

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2011

JULIANA SANTOS RUZENE

GESTÃO ENERGÉTICA E AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES:
AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA CERTIFICAÇÃO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Projetos e Materiais.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri
Co-orientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias

Guaratinguetá
2011

Ruzene, Juliana Santos
R987g Gestão energética e ambiental de edificações : avaliação
de metodologias para certificação / Juliana Santos Ruzene. –
Guaratinguetá : [s.n.], 2011
139 f. : il.
Bibliografia: f. 126-135

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011
Orientador: Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri
Co-orientador: Rubens Alves Dias

1. Energia - Conservação I. Título

CDU 536.72

JULIANA SANTOS RUZENE

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

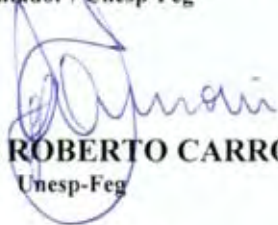
PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA

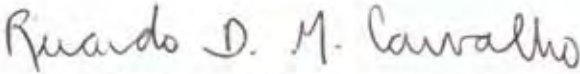
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO PERRELLA BALESTIERI
Orientador / Unesp-Feg


Prof. Dr. LUIZ ROBERTO CARROCCI
Unesp-Feg


Prof. Dr. RICARDO DIAS MARTINS DE CARVALHO
IEM/UNIFEI

DADOS CURRICULARES

JULIANA SANTOS RUZENE

NASCIMENTO	19.12.1983 – GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	Sergio Ruzene Ruth Santos Ruzene
2003/2008	Curso de Graduação Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto
2009/2011	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, Sérgio, pelos esforços empregados na minha formação e por seu amor e carinho. À minha mãe amada, Ruth, meu exemplo de vida e perseverança.

Aos meus irmãos Denise e Denílson que me apontaram o curso e incentivaram sua realização.

Aos professores José Antônio Perrella Balestieri e Rubens Alves Dias pela orientação, incentivo e dedicação durante todo o período de trabalho, que pelo vasto conhecimento na área de energia, exerceram papel decisivo desde a escolha do tema da pesquisa até a finalização desta.

Aos funcionários da Secretária de Pós-graduação e da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FDCT que pela dedicação e auxílio também contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Aos Professores Luiz Roberto Carrocci e Ricardo Dias Martins de Carvalho por aceitarem o convite para compor a banca examinadora, e ao Prof. Guilherme Filippo pelo apoio na ocasião da coleta de informações elétricas da edificação analisada no estudo de caso.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Este trabalho contou com apoio das seguintes entidades

- CNPq –

“O mundo que criamos, como resultado de nossos pensamentos, tem hoje problemas que não podemos resolver pensando como pensávamos quando os criamos”

Albert Einstein

RUZENE, J. S. **Gestão energética e ambiental de edificações:** avaliação de metodologias para certificação. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

O sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) consiste numa metodologia para avaliar o desempenho energético e ambiental de edificações ao longo de seu ciclo de vida, tendo como objetivo direcionar ações para o conceito de edificações sustentáveis (*green buildings*) e fornecer uma padronização para medir a dimensão ambiental relativa dos projetos. No Brasil, a Eletrobrás, através do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e em parceria com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), lançaram a Etiqueta Nacional de Eficiência Energética em Edificações (ENCE), para edifícios comerciais, de serviços e públicos, reconhecendo edificações que reduzam o consumo de energia elétrica e água. Neste trabalho foi realizado um estudo de certificação energética e ambiental de edificações, bem como a identificação de alternativas técnicas para o enquadramento em níveis mais adequados e correspondente estudo de viabilidade econômica. Como estudo de caso, o edifício da Fundação existente no Campus de Guaratinguetá da UNESP foi analisado de acordo com os preceitos da avaliação de desempenho de ambas as metodologias. Com base nos resultados obtidos, foram realizadas sugestões de tecnologias e modificações possíveis de serem implantadas.

PALAVRAS-CHAVE: Metodologias de Certificação; Eficiência Energética; Desempenho Ambiental; Prédios Verdes.

RUZENE, J. S. Energetic and environmental management of buildings: evaluation of methods for certification. 2011. 139 f. Dissertation (Master's degree in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

The LEED system (Leadership in Energy and Environmental Design) is a methodology for evaluating the energetic and environmental performance of buildings throughout their life cycle, aiming to guide actions for the concept of green building and provide a standard for measuring the size on environmental projects. In Brazil, Eletrobras, through the National Program for Energy Conservation (PROCEL) and in partnership with the National Institute of Metrology, Standardization and Industrial Quality (Inmetro), launched the Label National Energy Efficiency in Buildings (ENCE), for commercial buildings, and public service, recognizing buildings that reduce the consumption of electricity and water. In this research report it was presented an environmental and energetic certification of buildings study, as well as the analysis of technical solutions for the framework in more appropriate levels, and corresponding economic feasibility study. As a case study, the Foundation's existing building on the campus of UNESP at Guaratinguetá was analyzed in accordance with the principles of performance evaluation of both approaches. Based on these results, suggestions were made of possible technologies and changes being implemented.

KEYWORDS: Certification Methodologies; Energy Efficiency; Environmental Performance; Green Building.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema de coleta água de chuva	29
Figura 2.2 - Áreas de captação de água de chuva.....	30
Figura 2.3 - Opções para reuso de águas cinzas.....	32
Figura 2.4 - Torneira de lavatório de mesa:	36
Figura 3.1 - Zoneamento bioclimático brasileiro	43
Figura 3.2 - Orientação das fachadas por pontos cardeais	46
Figura 3.3 - Variáveis da equação geral	52
Figura 3.4 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações.	53
Figura 3.5 – Exemplo do <i>checklist</i> para aplicação do LEED para prédio já existentes	56
Figura 3.6 – Desenho esquemático do fluxo de caixa.....	58
Figura 3.7 – Representação gráfica de um fluxo de caixa e seu fluxo uniforme equivalente.....	59
Figura 4.1 Planta baixa do edifício.....	60
Figura 4.2 – Perfil de consumo de energia elétrica da FDCT	62
Figura 4.3 - Curva de carga da edificação analisada – Potência Ativa	63
Figura 4.4 - Curva de carga revelando a Potência Aparente e o Fator de Potência da edificação.....	63
Figura 4.5 - Arranjo das luminárias em planta da FDCT.....	68
Figura 4.6 - Desenho esquemático do bloco de concreto constituinte da parede da Fundação e a orientação da transferência de calor com o ambiente externo.	72
Figura 5.1 – Configuração das luminárias.....	87
Figura 5.2 - Dados Pluviométricos registrados para cidade de Guaratinguetá	94
Figura 5.3 - Componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva:.....	94
Figura 5.4 - Fluxo de caixa para a análise de investimento para o sistema de iluminação	112
Figura 5.5 – Representação da razão entre retorno do investimento e valor de revenda dos equipamentos.	115
Figura 5.6 - Fluxo de caixa para a análise do sistema de ar condicionado	118
Figura 5.7 - Fluxo de caixa para melhorias no consumo de água.	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Parâmetros do IC _{máxD}	46
Tabela 3.2 - Parâmetros do IC _{min}	46
Tabela 3.3 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.....	47
Tabela 4.1 – Histórico de consumo de energia elétrica da FDCT.....	61
Tabela 4.2 – Resumo da análise do fluxo luminoso nos ambientes da FDCT.....	67
Tabela 4.3 - Dados do Sistema de Iluminação da FDCT.....	68
Tabela 4.4 - Diferencial de Temperatura dos elementos da edificação (°C).....	74
Tabela 4.5 - Acréscimo no Diferencial de Temperatura de superfícies (°C).....	74
Tabela 4.6 – Ganho de calor por condução no auditório.....	75
Tabela 4.7 – Ganho de calor por insolação no auditório.....	75
Tabela 4.8 – Ganho de calor devido aos equipamentos.....	76
Tabela 4.9 - Resumo do cálculo de carga térmica para o Auditório.....	76
Tabela 4.10 - Resumo do cálculo de carga térmica para o ambiente do escritório.....	76
Tabela 4.11 - Valores para os cálculos de IC _{env} , IC _{máxD} e IC _{min}	80
Tabela 4.12 - Limites máximo aceitável de DPI _L	81
Tabela 4.13 – Potência limite máxima conforme nível pretendido para a FDCT.....	81
Tabela 5.1 - Resumo das cargas térmicas que envolvem o ambiente do auditório.....	88
Tabela 5.2 - Resumo das cargas térmicas que envolvem o ambiente do escritório.....	88
Tabela 5.3 - Condicionadores de ar de alto desempenho energético.....	89
Tabela 5.4 - Média de precipitação e volume de captação de água de chuva numa área superficial de 200 m ²	93
Tabela 5.5 - Análise do fluxo luminoso proposto para ambientes da FDCT.....	98
Tabela 5.6 - Sistema de iluminação proposto.....	99
Tabela 5.7 – Potência limite máxima conforme nível pretendido pelo método das atividades do edifício.....	99
Tabela 5.8 - Custo e tempo de vida útil dos equipamentos instalados.....	110
Tabela 5.9 - Investimentos no sistema de iluminação.....	110
Tabela 5.10 - Economia anual de energia elétrica para o sistema de iluminação.....	111
Tabela 5.11 - Série uniforme equivalente (em R\$).....	113

Tabela 5.12 - Valores presente líquido conforme o fluxo uniforme equivalente	114
Tabela 5.13 – Relação entre valor de revenda e retorno de investimento.....	115
Tabela 5.14 – Custos e valor de revenda dos condicionadores de ar instalados.....	116
Tabela 5.15 - Custos referentes às reformas e substituição de equipamentos.....	116
Tabela 5.16 - Economia anual de energia para o sistema de ar condicionado.....	117
Tabela 5.17 - Investimentos para otimizar o consumo de água na Fundação.....	119
Tabela 5.18 – Receita gerada pela economia de água anual na FDCT.	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Principais métodos existentes de avaliação de edificações.....	21
Quadro 2.2 Componentes de um sistema de aproveitamento de água de chuva.....	30
Quadro 2.3 - Riscos relativos associados à fonte de água cinza, aos métodos de irrigação, aos usos e ao acesso ao público.....	32
Quadro 3.1 - Síntese dos pré-requisitos da envoltória.....	43
Quadro 3.2. Síntese das exigências para transmitância térmica de paredes.....	44
Quadro 3.3 - Síntese dos pré-requisitos do Sistema de iluminação	48
Quadro 3.4 - Classificação Geral de Edificação.....	52
Quadro 4.1– Quadro de refletância das superfícies.....	65
Quadro 4.2 - Dados referentes às dimensões do bloco, do reboco e argamassa, bem como das propriedades dos materiais constituintes da parede da FDCT.	70
Quadro 4.3 - Dimensões e propriedades dos constituintes da cobertura.....	72
Quadro 4.4 - Ganho de calor por insolação no auditório	74
Quadro 4.5 - Aparelhos condicionadores de ar instalados na FDCT.....	77
Quadro 4.6. Variáveis para o cálculo do IC.	79
Quadro 4.7 - Faixa de valores para a classificação da envoltória	80
Quadro 4.8 – Aparelhos de ar condicionados instalados na Fundação	82
Quadro 4.9 - Ponderação da classificação do sistema de condicionamento de ar	83
Quadro 5.1 - Comparativo entre sistema “inverter” e Convencional.....	89
Quadro 5.2 - Redução do consumo de água potável e pontuação de referência para o sistema LEED.....	92
Quadro 5.3 - Comparação entre aparelhos convencionais e eficientes.	92
Quadro 5.4 - Redução do consumo de água potável e pontuação de referência para o sistema LEED.....	93
Quadro 5.5 - Custo total e custo por equipamento	95
Quadro 5.6 - Algumas espécies nativas da Mata Atlântica recomendadas	96
Quadro 5.7 – <i>Checklist</i> do Sistema LEED para Edificações Existentes	102
Quadro 5.8 - Consumo de água de aparelhos hidrossanitários convencionais e eficientes conforme demandas da FDCT	106

