antigo	
em vazio	110
Anexo	111
Anexo A – Dimensional do Ventilador do Sistema de Vácuo de Formação da Fralda ...	111
Anexo B – Lista de Definições	112
Autorização de Reprodução	114