Quadro 5.9 - Consumo de energética do prédio da FDCT na situação original e hipotética após <i>retrofit</i>	108
Quadro 5.10 - Consolidação dos valores presentes líquidos	112
Quadro 5.11 - Consolidação dos valores presentes líquidos	117
Quadro 5.12 – Consolidação dos valores presentes líquidos para melhorias no consumo de água	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABILUX	- Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEUI	- Índice de Uso de Energia por Área
ASHRAE	- American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineer
ASTM	- American Society for Testing and Materials
BREEAM	- BRE Environmental Assessment Method
DOE	- Departamento de energia
ENCE	- Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.
EPA	- Agência de Proteção Ambiental
EPC	- Energy Performance Certificates
GBC	- Green Building Challenge
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LEED	- Leadership in Energy and Environmental Design
LEED CI®	- Commercial Interior
LEED CS®	- Core & Shell
LEED EB®	- Existing Building
LEED NC®	- New Construction
LEED ND®	- Neighbourhood Development.
PBE	- Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNCDA	- Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAC-C	- Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-C	- Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público
USGBC	- U. S. Green Building Council
ZB	- Zonas Bioclimáticas

LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{abertura}$	Área de abertura	m^2
AC	Área condicionada	m^2
$\alpha_{cobertura}$	Absortância da cobertura	
A_{env}	Área da envoltória	m^2
$A_{fachada}$	Área da fachada	m^2
$A_{fachada_O}$	Área da fachada oeste	m^2
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento	$[^\circ]$
ANC	Área não condicionada	m^2
A_p	Área de parede entre o plano iluminante e plano de trabalho	m^2
α_{parede}	Absortância da parede	
A_{pcob}	Área de projeção da cobertura	m^2
A_{pe}	Área de projeção do edifício	m^2
APT	Área do plano de trabalho	m^2
A_{PT}	Área de permanência transitória	m^2
A_T	Área de teto	m^2
A_{tot}	Área total construída	m^2
AU	Área útil	m^2
AVS	Ângulo vertical de sombreamento	$[^\circ]$
C	Valor do investimento	R\$
c	Comprimento do local	m
d	Fator de depreciação;	-
DPI	Densidade de potência de iluminação	W/m^2
DPI_L	Densidade de potência de iluminação limite	W/m^2
E	Nível de iluminamento	Lux
EqNumAC	Equivalente numérico do sistema de ar condicionado	-
EqNumDPI	Equivalente numérico da densidade de potência de iluminação	-
EqNumEnv	Equivalente numérico da envoltória.	-
EqNumV	Equivalente numérico de ventilação	-
F	Receitas e despesas	R\$
FA	Fator de altura	m^2/m^2
FF	Fator de forma	m^2/m^3
FS	Fator solar	-
h_m	distância da fonte de luz ao plano de trabalho	m
i	Taxa mínima de atratividade	%
IC_{ENV}	Indicador de consumo da envoltória	-

$IC_{\max D}$	Indicador de consumo máximo para a classificação D	-
IC_{\min}	Indicador de consumo mínimo	-
k	Índice de ambiente	-
l	largura do local	<i>m</i>
n	Número de períodos envolvidos no fluxo de caixa	<i>[anos]</i>
P	Valor presente	<i>R\$</i>
PAF	Percentual de abertura da fachada	%
PAF_O	Percentual de área de abertura na fachada oeste	%
PAF_T	Percentual de área de abertura na fachada total	%
PAZ	Percentual de abertura zenital	%
PT	Pontuação total	-
R	Resistência térmica de um componente	$(m^2.K)/W$
S	Área do recinto	m^2
u	Índice de ambiente	-
U	Valor uniforme	<i>R\$</i>
$U_{\text{cobertura}}$	Transmitância da cobertura	$W/(m^2.K)$
U_{parede}	Transmitância da parede	$W/(m^2.K)$
VPL	Valor presente líquido	<i>[anos]</i>
V_{tot}	Volume total	m^3
ε	Emissividade hemisférica total	-
λ	Condutividade térmica do material	$W/(m.K)$
ρ	Densidade de massa aparente do material	kg/m^3
φ	Fluxo por luminárias	<i>lúmens</i>
ϕ	Fluxo luminoso total	<i>lúmens</i>

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	7
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.2 Estrutura do Trabalho.....	12
1.2.1 Material e Métodos	12
1.2.2 Descrição da Dissertação	13
2 DEFINIÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DE PADRÕES	15
2.1 Contextualização e justificativa da pesquisa.....	15
2.2 Levantamento do estado do conhecimento no tema	16
2.3 Sistemas de avaliação ambiental de edifícios: estado atual	20
2.4 Padrões de consumo de energia	23
2.4.1 A água e a energia nas edificações.....	24
2.5 Padrões de desempenho ambiental.....	25
2.5.1 Consumo de Água	25
2.5.1.1 Aproveitamento da água da chuva	26
2.5.1.2 Reuso de águas cinzas.....	31
2.5.1.3 Aparelhos economizadores de água	33
2.5.2 Resíduos Sólidos	36
2.5.3 Emissões Atmosféricas	38
2.5.4 Utilização de materiais ecológicos na construção.....	38
3 METODOLOGIA	39
3.1 Procedimentos	39
3.2 Metodologias de avaliação do desempenho ambiental de edificações	40
3.3 Metodologia A (Sistema INMETRO).....	41
3.3.1 Envoltória.....	42
3.3.2 Iluminação.....	47
3.3.3 Ar Condicionado	49
3.3.4 Consolidação da avaliação pelo método do INMETRO	50
3.4 Metodologia B (Sistema LEED).....	53
3.5 Avaliação econômica de alternativas tecnológicas	57
4 AQUISIÇÃO DE DADOS ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS	60
4.1 Identificação do consumo energético.....	61
4.1.1 Sistema de Iluminação	64
4.1.1.1 Análise Preliminar no Sistema de Iluminação	64
4.1.1.2 Composição do Sistema de Iluminação	67
4.1.2 Sistema de Ar Condicionado.....	69
4.1.2.1 Análise Preliminar do Sistema de Ar Condicionado	69
Transmitância Térmica das paredes e da cobertura.....	69
Cálculo da carga térmica	73
4.1.2.2 Composição do Sistema de Ar Condicionado	77
4.2 Levantamento do Desempenho Ambiental da FDCT	78
4.2.1 Água	78
4.2.2 Resíduos	78
4.3 Avaliação da edificação segundo o RTQ-C do INMETRO.....	79

4.3.1	Envoltória.....	79
4.3.2	Iluminação.....	80
4.3.3	Sistema de ar condicionado.....	82
4.3.4	Classificação Geral.....	83
5	AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS.....	85
5.1	Sistema de Iluminação	85
5.2	Sistema de Ar Condicionado.....	88
5.3	Proposta de Melhorias na Envoltória	90
5.4	Melhorias no consumo de água.....	91
5.5	Projeto paisagístico	95
5.6	Resíduos e Materiais	97
5.7	Aplicação de novos dados em método de Certificação Ambiental.....	98
5.7.1	Inmetro	98
5.7.2	LEED.....	101
5.8	Análise econômica	109
5.8.1	Iluminação.....	109
5.8.2	Sistema de ar condicionado.....	116
5.8.3	Consumo de Água	118
6	CONCLUSÕES	122
6.1	Considerações Finais.....	124
	REFERÊNCIAS	126
	ANEXO A – TABELAS DE LIMITES DE DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO	136

1 INTRODUÇÃO

Os padrões que regem as atividades humanas estão se tornando insustentáveis em termos sociais, econômicos e ambientais. Espelho disso são o esgotamento de recursos, a poluição, a destruição de ecossistemas, as alterações climáticas dentre outros efeitos.

Em termos da qualidade de vida, a sociedade está se tornando cada vez mais exigente, desejando condições de conforto cada vez melhores, mesmo que isso obrigue a elevados consumos de energia, água e outros recursos. Nessa procura de satisfação individual em curto prazo, adota-se um comportamento consumista de bens e serviços que suscita o uso indevido de recursos e a geração de resíduos e poluição.

Paralelamente, a consciência dos problemas ambientais está cada vez mais na pauta das discussões globais e internas de cada país. Esta contradição entre qualidade de vida atual e consciência ambiental demanda resposta por meio do progresso tecnológico. Porém, embora a tecnologia possa auxiliar na resolução de alguns problemas ambientais, não existem milagres tecnológicos. Para tal será necessária uma profunda alteração de hábitos e condutas, bem como de paradigmas culturais associados à qualidade de vida (CEPINHA, 2007).

Ao discutir temas relacionados com o meio ambiente implica-se diretamente na discussão da questão energética, pois ambos são elementos completamente atrelados. Dessa forma é necessário que o consumo energético e a procura por níveis cada vez maiores de qualidade de vida sejam compatíveis com a disponibilidade do meio ambiente (SAMPAIO, 2007).

A energia elétrica, pelo fato de chegar nos pontos de consumo final sob a forma “limpa”, acaba transferindo ao consumidor mais desatento a ideia errônea de que ela não causa interferências no meio ambiente (DIAS, MATTOS; BALESTIERI, 2006).

Contudo, atualmente há uma crescente preocupação com o gerenciamento energético e ambiental. Neste cenário, as características do uso de energia e desempenho ambiental de edificações vêm mudando através dos anos; isto se deve a uma maior consciência quanto a custos, implicações legais, avanço tecnológico, bem como códigos e padrões das edificações.

Dentre os atributos de uma edificação com alto desempenho ambiental, destaca-se a racionalização do uso da energia através da eficiência energética. A eficiência energética tem como objetivo racionalizar o consumo de energia na edificação, evitando seus desperdícios. A grande vantagem da eficiência energética é que os custos necessários para promovê-la geralmente são apenas uma pequena fração dos custos exequíveis da produção de energia (JANNUZZI; SWISHER, 1997).

A avaliação de edificações sob o ponto de vista ambiental e energético através de metodologias, como as desenvolvidas pelo INMETRO e o sistema LEED, representam um modelo de certificação por meio de selo que indica a condição atual e potencial de melhoria das edificações.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é avaliar de forma comparativa metodologias empregadas para a certificação energética e ambiental de edificações, identificar padrões de consumo de diversos insumos, tais como energia elétrica, água e combustíveis, e de geração de produtos e/ou rejeitos (água servida, esgotamento sanitário, como exemplos).

O trabalho se propõe também avaliar o desempenho energético e ambiental de uma edificação privada localizada no campus da Universidade Estadual Paulista (UNESP) na cidade de Guaratinguetá, recomendando soluções tecnológicas e melhorias que viabilizem o consumo racional de recursos naturais e energia.

1.2 Estrutura do Trabalho

1.2.1 Material e Métodos

O material de estudo foi a análise de uma edificação privada situada em um campus de ensino superior público.

A metodologia a ser desenvolvida, alinhada com o estado do conhecimento relatado, teve as seguintes etapas:

- Identificação de métodos estabelecidos na literatura técnica para a avaliação de eficiência energética e desempenho ambiental em edificações;
- Comparação e análise sucinta dos conceitos e técnicas dos principais sistemas de avaliação energética e ambiental de edifícios;
- Identificação de padrões de consumos de energia elétrica, água e geração de efluentes para edifícios públicos e privados, de acordo com o estado do conhecimento;
- Quantificação dos consumos específicos da edificação avaliada;
- Avaliação da edificação em estudo conforme os métodos estabelecidos;
- Análise dos resultados obtidos pela aplicação das metodologias de avaliação de edificações;
- Proposta de melhorias em eficiência energética e desempenho ambiental a partir da sugestão de tecnologias e modificações possíveis de serem implantadas.

1.2.2 Descrição da Dissertação

A dissertação apresentada possui estrutura como se segue.

O Capítulo 2 consiste na Revisão Bibliográfica, proporcionando maior ciência acerca do estado do conhecimento na área de certificação energética e ambiental de edificações, bem como ressalta a importância do uso racional e eficiente de energia.

O Capítulo 3 apresenta o estudo das técnicas de certificação, buscando estabelecer os padrões adequados para edificações como suporte para as análises a serem realizadas, bem como discute conceitos da engenharia econômica.

O Capítulo 4 dedica-se ao estudo de caso e avalia com maior detalhamento a eficiência energética e o desempenho ambiental do prédio da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FDCT), aplicando as metodologias de avaliação de edificação escolhidas e apresenta os resultados das características da edificação.

O Capítulo 5 propõe alternativas de melhorias a serem recomendadas no objeto de estudo, visando sua adequação aos parâmetros exigidos, se for o caso, e melhor

classificação pelas metodologias aplicadas. O capítulo traz também a análise econômica das propostas sugeridas.

Já o Capítulo 6 apresenta as conclusões após a realização deste trabalho e é acompanhado das Referências Bibliográficas e, por fim, do Anexo citado no texto.

2 DEFINIÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DE PADRÕES

2.1 Contextualização e justificativa da pesquisa

A humanidade sempre utilizou os recursos naturais como se fossem infinitos e pudessem ser livremente explorados à sua conveniência. Porém, as projeções para a continuidade do desenvolvimento forçam a revisão da postura tradicional para evitar um possível colapso econômico, energético e ambiental. A economia global excluiu de seus modelos de análise os custos sociais da mesma forma que não contabiliza em seus cálculos o custo ambiental. Essa economia tem como meta única o crescimento econômico ininterrupto, fato que impossibilita a sustentabilidade do processo e que, nas palavras de Capra (2002) se traduz como “a expansão ilimitada num planeta finito só pode levar à catástrofe”.

A questão energética conduziu as preocupações dos dirigentes dos países, na década de 1980, por conta da crise do petróleo iniciada na década de 1970; nesse momento, ficou visível a condição finita dos recursos naturais, fato que levou a discussões ambientais na década de 1990. Desde então, são aspectos que, juntamente com o viés econômico e social, devem ser tratados de modo integrado. Nesse sentido, esforços de diversas ordens têm sido operados visando garantir a sustentabilidade das atividades humanas – e, neste contexto, as edificações, sejam para habitação ou para a realização de atividades laborais, passaram a ser contempladas nos programas de uso racional de energia.

As edificações são grandes consumidoras de recursos naturais e energia, correspondendo a 16% do suprimento mundial de água potável, 25% da madeira e 40% dos combustíveis fósseis e materiais manufaturados (WINES, 2000 apud FOSSATI, 2008¹). Estes impactos ocorrem em toda a cadeia produtiva, desde a concepção dos edifícios até a sua demolição.

¹ WINES, J. *Green Architecture*. Milan: Taschen, 2000. 240 p apud FOSSATI, M. **Metodologia para Avaliação da Sustentabilidade de Projetos de Edifícios: O Caso de Escritórios em Florianópolis**. 2008. 342 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

Em relação ao consumo de energia elétrica, a participação do setor de edificações no consumo geral de energia no Brasil representa uma parcela de quase 50%, que corresponde não só à operação e manutenção das edificações, mas também aos sistemas artificiais que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água.

Esse cenário revela a urgência de concentrar esforços para mudanças de paradigmas em direção à redução do consumo no setor de edificação, fazendo com que as edificações utilizem menos energia, materiais e recursos naturais na sua construção e operação, e que sejam ambientalmente saudáveis para seus usuários, sugerindo o conceito de construções sustentáveis.

O conceito de construção sustentável está voltado para um consumo mais racional dos recursos naturais e energia, utilizando técnicas energeticamente eficientes, por meio de uma arquitetura adaptada ao clima, como a iluminação e ventilação natural integrada à artificial, bem como fazendo uso de materiais adequados e cuidando dos problemas ambientais gerados.

Os edifícios sustentáveis recebem certificações ou selos verdes, ferramentas utilizadas para comprovação de seus índices de desempenho, enfatizando a boa gestão do ambiente construído através da eficiência energética, da redução do uso dos recursos naturais e geração de poluição. Para tal, devem ser estabelecidas metas para o consumo e a origem de recursos como água e energia, definir tecnologias e padrão de eficiência dos processos de consumo desses recursos, além de estabelecer metas referentes à emissão de poluentes.

2.2 Levantamento do estado do conhecimento no tema

Surgem na atualidade diversas iniciativas que visam dotar a sociedade de instrumentos que permitam avaliar situações reais da existência humana; ao disponibilizarem os resultados destas avaliações, permitem uma mudança de paradigmas com vistas à maior sustentabilidade de suas ações. A preocupação com o consumo de energia em edificações nos países com invernos rigorosos e a certificação de edifícios verdes são tendências atuais no campo do uso racional de energia.

O uso racional de energia é um conceito amplo que abrange uma diversidade de conceitos e que inclui aspectos de modelagem e simulação, aspectos tecnológicos, aspectos econômicos, ambientais e sociais, culminando com a conscientização da sociedade, como é citado por Dias, Mattos e Balestieri (2006), “o uso racional de energia significa a mudança de atitudes e valores dos indivíduos, criando condições para o surgimento de um comportamento duradouro e o desenvolvimento de uma visão crítica quanto aos problemas energéticos e suas consequências”.

Banerjee e Solomon (2003) já sinalizavam que o sistema de etiquetagem visando a melhoria da eficiência energética e a sustentabilidade das ações em edifícios iria se tornar um fenômeno da atualidade. Iniciativas como a *Energy Performance Certificates* (EPC) representam um modelo de certificação por meio de selo que indica a condição atual e potencial de melhoria de edificações nos países do Reino Unido (DIRECTGOV, 2005).

Stankevicius et al. (2007) relatam a preocupação em desenvolver valores de referência para a certificação energética de edifícios na Lituânia, enquanto Hong (2009), além de revisar os mais recentes desenvolvimentos aplicados na busca de melhor eficiência energética em edifícios públicos da China e dos Estados Unidos, apresenta também medidas que vão além das medidas de conservação de energia previstas em normas. Ma e Wang (2009) revisam alternativas de sistemas de controle, projeto, diagnóstico, auditoria energética, modelos de previsão de desempenho de edifícios e uso de sistemas energéticos renováveis para promover sustentabilidade e eficiência energética nos edifícios de Hong Kong.

No Brasil, a Eletrobrás, através do programa PROCEL Edifica, promove ações visando o uso racional da energia em instalações prediais. Entretanto, são nos trabalhos acadêmicos das universidades que se encontram maiores referências a uma busca pela melhoria da eficiência energética e a sustentabilidade de edifícios públicos e/ou comerciais.

Segundo Alvarez (1998), seu trabalho é orientado para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica de usos finais em instalações de ensino e se aplica também a instalações comerciais. Como o enfoque é sobre usos finais, a metodologia aborda o emprego de sistemas de iluminação, computadores, sistemas de

ar condicionado e demais equipamentos, identificando consumos específicos desagregados por categoria, tais como consumo mensal por área útil, consumo em iluminação por área iluminada, em ar condicionado por área climatizada e consumo mensal por docente/aluno/usuário equivalente.

Signor (1999) equacionou o consumo de energia elétrica de edifícios de escritórios climatizados artificialmente para 14 capitais brasileiras e testou diversas variáveis arquitetônicas para determinar sua influência no consumo de eletricidade.

O enfoque do trabalho de Amorim Filho (2001) se ateve a instalações comerciais; neste caso, foi dada ênfase em sistemas de ar condicionado dotados de central de água gelada, embora haja um capítulo dedicado ao projeto de edificações energeticamente eficientes que discute a utilização de tecnologias passivas e ativas no projeto arquitetônico, sistemas de iluminação e ar condicionado, projeto de instalação elétrica eficiente e qualidade da energia.

Souza (2005) analisou o uso de energia em edificações públicas no setor de escolas em Itabira - MG sob o enfoque da eficiência energética por meio de uma análise estatística de dados de consumo energético. O estudo traçou o perfil do consumidor na categoria de escolas públicas e identificar o índice mais adequado para caracterizar o uso da energia nesse setor. A análise estatística dos dados levantados e a identificação dos índices de consumo específico levaram em conta média, mediana, desvio padrão e faixa de variação; índices como o AEUI (*Area Energy Use Index*, Índice de Uso de Energia por Área) e o PEUI (*Person Energy Use Index*, Índice de Uso de Energia por Pessoa) expressam o consumo específico em função da área e em função do número de pessoas que as utilizam.

Tavares (2006) identificou e quantificou os eventos significativos que influenciam o consumo de energia ao longo do ciclo de vida de edificações residenciais brasileiras e, como parâmetro de sustentabilidade, calculou a geração de CO₂ por fases do ciclo de vida e materiais utilizados.

Morales (2007) realizou, a partir da definição de indicadores de consumo (indicadores globais, específicos e financeiros), a caracterização de unidades consumidoras da Universidade de São Paulo pelo comportamento no uso da

eletricidade, foi então possível estabelecer prioridades de atuação para gestão dos recursos e ações para a eficiência energética.

Carlo (2008) elaborou metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações comerciais e institucionais. As características do envoltório de edificações foram analisadas em cinco cidades brasileiras: Recife, Salvador, Belo Horizonte, São Paulo e Florianópolis. Modelos foram adaptados para criar protótipos representativos para simulação computacional do desempenho energético no programa *Energy Plus*.

Além da definição de diagnósticos energéticos e estabelecimento de consumos específicos diversos que caracterizam edifícios públicos e/ou privados, algumas soluções tecnológicas são especialmente recomendadas para viabilizar ações voltadas à eficiência energética.

Bidini et al. (1998) apresentaram um estudo de implantação de uma unidade de cogeração na Faculdade de Engenharia da Universidade de Perugia, Itália, baseada em motores de combustão interna; Luz - Silveira et al. (2002) realizam análise semelhante para a San Diego State University, na Califórnia, EUA, baseado em conjunto a gás e caldeira de recuperação. Tolmasquim et al. (2001) consideraram conjuntos a gás e ciclos combinados para a avaliação de alguns *shopping centers* do Rio de Janeiro; embora tecnicamente viáveis, para a estrutura tarifária elétrica e do gás natural no momento da análise, a avaliação revelou-se economicamente desfavorável naquela oportunidade.

Ghisi (1997) desenvolveu um *retrofit* no sistema de iluminação na Universidade Federal de Santa Catarina com o objetivo de substituir tecnologias obsoletas por tecnologias energeticamente eficientes. O estudo também avaliava as condições de iluminação natural no ambiente construído, diminuindo o consumo de energia e encerrando com a análise de viabilidade de investimento. Iwashita (2004) abordou as questões relativas à eficiência energética de equipamentos de iluminação, propôs a visão integrada da eficiência luminosa do conjunto luminária, lâmpada e reator em vez da análise individual de cada equipamento.

Drif et al. (2007) avaliaram as condições para a implantação de “universidades verdes” a partir do emprego de sistemas de geração elétrica fotovoltaica; unidades que

somam 200 kW_p foram instaladas², gerando 168,12 MWh por ano, o que representa 6,40% do consumo total do campus da Universidade Jaén, no sul da Espanha. Experiências brasileiras nesta área podem ser estabelecidas por informações disponibilizadas por pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina (RÜTHER et al., 2008; MACIEL et al., 2007).

Patrício (2002) relata sobre edifícios ecologicamente corretos, metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios e sugere um novo sistema de avaliação voltado para edifícios do nordeste brasileiro.

Em relação ao consumo de água, Rocha (2009) validou o algoritmo do programa computacional Netuno, utilizado para avaliar o potencial de economia de água potável e o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial em edificação, enquanto Nunes (2006) realizou um diagnóstico do consumo de água em um *shopping center* e mostrou o potencial de uso racional e reuso da água em grandes empreendimentos já construídos.

2.3 Sistemas de avaliação ambiental de edifícios: estado atual

Segundo Silva (2003), a preocupação com questões ambientais e energéticas fomentou o desenvolvimento de metodologias para avaliação de edifícios que surgiram na década de 1990 na Europa, nos EUA e no Canadá, com estratégias para o cumprimento de metas ambientais estabelecidas. Os métodos tinham como o objetivo encorajar a demanda do mercado por níveis superiores de desempenho ambiental e energético, provendo avaliações para o diagnóstico de eventuais necessidades de intervenção e orientando os projetistas na busca de selos ambientais para edifícios.

Além de Estados Unidos, Canadá, Austrália, Japão e Hong Kong, praticamente cada país europeu possui um sistema de avaliação e classificação de desempenho ambiental de edifícios. O Quadro 2.1 mostra os principais sistemas existentes de avaliação de edificações.

² kW_p é unidade usual na área de energia solar para designar a potência na condição máxima de insolação.

Quadro 2.1 Principais métodos existentes de avaliação de edificações.

País	Método	Conteúdo
Reino Unido	BREEAM (<i>BRE Environmental Assessment Method</i>)	Sistema com base em avaliação de critérios para várias tipologias de edifícios. Um terço dos itens avaliados é parte de um bloco opcional de avaliação de gestão e operação para edifícios em uso. Os créditos são ponderados para gerar um índice de desempenho ambiental do edifício.
Estados Unidos	LEED (<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>)	Inspirado no BREEAM. Sistema com base em critérios. O sistema é atualizado regularmente (a cada 3-5 anos), na versão para edifícios existentes, as normas de referência foram modificadas para refletir a etapa de operação do edifício.
Internacional	GBC (<i>Green Building Challenge</i>)	Sistema com base em critérios e <i>benchmarks</i> hierárquicos. Ponderação ajustável ao contexto de avaliação.
Hong Kong	HK-BEAM (<i>Hong Kong Building Environmental Assessment Method</i>)	Adaptação do BREEAM 93 para Hong Kong, em versões para edifícios de escritórios novos ou em uso e residenciais.
Alemanha	EPIQR	Avaliação de edifícios existentes para fins de melhoria ou reparo.
Canadá	BEPAC (<i>Building Environmental Performance Assessment Criteria</i>)	Inspirado no BREEAM e dedicado a edifícios comerciais novos ou existentes. O sistema é orientado a incentivos, e distingue critérios de projeto e de gestão separados para o edifício-base e para as formas de ocupação que ele abriga.
	BREEAM Canadá	Adaptação do BREEAM.
França	ESCALE	Sistema com base em critérios. Pondera apenas os itens nos níveis inferiores. O resultado é um perfil de desempenho global, detalhado por sub-perfis.
Japão	CASBEE (<i>Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency</i>)	Sistema com base em critérios. Composto por várias ferramentas para diferentes estágios do ciclo de vida. Inspirada na GBTool, a ferramenta de projeto trabalha com um índice de eficiência ambiental do edifício e aplica ponderação fixa e em todos os níveis.
Austrália	NABERS (<i>National Australian Building Environment Rating Scheme</i>)	Sistema com base em critérios. Para edifícios novos e existentes. Atribui uma classificação única, a partir de critérios diferentes para proprietários e usuários. Os níveis de classificação são revisados anualmente

Fonte: SILVA (2003)

As circunstâncias de criação e as aplicações pretendidas para cada sistema variam, constituindo desde ferramentas de apoio ao projeto até ferramentas de avaliação pós-ocupação. A grande maioria dos sistemas adéqua-se melhor à avaliação de edifícios novos ou projetos (SILVA, 2003).

O sistema *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) foi pioneiro e lançou as bases de muitos sistemas de avaliação que seriam posteriormente desenvolvidos em todo o mundo, como o HK-BEAM, o LEED, o CSTB ESCALE e o CASBEE. Tais sistemas foram desenvolvidos para serem utilizados por projetistas e pelo mercado em geral, portanto possuem estrutura simplificada, normalmente fazendo uso de uma lista de verificação. Já o *Green*

Building Challenge (GBC) está orientado para a pesquisa, concentrado no desenvolvimento metodológico e fundamentação científica. Todos esses métodos são vinculados a algum tipo de certificação de desempenho para divulgar o reconhecimento do mercado pelos esforços dispensados para melhorar a qualidade ambiental de projetos, execução e gestão operacional (SILVA, 2003).

Para construir um panorama, é apresentado um pequeno detalhamento a respeito dos principais métodos:

- o BREEAM, o primeiro deles e que embasou os vários sistemas orientados ao mercado;
- o LEED, atualmente o método com maior potencial de crescimento, pelo investimento maciço que está sendo feito para sua difusão e aprimoramento;
- o BEPAC, o primeiro sistema voltado à pesquisa metodológica;
- o GBC, sucessor do BEPAC e utilizado no estudo exploratório;
- o CASBEE, o método lançado mais recentemente, que introduziu alguns conceitos inovadores à avaliação de edifícios.

O aperfeiçoamento dos níveis mínimos aceitáveis de desempenho depende necessariamente das demandas do mercado, sejam as mesmas voluntárias ou devido às exigências normativas. Os sistemas voluntários pretendem que o mercado impulse a elevação do padrão ambiental, seja por comprometimento ambiental ou por questão de competitividade. Em relação ao desempenho ambiental, as melhorias serão possíveis quando os empreendedores da construção civil e os usuários dos edifícios tiverem conhecimento dos métodos que lhes permita identificar edifícios com melhor desempenho (NRCan/CANMET, 1998 apud SILVA³, 2003).

³ NATIONAL RESOURCES CANADA –NRCan; CANMET ENERGY TECHNOLOGY CENTRE (Ed.). *Green Building Challenge`98: an international conference on the Performance Assessment of Bulding Proceedings*. NRCan/CANMET, Vancouver, 1998 apud SILVA, V. G. *Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica*. 2003. 210 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2003.

2.4 Padrões de consumo de energia

A expressão “conservação de energia” surgiu nos EUA na década de 1970, logo após a crise do petróleo e estava relacionada à mudança de hábitos e rotina diária de pessoas e indústrias; tal expressão trazia no seu conceito não só a redução do consumo de energia, mas também estava associada a um percentual de perda de conforto. Mais tarde, a idéia evoluiu para eficiência energética, cujo princípio é o uso racional de energia, ou seja, a possibilidade de aumentar o rendimento do sistema mantendo os mesmos níveis de conforto.

Conservar energia é manter ou melhorar o padrão de serviços e qualidade de vida, com menor custo no consumo de energéticos. Com a redução ou eliminação dos desperdícios, a partir de mudanças comportamentais (educação), aprimoramentos administrativos, ações corretivas e introdução de novas tecnologias, é possível conquistar diferenciais competitivos (GOLDEMBERG, 1998).

Além dos ganhos econômicos por parte dos consumidores e por parte do setor energético que posterga investimentos em novas fontes geradoras de energia, iniciativas como o uso racional da energia garantem conservação ambiental, pois recomenda a utilização mais eficiente dos recursos naturais que já foram utilizados nas transformações energéticas, evitando também as agressões ambientais envolvidas na construção de novas usinas hidrelétricas e termelétricas.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL foi estabelecido pela Portaria Interministerial MME/MIC nº 1.877, de 30/12/1985, com a finalidade de integrar as ações, visando à conservação de energia elétrica no País. O Selo Verde de Eficiência Energética foi instituído através do Decreto de 8 de dezembro de 1993 com o objetivo de identificar os equipamentos que apresentem os melhores níveis de eficiência energética. Como consequência da crise de energia de 2001, foi sancionada a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que trata da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Estas iniciativas têm como principais objetivos diminuir o desperdício de energia elétrica no país e buscar a eficiência energética no setor elétrico, visando desenvolvimento tecnológico, segurança energética, eficiência econômica e a proteção ambiental.

O emprego de padrões arquitetônicos adequados, a utilização de produtos e materiais energeticamente eficientes e a implantação adequada de projetos de

eficiência energética possibilitam reduções de até 60% no consumo de energia de edificações residenciais (LAMBERTS; GHISI; PAPST, 2000).

Geralmente, todo prédio construído possui oportunidades de melhorias em eficiência energética, possibilitando redução de custos e economia de energia. Isso é possível através de um melhor gerenciamento de instalações, utilização de equipamentos tecnologicamente mais avançados e eficientes, alterações de fatores arquitetônicos, bem como mudança de hábitos por parte dos consumidores do local.

Assim, edificações planejadas de forma adequada desde a fase inicial de projeto, com melhor aproveitamento dos fatores climáticos do entorno como luz e ventilação natural, e de uso de equipamentos energeticamente eficientes, podem reduzir significativamente o consumo de energia.

2.4.1 A água e a energia nas edificações

O consumo de energia elétrica apresenta relação direta com a quantidade de água consumida em uma cidade; cada litro de água consumido representa um consumo específico de energia, pois é necessário dispor de energia para transportar a água através dos sistemas municipais. Estima-se que de 2% a 3% do consumo de energia do mundo ocorram em sistemas urbanos de abastecimento de água, sendo o bombeamento responsável por cerca de 90% a 95% do total (GONÇALVES, 2009). Embora o consumo de energia elétrica seja dependente da forma que sistema de abastecimento de água é estabelecido, o índice médio de referência é de 0,6 kWh/m³ de água produzida (TSUTYIA, 2001 apud GONÇALVES, 2009⁴). No ano de 2008, o consumo total de energia elétrica dos prestadores de serviços do setor de saneamento no Brasil aproximou-se de 10 bilhões de kWh/ano (GONÇALVES, 2009).

Com efeito, as perdas de água na forma de vazamentos, furtos, desperdícios e distribuição ineficiente afetam diretamente a quantidade de energia necessária para fazer a água chegar ao consumidor. O desperdício de água leva ao desperdício de energia.

⁴ TSUTYIA, M. T. **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água**. São Paulo: Abes, 2001. apud GONÇALVES, R.F. (Coord.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009 352p.

Estudos de caracterização do consumo de água em edificações são relativamente escassos no Brasil, sobretudo quando se considera que os padrões de consumo se modificam ao longo dos anos. Um estudo realizado por uma equipe da Universidade Federal do Espírito Santo comparou dois edifícios similares, sendo um convencional e outro dotado de sistemas de reuso de água. O estudo revelou que, enquanto o edifício convencional consumiu 1,40 kWh/m³, o edifício com sistema de reuso de água consumiu 62% desse valor (GONÇALVES, 2006).

2.5 Padrões de desempenho ambiental

A disponibilidade de áreas para despejo de resíduos está cada vez mais restrita e aumenta o risco de que o volume de geração ultrapasse a capacidade de regeneração dos sistemas atingidos. Exemplos de ecossistemas que têm sido explorados além da sua capacidade são as florestas tropicais úmidas, alguns dos principais pesqueiros marinhos, bem como a capacidade de absorção de resíduos pelos mares.

O gerenciamento de resíduos sólidos e a conservação da água são itens ligados entre si. A falta de gerenciamento de resíduos pode comprometer de maneira irreversível a qualidade da água, com consequências para os ecossistemas.

2.5.1 Consumo de Água

O aumento do consumo de água vem crescendo mundialmente, sendo maior nos países em desenvolvimento devido ao crescimento da população; isso faz surgir uma série de problemas ambientais e sociais, pois nestes países a melhoria da infraestrutura não acompanha o crescimento demográfico.

Além do problema de infra-estrutura para o abastecimento de água, existe outro que se refere à qualidade desse recurso. A deposição de resíduos sem tratamento adequado contamina tanto águas superficiais quanto subterrâneas, impedindo seu consumo. Isto, somado à impermeabilização do solo gerada pelas construções que potencializa os problemas que envolvem o uso da água pela sociedade, pois aumenta o escoamento superficial, o que elimina grande parcela da infiltração das águas no solo e contribui para as enchentes nas cidades.

Não existe ainda no Brasil uma legislação específica em nível federal que estabeleça normas para o correto uso da água em edificações; porém, alguns municípios apresentam o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações, a exemplo de Curitiba, através da Lei Municipal nº 10785/2003, e de São Paulo, através da Lei Municipal nº 14.018/2005. Estabelecidas normas e medidas de consumo eficiente de água, a rede municipal fornecerá uma percentagem considerável menor de água potável, o que, além do benefício ambiental, também representa economia para os usuários dos empreendimentos.

A existência no edifício de águas de outras origens além do sistema de abastecimento de água potável, tais como as águas cinza e as águas da precipitação pluvial, reflete no uso eficiente das águas.

2.5.1.1 Aproveitamento da água da chuva

Frente aos problemas de escassez e qualidade da água, o aproveitamento de água pluvial apresenta-se como uma boa alternativa para a redução das necessidades da edificação por água potável. Neste cenário, o gerenciamento de água de chuva está sendo empregado em países da Europa, Ásia, Oceania e da América.

No Japão, muitas cidades realizam o aproveitamento da água da chuva em larga escala; por exemplo, os estádios e os gigantescos domos de ginásios, com áreas de captação da ordem de milhares de metros quadrados, utilizam esta água para descarga de sanitários e no sistema de ar condicionado (ZAIZEN et al., 1999 apud GONÇALVES, 2006⁵). Os sistemas utilizados em Berlim, na Alemanha, funcionam da mesma forma; a água da chuva é captada em praças e grandes edifícios e destinada a recompor a paisagem urbana, alimentando lagos artificiais, além de ser usada em edifícios para descarga de sanitários.

No Brasil, no ano de 1975 foi criado o Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semi-Árido (CPTASA), com o objetivo de coletar água de chuva e construir cisternas para armazenamento da água para consumo posterior.

⁵ ZAIZEN, M. et al. **The collection of rainwater from dome stadiums in Japan**. Urban Water, v. 4, n. 1, p. 355-359, 1999 apud GONÇALVES, R.F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro, 2006. 352 p.

Algumas grandes cidades brasileiras como São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Porto Alegre, tem estabelecido legislações a respeito da coleta da água da chuva, porém o objetivo ainda essencialmente é a redução de enchentes.

De acordo com a lei 13.276 de 2002 e o decreto 23.940 de 2004, cidades como São Paulo e Rio de Janeiro, respectivamente, têm a preocupação com a água da chuva e exigem que as edificações com mais de quinhentos metros quadrados de área impermeabilizada criem reservatórios para a retenção temporária da água. Esta preocupação contribui para a redução dos níveis de enchentes, pois a água é retida e depois, de forma controlada, é injetada na rede pluvial; porém, já há estudo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para que a própria edificação utilize a água da chuva para fins nas quais a água tratada não é necessária.

A utilização da água pluvial numa edificação é destinada a atividades em que não há a necessidade de água potável, como em bacias sanitárias, irrigação de jardins e lavagem de carros, pisos, passeios e calçadas, para resfriamento de telhados e máquinas, climatização interna, além de sistemas de combate a incêndios.

Porém, para o aproveitamento da água de chuva, mesmo que para uso não potável, deve-se assegurar sua qualidade. A qualidade da água da chuva sofre influência de diversos fatores, como presença de carga poluidora, localização geográfica, vegetação, condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos) e outros.

Atividades industriais, veículos e construção civil liberam substâncias poluentes no ar, com compostos de enxofre e nitrogênio, monóxido e dióxido de carbono e material particulado. A chuva atua na dispersão dos poluentes, auxiliando na dissolução dos gases e sedimentando o material particulado, e dessa forma a chuva traz consigo os contaminantes presentes na atmosfera.

Outra forma de contaminação da água de chuva se dá após a passagem pela superfície de captação, pois entra em contato com diversos materiais e substâncias presentes nestas superfícies, podendo-se citar fezes de aves e roedores, poeira, folhas e galhos de árvores, revestimento do telhado, fibras de amianto, resíduos de tintas, entre outros, ocasionando tanto a contaminação por compostos químicos quanto por agentes

patogênicos. Com isso, é importante eliminar a primeira água de chuva (água de descarte).

Os sistemas de aproveitamento da água de chuva permitem reduzir em cerca de 45% o consumo de água nas residências e em 60% na agricultura (HEYWORTH et al., 1998 apud GONÇALVES, 2006⁶).

Como já discutido, fazendo o aproveitamento da água de chuva não se está conservando somente água, mas também energia, pois a operação de uma estação de tratamento de água possui demandas energéticas, como o bombeamento e as operações correlatas de distribuição entre reservatórios. O custo energético dos sistemas de abastecimento de água gira em torno de 25% a 45% do custo total.

A metodologia básica para um projeto de sistemas de coleta, tratamento e aproveitamento de água de chuva envolve as seguintes etapas (ANA/FIESP & SindusCon-SP 2005 apud GONÇALVES, 2006⁷):

- Determinação da precipitação média local (mm/mês),
- Determinação da área de coleta,
- Determinação do coeficiente de escoamento,
- Projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações),
- Projeto do reservatório de descarte,
- Escolha do sistema de tratamento necessário,
- Projeto da cisterna,
- Caracterização da qualidade da água pluvial,
- Identificação dos usos da água (demanda e qualidade).

As técnicas comumente utilizadas para coleta de água de chuva utilizam a superfície dos telhados ou as superfícies no solo. O sistema de coleta da chuva através dos telhados é mais simples e quase sempre produz uma água de melhor qualidade.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva são compostos por:

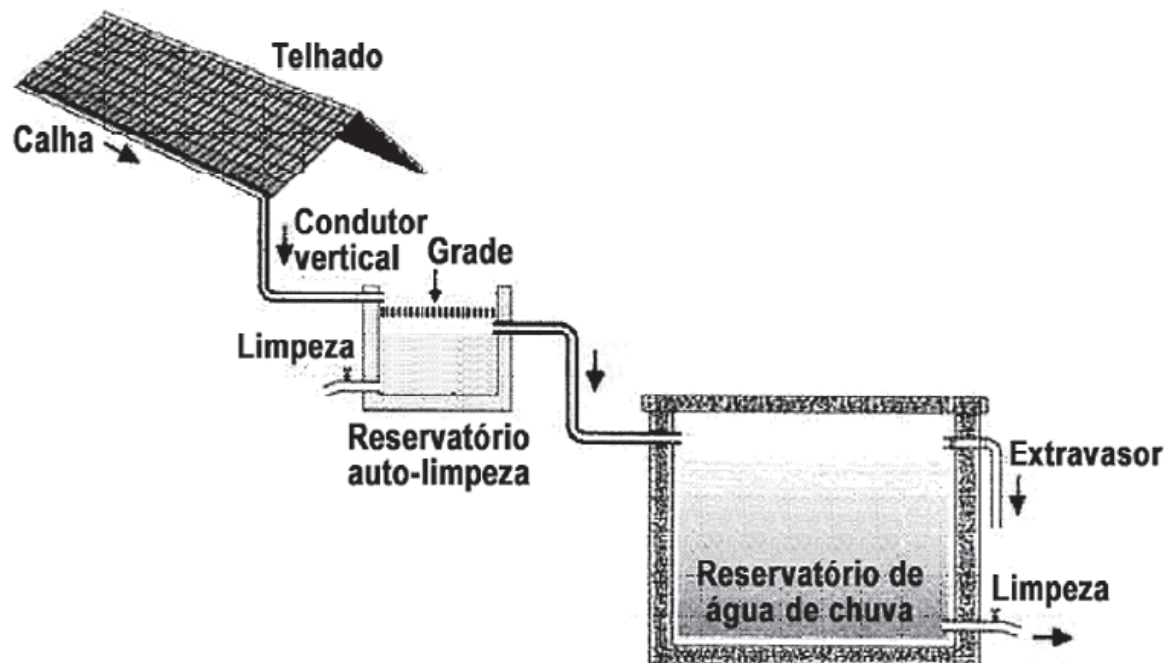
- (a) Área de captação;
- (b) Tubulações para condução da água;

⁶ HEYWORTH, J. S. MAYNARD, E. J., CUNLIFFE, D. Who consumes what: potable water consumption in South Australia. Water, v. 1, n. 25, p. 9-13, 1998 apud GONÇALVES, R.F. (Coord.). *Uso Racional da Água em Edificações*. Rio de Janeiro, 2006. 352 p.

⁷ ANA, FIESP e SindusCon-SP. *Conservação e Reuso de água em Edificações*. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005 apud GONÇALVES, R.F. (Coord.). *Uso Racional da Água em Edificações*. Rio de Janeiro, 2006. 352 p.

- (c) Telas ou filtros para a remoção de materiais grosseiros, como folhas e galhos;
- (d) Reservatório de armazenamento/cisterna.

A Figura 2.1 mostra como se configura um sistema de coleta da água de chuva; para tal são necessária calhas, condutores, dispositivo para descarte da água de lavagem do telhado e a cisterna para sua reserva.

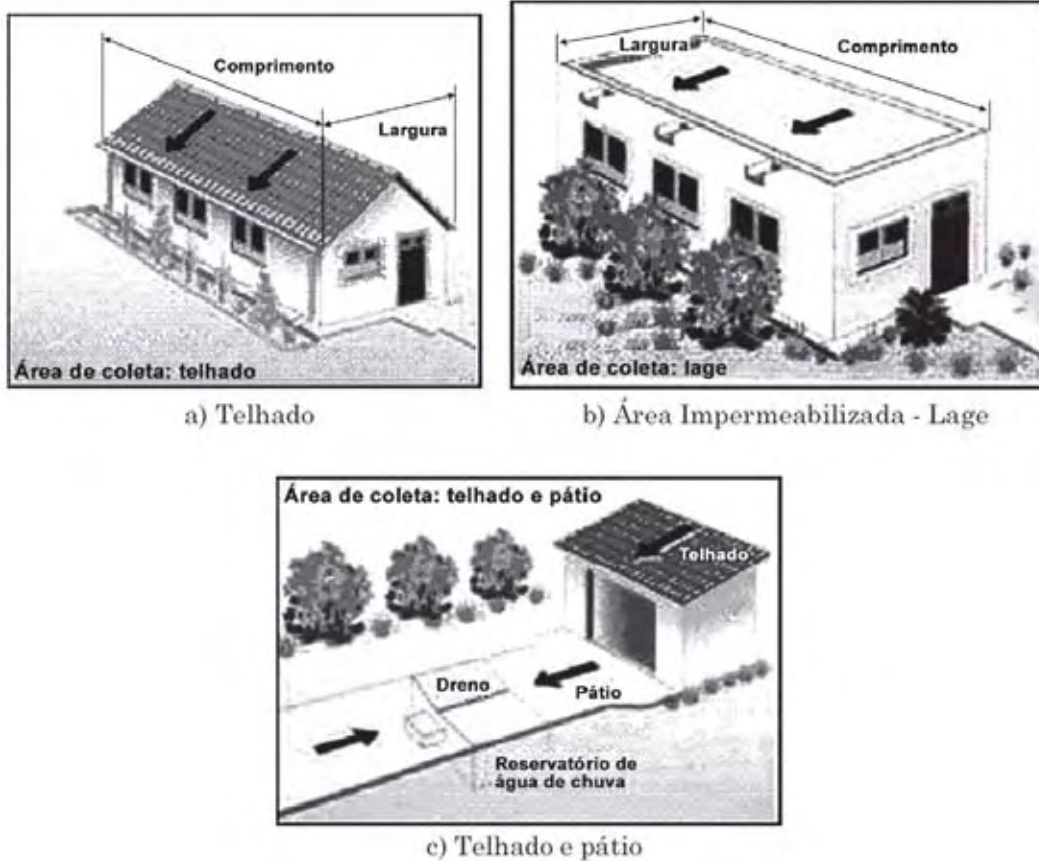


Fonte: Gonçalves (2006)

Figura 2.1 - Esquema de coleta água de chuva

Dependendo do uso que será dado à água coletada, pode-se ainda incluir o tratamento da água (filtração e desinfecção) como componentes do sistema. A Figura 2.2 apresenta esquemas do aproveitamento da água em diferentes formas de coleta.

O método de desinfecção para o tratamento de águas de chuva para fins não potáveis poderá ser simples e de baixo custo, porém eficiente, garantindo a eliminação dos microrganismos patogênicos e a viabilidade do aproveitamento. Porém, se o uso for para fins potáveis recomenda-se a utilização de sistemas de filtração mais eficiente na remoção de partículas, remoção de microrganismos, bem como o uso de processos de desinfecção adequados para inativação de patógenos.



Fonte: Gonçalves (2006)

Figura 2.2 - Áreas de captação de água de chuva.

O Quadro 2.2 relaciona os cinco subsistemas (captação, condução, tratamento, armazenamento e distribuição) e seus respectivos componentes de sistemas prediais de aproveitamento de água de chuva.

Quadro 2.2 Componentes de um sistema de aproveitamento de água de chuva

Subsistemas do Aproveitamento de Água da Chuva				
Captação	Condução	Tratamento	Armazenamento	Distribuição
Telhados	Calhas	Filtros de material grosseiro	Reservatórios ou cisternas	Tubulações, conexões e peças de utilização
Lages	Caixas de amortecimento	Filtros de material fino	-	-
Toldos	Tubos de queda, conexões e condutores horizontais	Dispositivo de descarte de primeira chuva	-	-
Pátios específicos	Caixas de desvio e inspeção	Equipamentos de desinfecção	-	-

Fonte: Gonçalves (2006)

2.5.1.2 Reuso de águas cinzas

Segundo Gonçalves (2006), as águas cinzas são as águas servidas provenientes do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque, e não possuem contribuição de efluentes de vasos sanitários.

Uma alternativa que propicia economia de água é o reaproveitamento de águas cinzas. Essa medida evita o consumo de água em atividades nas quais a potabilidade da água é completamente dispensável, como em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos, dentre outros.

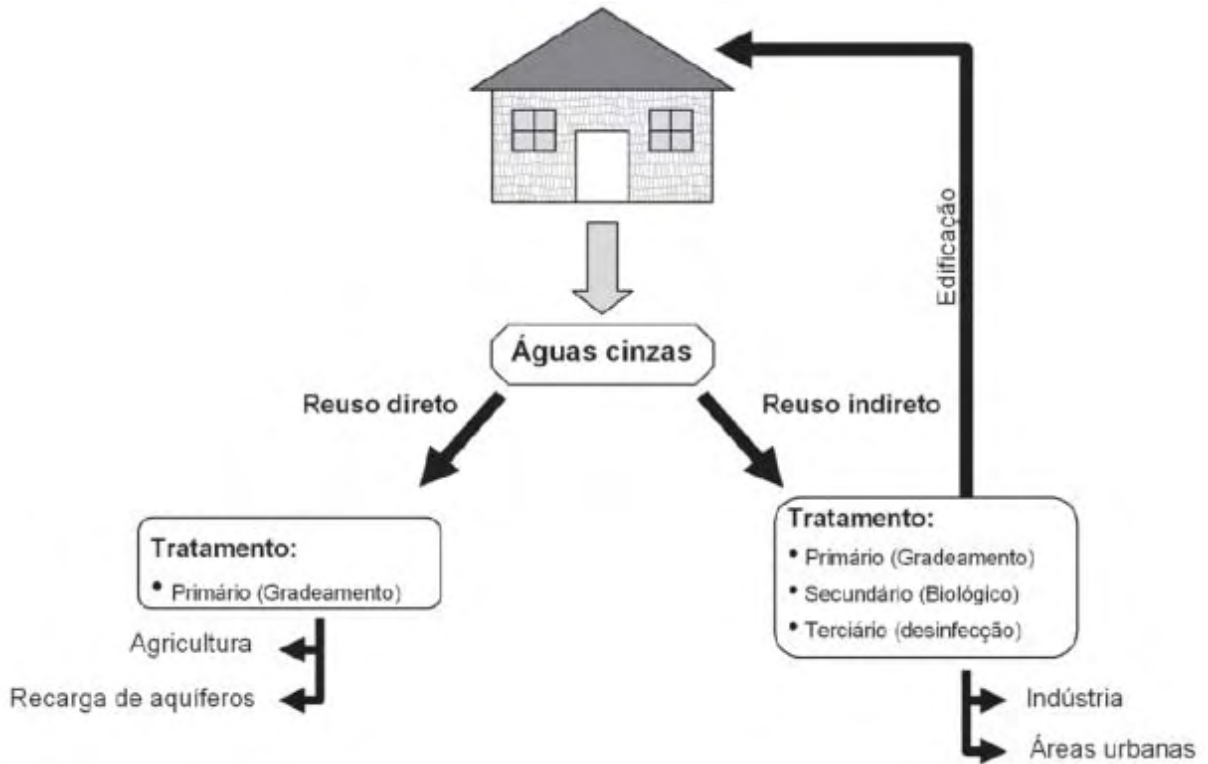
A configuração básica de um sistema de utilização de água cinza seria o sistema de coleta de água servida, o subsistema de condução da água (ramais, tubos de queda e condutores), a unidade de tratamento da água (gradeamento, decantação, filtro e desinfecção) e o reservatório de acumulação.

A qualidade dessas águas varia de acordo com diversos fatores, tais como localização, nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes dos moradores e com o tipo de fonte de água cinza que está sendo utilizado (lavatório, chuveiro e máquina de lavar), de forma que seu reuso direto nas edificações não é recomendável devido à possibilidade de apresentar mau cheiro nas instalações sanitárias. Com efeito, é necessário realizar um tratamento na água de reuso para se obter uma água de baixa turbidez, inodora e isenta de microrganismos patogênicos (GONÇALVES, 2006).

No Brasil, a utilização de águas cinzas ainda é uma prática incipiente, não havendo experiências consistentes de seu gerenciamento (licenciamento, operação e manutenção) nas edificações.

O reuso de águas cinzas pode resultar em economia de água potável, economia de energia elétrica e menor produção de esgoto sanitário, o que por sua vez resulta em preservação dos mananciais de água, por diminuir a captação de água e o lançamento de esgoto sanitário pelas áreas urbanas.

Qualquer projeto de reuso de água deve em primeiro lugar prezar pela saúde dos usuários, havendo, portanto, a necessidade de se efetuar um tratamento prévio à sua utilização. A Figura 2.3 esquematiza as opções de uso das águas cinzas segundo o tratamento efetuado.



Fonte: Gonçalves (2006)

Figura 2.3 - Opções para reúso de águas cinzas.

Os riscos relativos ao reúso direto de águas cinzas estão esquematizados pelo Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Riscos relativos associados à fonte de água cinza, aos métodos de irrigação, aos usos e ao acesso ao público.

RISCO	FONTE	RISCO	USOS
Baixo ↓ Alto	Enxague de roupas	Baixo ↓ Alto	Jardim ornamental
	Lavagem e enxágüe de roupas		Gramado
	Lavagem de roupas e banho		Frutas e vegetais
	Águas cinzas misturadas		
RISCO	MÉTODO DE IRRIGAÇÃO	RISCO	ACESSO AO PÚBLICO
Baixo ↓ Alto	Sub-superficial	Baixo ↓ Alto	Sem acesso
	Gotejamento		Vedado a crianças pequenas
	Aspersão		Irrestrito
	Rega com mangueira		

Fonte: Gonçalves (2006)

Segundo Gonçalves (2006), para o aproveitamento das águas cinzas as seguintes recomendações devem ser consideradas:

- O contato direto com a água cinza, humano e animal, deve ser evitado.
- Em caso de reuso da água cinza na descarga sanitária, um tratamento prévio incluindo uma etapa de desinfecção deve ser providenciado.
- Evitar a irrigação de culturas agrícolas cujo produto possa ser ingerido cru.
- Evitar a interconexão das redes de água potável e de água de reuso.
- Evitar a estocagem de água cinza bruta (sem tratamento prévio com desinfecção).
- Identificar criteriosamente as redes de água potável e de água de reuso.

2.5.1.3 Aparelhos economizadores de água

Os aparelhos economizadores de água auxiliam na economia de água sem prejudicar as necessidades de seus usuários. Exemplo disso são os arejadores acoplados em torneiras; a introdução desse pequeno dispositivo poderá modificar substancialmente a vazão de água que sai da torneira para o mesmo número de voltas do volante de acionamento, implicando em um menor consumo de água.

No Brasil, a prática de utilização de aparelhos economizadores de água vem crescendo de forma acelerada, sendo encontrados em *shopping centers*, teatros, cinemas, estádios, aeroportos, escolas e outros, principalmente porque o seu emprego proporciona redução das despesas na conta de água e esgoto, além de promover valores ecológicos num cenário de escassez.

De acordo com PNCDA⁸ (1999 apud FOSSATI, 2008), as tecnologias economizadoras de água são: bacias sanitárias de volume reduzido, cujo consumo de água é significativamente inferior aos usuais (sistema a vácuo, sistema dual); torneiras acionadas por sensor infravermelho, com tempo de fluxo determinado, arejadores, pulverizadores e registros reguladores de vazão, utilizados em lavatórios e pias de

⁸ PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA. PNCDA. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA_F1.pdf Brasília, 1999 apud FOSSATI, M. **Metodologia para Avaliação da Sustentabilidade de Projetos de Edifícios: O Caso de Escritórios em Florianópolis**. 2008. 342 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

cozinha; chuveiros restritores de vazão e mictórios com válvulas dotadas de temporizador de descarga.

A inclusão de aparelhos economizadores de água vem se difundindo nos projetos de sistemas prediais e se mostra como uma excelente opção no gerenciamento do consumo desse recurso.

Sistema Bacia Sanitária

O volume de água consumido nas bacias sanitárias em relação ao total do consumo na residência varia entre 18% e 24% do consumo mensal, sabendo que numa residência o consumo *per capita* é em torno de 150 L/hab.dia.

Soluções de racionalização do consumo podem ser alcançadas pela redução do volume de água descarregada em cada operação de uso. A caixa de descarga com descarga dual oferece ao usuário a possibilidade de escolha entre dois volumes de descarga, o volume útil total da caixa ou a metade deste.

O uso de água não potável para limpeza de bacias sanitárias é uma alternativa que vai se disseminando no meio técnico e hoje já pode ser observada em edifícios cuja instalação predial de água é projetada com esse propósito.

Para edifícios existentes pode-se usar o recurso de alimentar a caixa de descarga com água não potável, lançando-a no interior da caixa através de sua abertura superior, ou, eventualmente, pela própria tubulação ou mangueira de alimentação convencional quando houver um reservatório e tubulação exclusiva de água não potável. A água não potável poderia ser proveniente de alguns aparelhos hidrossanitários como tanque, máquina de lavar roupa, chuveiros e outros.

O aproveitamento de águas de chuvas, bem como o reuso de águas cinzas, também são alternativas a serem consideradas. Entretanto, essas formas adaptadas não devem prejudicar o funcionamento normal da caixa e da bacia.

No que tange à qualidade da água não potável para descargas de bacias, há que se estabelecer padrões adequados segundo uma série de condicionantes relativos ao funcionamento da caixa e da bacia, à aceitação por parte dos usuários, às garantias sanitárias, dentre outros.

Torneiras

O consumo de água na torneira é proporcional à sua vazão de escoamento e ao tempo de utilização pelo usuário, mas tanto o valor da vazão da água usada quanto à frequência de uso do aparelho são muito diversificados. Para cada uso da água é necessário ajustar o valor da vazão de modo a se obter resultados satisfatórios para os usuários e as torneiras de modo geral possuem dispositivo para regular o valor da vazão à necessidade. O consumo de água nas diversas torneiras em uma habitação acaba respondendo por algo em torno de 20% do consumo diário de água da residência.

A forma do jato da água saindo da torneira é um fator importante, podendo interferir no tempo de utilização; se o jato for muito disperso, certamente o uso terá maior duração. Para tal, pode-se colocar no bico do aparelho uma peça denominada direcionador do jato com a função de reduzir a dispersão do jato a níveis aceitáveis, evitando desperdícios.

Outro equipamento utilizado é o arejador, colocado na saída da torneira, utilizado tanto para reduzir a vazão da água como eliminar a dispersão do jato. O arejador reduz a seção de passagem e direciona o fluxo da água, permitindo a entrada de ar durante o escoamento, de forma que o usuário tem a sensação de uma vazão maior do que é na realidade.

Torneiras de fechamento automático implicam em economia de água porque evitam grandes desperdícios, como o usuário largar a torneira aberta ou utilizá-la em tempo excessivo. Dessa forma, tem sido utilizado com sucesso em edifício de uso público como escolas, *shopping centers* e outros. O problema é que o tempo de fechamento dos aparelhos não fica bem estabelecido, pois impõe um valor determinado que nem sempre é o adequado para o uso previsto, forçando, algumas vezes, a repetição de vários acionamentos.

Da mesma forma como a torneira de fechamento automático, a de acionamento fotoelétrico tem sido largamente empregada em edifícios de uso público, porém tem a vantagem de permitir que o usuário mantenha seu funcionamento no tempo de uso adequado para suas necessidades. A Figura 2.4 (a) ilustra torneiras com acionamento fotoelétrico e 2.4 (b) torneiras com fechamento automático.

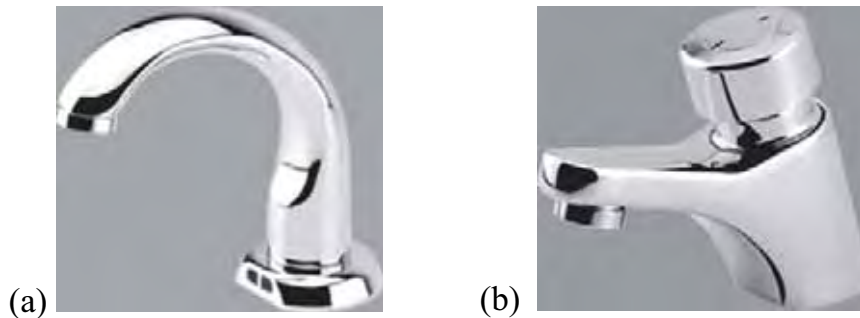


Figura 2.4 - Torneira de lavatório de mesa:
(a) Torneira de acionamento fotoelétrico; (b) Torneira com fechamento automático

2.5.2 Resíduos Sólidos

Segundo a norma brasileira NBR 10004, de 1987, resíduos sólidos são:

resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível (NBR 10004, 1987, p.1).

Os resíduos sólidos de origem urbana compreendem aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas do município, abrangendo resíduos de várias origens, como residencial, comercial, de estabelecimentos de saúde, industriais, de limpeza pública, de construção civil e, finalmente, os agrícolas.

O Brasil possui muitas regiões metropolitanas com problemas decorrentes da falta de planejamento, tais como escassez ou inexistência de áreas para a disposição final do lixo, conflitos com a população estabelecida no entorno das instalações de tratamento, aterros e lixões; exportação de lixo para municípios vizinhos, gerando resistências; lixões e aterros são operados de forma inadequada, poluindo recursos hídricos, desconhecendo ou ignorando os limites de seus municípios (IPT⁹, 2000 apud CASTILHOS JÚNIOR, 2003), revelando a necessidade urgente da redução do volume de resíduos que seguem diariamente para os aterros sanitários.

⁹ INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p. apud CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 294 p.

Segundo Castilhos Júnior (2003), o conhecimento das características químicas possibilita a seleção de processos de tratamento e técnicas de disposição final. Além dos aspectos qualitativos, é necessário determinar a quantidade de resíduos produzidos por dia e a produção *per capita*.

Com efeito, o ponto de partida para se realizar o gerenciamento de resíduos sólidos numa edificação é o conhecimento dos resíduos gerados, de modo que a determinação de alguns fatores é necessária para caracterização desses resíduos, como por exemplo, percentual dos componentes recicláveis, geração *per capita*, umidade, densidade, características biológicas, teor de substâncias químicas e pH.

Para o gerenciamento efetivo dos materiais gerados numa edificação é necessário saber que tipo de resíduo será produzido durante o ciclo de vida do edifício e se os resíduos poderão ou não ser aproveitados para reciclagem e de que forma isso ocorreria.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92) estabeleceu, com a criação da Agenda 21, o princípio dos 3 R's, que sugere reduzir o consumo de produtos e o desperdício, reciclar e reutilizar materiais¹⁰. A redução pode ocorrer pela adoção de uso de boas práticas, por meio de melhorias tecnológicas e/ou no processo, bem como pela alteração dos insumos utilizados. A reutilização e a reciclagem englobam estratégias de reaproveitamento dos materiais já produzidos. Estas ações geram economia de energia e de recursos naturais e, também, novos empregos com a criação de cooperativas de catadores e outras atividades que envolvem o processo.

Para que seja efetivo, a educação ambiental é peça de fundamental importância, sendo necessário seu incentivo e subsídios para que ela ocorra, tais como implantação de cestos para coleta seletiva em locais estratégicos, a formação de multiplicadores do conhecimento, entre outros.

¹⁰ O Princípio dos 3R's foi mais tarde substituído por 4R's e 5R's que, além de Reduzir, Reutiliza e Reciclar, sugeriam Reintegrar; Repensar e Recusar respectivamente, porém estes outros não foram estabelecido pela conferência.

2.5.3 Emissões Atmosféricas

Nas edificações, o objetivo é substituir equipamentos que contribuem de forma mais significativa para a poluição atmosférica e a degradação da camada de ozônio, bem como estabelecer um nível mínimo de consumo energético.

Com as tentativas de melhorar a eficiência das edificações em relação à conservação de energia, as discussões sobre a qualidade do ar interno estão se tornando cada vez mais relevantes, principalmente porque as etapas do ciclo de vida de um edifício envolvem eliminação de componentes voláteis e podem restringir a renovação do ar interno de um edifício; isso ocorre devido à utilização de materiais e substâncias perigosas como asbestos ou chumbo, que causam prejuízo à saúde dos ocupantes.

Problemas decorrentes da má qualidade do ar interno têm se tornado muito comum e de crescente preocupação, pois muitos itens comumente encontrados em edifícios podem contribuir para o agravamento dessa situação.

2.5.4 Utilização de materiais ecológicos na construção

A seleção de materiais ambientalmente favoráveis é uma tendência que vem sendo percebida com a necessidade de melhoria do desempenho ambiental em edificações. As emissões associadas com edificações podem afetar diretamente pessoas, fauna e flora, ou contribuir de forma gradual para impactos no ecossistema.

Os materiais considerados interessantes sob o ponto de vista ambiental incluem materiais renováveis como o bambu e a palha, madeira certificada, pedra, metal reciclado, materiais de demolição e reciclados de construção e outros produtos que são não-tóxicos, reutilizáveis, renováveis ou recicláveis. Materiais de baixo impacto ambiental são usados sempre que possível: por exemplo, o isolamento pode ser feito com materiais de baixa emissão de componentes orgânicos voláteis, pinturas podem ser realizadas usando material de base orgânica ou à base de água.

3 METODOLOGIA

3.1 Procedimentos

O trabalho será desenvolvido a partir da pesquisa bibliográfica norteada pelo tema da avaliação de desempenho ambiental e energético de áreas construídas, fundamento da pesquisa descritiva que utilizou como estudo de caso um prédio localizado nas instalações da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Guaratinguetá. Serão utilizados para análise dois sistemas de avaliação de edifícios, o sistema de etiquetagem de eficiência energética de edificações do INMETRO, com parceria do PROCEL Edifica, e o sistema LEED, voltado para avaliação de desempenho ambiental de edifícios.

Após estudo para compreensão de ambas as metodologias, será realizada uma análise comparativa dos critérios de eficiência energética e sustentabilidade ambiental estabelecidos pelas mesmas. Dessa forma, será possível consolidar conceitos, levantar questões e proposições, além de fundamentar a realização do estudo de caso. Finalmente, serão adquiridas as informações para avaliação ambiental e energética da edificação em estudo.

Visando propor melhorias no desempenho de qualquer edificação, deve-se partir de uma minuciosa investigação da instalação, através de diagnósticos energético e ambiental da situação real. Para tanto, é necessária a realização de uma auditoria da instalação, que consiste basicamente na observação de diversos aspectos.

Será analisado todo o ambiente construído, incluindo instalações, *layout*, conforto ambiental, consumo de água e gerenciamento de resíduos, enquadrando-os de acordo com as condições exigidas nas normas brasileiras.

Para o levantamento pertinente ao diagnóstico energético de uma edificação é necessário, primeiramente, conhecer a forma como a energia está sendo consumida na instalação; isso é possível por meio da análise da série histórica de consumo elétrico, obtida através das contas mensais apresentadas pela concessionária e realização de medições das grandezas elétricas de interesse, tais como tensão, potência e corrente elétrica. Em seguida é preciso realizar o levantamento dos dados físicos da edificação e identificar as condições técnicas dos equipamentos e dos sistemas elétricos, o que

permite o conhecimento das características específicas de cada sistema e sua interferência na eficiência energética da instalação.

A avaliação inicia-se pela coleta dos dados necessários, sugerindo a realização das seguintes atividades:

- Enquadramento das características bioclimáticas da região;
- Levantamento das características arquitetônicas da edificação;
- Levantamento de consumo de água;
- Enquadramento dos resíduos produzidos;
- Análise do conforto ambiental para os usuários;
- Levantamento de consumo e demanda elétrica através de medições no prédio;
- Levantamento das características da instalação elétrica da edificação;
- Levantamento do histórico e do comportamento de consumo de energia elétrica;
- Análise do contrato de fornecimento de energia elétrica com a concessionária;
- Análise e tratamento de dados;
- Estudo de alternativas para melhoria energética da edificação;
- Estudo do potencial de cogeração e/ou geração independente;
- Análise da viabilidade econômica das alternativas propostas.

A partir dessas informações será possível entender a dinâmica da edificação, identificar consumos e pontos de desperdícios e assim, propor ações e metas para melhoria de seu desempenho.

3.2 Metodologias de avaliação do desempenho ambiental de edificações

Sistemas de avaliação de desempenho ambiental e de eficiência energética para edificações constituem uma ferramenta de incentivo ao desenvolvimento sustentável. Os sistemas de avaliação envolvem a implantação de padrões e guias para melhoria do desempenho da edificação, criando certificações e selos verdes com intuito de classificar e/ou recompensar edifícios conforme seu desempenho ambiental e energético. As metodologias que abordam o desempenho ambiental de edifícios estão presentes nos cinco continentes, considerando uma grande variedade de condições físicas, características das edificações e prioridades ambientais que ocorrem em diferentes países (SILVA, 2003).

Os países latinos americanos ainda não possuem um sistema específico para avaliação da sustentabilidade ambiental de suas edificações, sendo o sistema de avaliação LEED o mais utilizado.

No Brasil, o governo federal criou o PROCEL Edifica, um subprograma do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que promove condições para o uso eficiente da eletricidade nas edificações, na tentativa de reduzir os desperdícios de energia e os impactos sobre o meio ambiente. O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), com o apoio do PROCEL Edifica, editou regulamentos técnicos destinados a avaliação da eficiência energética de edifícios como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

3.3 Metodologia A (Sistema INMETRO)

Os Regulamentos Técnicos da Qualidade e seus respectivos Regulamentos de Avaliação da Conformidade fazem parte do PBE que, por sua vez, autoriza o uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para indicar o nível de eficiência energética de produtos como condicionadores de ar, refrigeradores, fogões, motores e lâmpadas, dentre outros.

A Portaria nº 163¹¹ (BRASIL, 2009b) do INMETRO aprovou o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), que tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética dos edifícios, especificando os requisitos técnicos e os métodos para classificação dos edifícios comerciais, de serviços e públicos. Sua aplicação ainda é de caráter voluntário para edificações novas e existentes e, futuramente, passará a ter caráter obrigatório para novas edificações.

O RTQ-C apresenta a metodologia para os cálculos referentes à classificação dos edifícios, enquanto o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C) apresenta a metodologia para obtenção da etiqueta INMETRO.

¹¹ A Portaria n.º 181 de 21 de maio de 2010 revoga e substitui a Portaria INMETRO n.º 163, de 08 de junho de 2009.

A etiqueta avalia somente edificações cuja área total útil seja igual ou superior a quinhentos metros quadrados ou cuja tensão de fornecimento seja igual ou superior a 2,3 kV. A classificação é realizada analisando as eficiências de três sistemas, sendo esses a envoltória, a iluminação e o condicionamento de ar. Esses itens, mais as bonificações, são reunidos em uma equação geral que avalia o nível de eficiência do edifício. É possível também obter a classificação somente de um dos sistemas, de modo que o edifício não é analisado no seu total.

Há cinco níveis de eficiência, tanto para classificações parciais como para totais, que são: A (mais eficiente), B, C, D e E (menos eficiente).

A classificação do nível de eficiência energética pode ser realizada de acordo com dois métodos. O método prescritivo, que utiliza uma equação fornecida na Portaria INMETRO 181/2010 e é válido para edifícios condicionados, e o método de simulação, que usa o método prescritivo e faz uma simulação do desempenho termo-energético de edifícios condicionados e não condicionados. O método prescritivo de análise do INMETRO se configura como generalista, não abrange especificamente cada edificação, pois se baseia em modelos com volumetrias mais comuns (CARLO e LAMBERTS, 2010).

Segundo Carlo e Lambert (2010), o método prescritivo é um conjunto de regras gerais para identificar a eficiência energética de uma edificação e se aplica à grande maioria das tipologias do que mais se constrói no país, mas não abrange todas as soluções possíveis. Alguns casos só poderão ser avaliados pelo método de simulação, que pode incluir análises desconsideradas no método prescritivo, como aproveitamento da luz natural, por exemplo.

3.3.1 Envoltória

De acordo com o RTQ-C, a envoltória corresponde a todos os planos externos de uma edificação, planos tais como fachadas, cobertura, brises, marquises, aberturas, dentre outros.

Para determinar o nível de eficiência energética da envoltória devem-se verificar pré-requisitos específicos; quanto mais elevado o nível, mais restritivos são os

requisitos a serem atendidos. O Quadro 3.1 apresenta uma síntese dos pré-requisitos da envoltória exigidos por nível de eficiência.

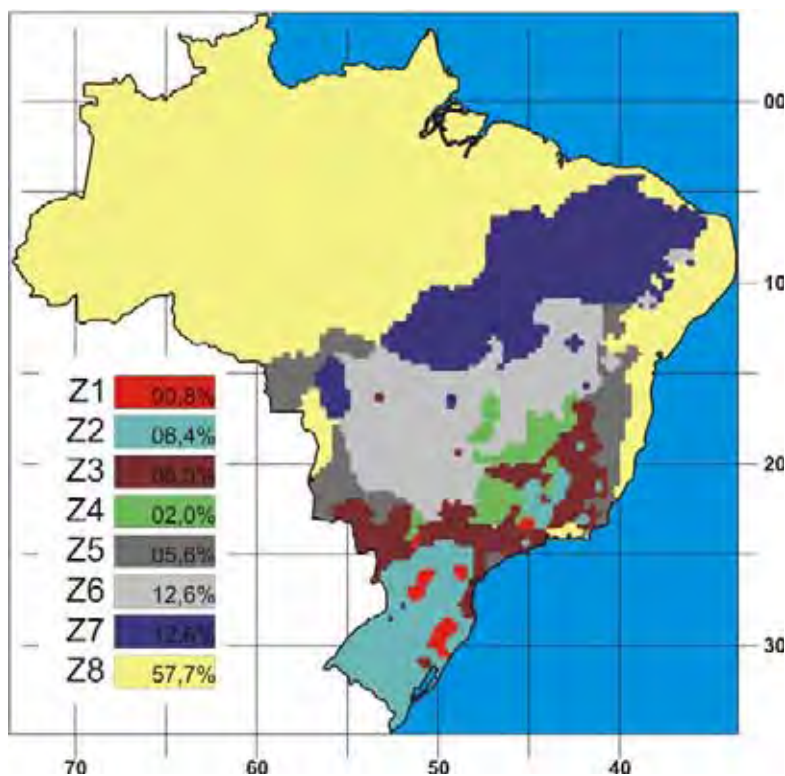
O quadro mostra que os pré-requisitos aumentam conforme aumenta o nível de eficiência. Alguns requisitos de transmitância térmica do nível A são mais rigorosos que do nível B, que são mais rigorosos que dos níveis C e D.

Quadro 3.1 - Síntese dos pré-requisitos da envoltória

Nível de eficiência	Transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores	Cores e absorptância de Superfícies	Iluminação zenital
A	X	X	X
B	X	X	
C e D	X		

Fonte: BRASIL (2010).

O território brasileiro abrange diferentes zonas climáticas que exigem diferentes condições de conforto térmico e da eficiência energética; de acordo com a norma ABNT NBR 15220/2005, existem oito zonas bioclimáticas (ZB1 a ZB8) no Brasil (Figura 3.1).



Fonte: BRASIL (2010)

Figura 3.1 - Zoneamento bioclimático brasileiro

O Quadro 3.2 relaciona o pré-requisito Transmitância Térmica com as zonas bioclimáticas correspondentes.

Quadro 3.2. Síntese das exigências para transmitância térmica de paredes

Zonas Bioclimáticas	Transmitância Térmica Máxima Paredes	Transmitância Térmica Máxima Coberturas
ZB 1 e 2	1,0 W/m ² K	0,50 W/m ² K (ambientes condicionados) 1,00 W/m ² K (ambientes não condicionados)
ZB 3 a 6	3,7 W/m ² K	1,00 W/m ² K (ambientes condicionados) 2,00 W/m ² K (ambientes não condicionados)
ZB 7 a 8	2,5 W/m ² K (paredes com capacidade térmica até 80 kJ/m ² K)	
	3,7 W/m ² K (paredes de capacidade térmica superior a 80 kJ/m ² K)	

Fonte: BRASIL (2010).

Para realização dos cálculos, o RTQ-C utiliza duas equações por zona bioclimática, uma representando edifícios com área de projeção (A_{pe}) maior que quinhentos metros quadrados e a outra para edifícios com área de projeção menor que esse limite.

O cálculo do indicador de consumo (IC) revela como a envoltória vai contribuir no consumo de energia do edifício. Através do cálculo do IC é possível identificar envoltórias mais eficientes. De acordo com BRASIL (2010), para iniciar o cálculo do Indicador de Consumo é necessário calcular as seguintes variáveis:

A_{pe} : Área de projeção do edifício (m²);

A_{tot} : Área total de piso (m²);

A_{env} : Área da envoltória (m²);

A_{pcob} : Área de projeção da cobertura (m²);

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento, dado pela equação (3.1);

$$AVS_x = \frac{AVS \cdot A_{abertura_AVSX}}{A_{abertura_X}} \quad (3.1)$$

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento, dado pelas equações (3.2) e (3.3);

$$AHS_x = \frac{AHS \cdot A_{abertura_AHSx}}{A_{abertura_x}} \quad (3.2)$$

$$AHS_{edifício} = \frac{AHS_x \cdot A_{abertura_x}}{A_{abertura}} \quad (3.3)$$

sendo x o ponto cardinal.

FF: Fator de Forma, dado pela equação (3.4);

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} \quad (3.4)$$

FA: Fator Altura, dado pela equação (3.5);

$$FA = \frac{A_{pcob}}{A_{tot}} \quad (3.5)$$

FS: Fator Solar¹², conseguido por meio de catálogo de fabricantes;

PAF_T: Percentual de Abertura na Fachada total, dado pela equação (3.6);

$$PAF_t = \frac{A_{abertura}}{A_{fachada}} \quad (3.6)$$

V_{tot}: Volume total da edificação (m³);

Além dessas variáveis, é necessário definir a orientação das fachadas, e para isso determinou-se um limite de abrangência de 45° para cada ponto cardinal (Figura 3.2), adotando a orientação mais próxima para fachadas orientadas em outras direções geográficas, da seguinte forma:

(a) de 0 a 45,0° e de 315,1° a 360,0°, a orientação geográfica é norte;

(b) de 45,1° a 135,0°, a orientação geográfica é leste;

(c) de 135,1° a 225,0°, a orientação geográfica é sul; e

(d) de 225,1° a 315,0°, a orientação geográfica é oeste.

¹² O Fator Solar é a razão entre o ganho de calor que entra no ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura (BRASIL, 2010).

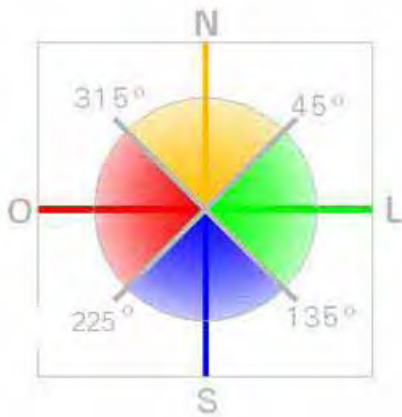


Figura 3.2 - Orientação das fachadas por pontos cardeais

Por exemplo, para a Zona Bioclimática 2 e 3 e $A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$, calcula-se o indicador de consumo por meio da equação (3.7).

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -175,30 FA - 212,79 FF + 21,86 PAF_T + 5,59 FS - 0,19 AVS + 0,15 AHS + \\
 & + 275,19 \frac{FA}{FF} + 213,35 FA \cdot FF - 0,04 PAF_T \cdot FS \cdot AVS - 0,45 PAF_T \cdot AHS + 190,42
 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Calcula-se o limite máximo do indicador de consumo $IC_{máxD}$ por meio da mesma equação com os parâmetros fornecidos pela Tabela 3.1. O $IC_{máxD}$ representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, acima deste valor, a edificação passa a ser classificada com o nível E

Tabela 3.1 - Parâmetros do $IC_{máxD}$.

PAF_T	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0

Calcula-se o limite mínimo $IC_{mín}$, indicador de consumo mínimo, por meio da equação com os dados fornecidos pela Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Parâmetros do $IC_{mín}$

PAF_T	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Os parâmetros $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$ representam o intervalo dentro do qual a edificação deve estar inserida. O intervalo entre as faixas para IC, obtido através da equação (3.8), é dividido em quatro partes (i) em que cada parte se refere a um nível de

classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. A definição do intervalo de mudança do nível de eficiência está indicada na Tabela 3.3, conforme RTQ-C.

$$i = \frac{IC_{\text{máxD}} - IC_{\text{mín}}}{4} \quad (3.8)$$

Após calcular o valor i , é necessário o preenchimento da Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$IC_{\text{máxD}} - 3i + 0,01$	$IC_{\text{máxD}} - 2i + 0,01$	$IC_{\text{máxD}} - i + 0,01$	$IC_{\text{máxD}} + 0,01$
Lim Máx	$IC_{\text{máxD}} - 3i$	$IC_{\text{máxD}} - 2i$	$IC_{\text{máxD}} - i$	$IC_{\text{máxD}}$	-

Finalizando, deve-se comparar o IC_{env} referente à edificação em análise com os limites da Tabela 3.3 para identificar o nível de eficiência do projeto em questão. Quanto menor o indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação.

3.3.2 Iluminação

O método de avaliação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação é realizado por meio de pré-requisitos e cálculos envolvendo variáveis referentes ao projeto luminotécnico e ao ambiente interno.

Os sistemas eficientes são definidos através da densidade de potência de iluminação (DPI)¹³ instalada, baseando-se nas diferentes atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente. A norma NBR 5413 (ABNT, 1992) é utilizada para a determinação do nível de iluminação adequado a cada atividade.

Para tal, deve-se verificar se a edificação atende aos pré-requisitos apresentados pelo Quadro 3.3 referente à sua classificação. Através do Quadro 3.3, é possível perceber que para ser classificado como A o sistema deverá atender aos três pré-requisitos, para o nível B os dois primeiros e no caso do nível C o primeiro pré-requisito. Os pré-requisitos para o sistema de iluminação devem ser atendidos em todos os ambientes, caso contrário a classificação é corrigida e seu nível decresce.

¹³ DPI: Razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente.

Quadro 3.3 - Síntese dos pré-requisitos do Sistema de iluminação

Nível de Eficiência	Divisão dos circuitos	Contribuição de luz natural	Desligamento automático
A	X	X	X
B	X	X	
C	X		

Fonte: BRASIL (2010).

A eficiência do sistema de iluminação é apontada a partir da determinação da densidade de potência de iluminação limite (DPI_L), que está relacionada ao nível de iluminância necessário em cada ambiente, sendo necessário identificar as atividades dos ambientes para determinar o nível de eficiência da DPI. Os níveis de eficiência para a potência de iluminação variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

A avaliação do sistema de iluminação deve ser realizada através de um dos seguintes métodos:

- método da área do edifício, ou
- método das atividades do edifício.

Para se determinar a DPI_{RF} , segundo método da área do edifício, segue-se o roteiro (BRASIL, 2010):

- a. Identificar a atividade principal do edifício de acordo com a Tabela 1 do Anexo 1 e a densidade de potência de iluminação limite ($DPI_L - W/m^2$) para cada nível de eficiência.
- b. Determinar a área iluminada do edifício e multiplicá-la pela DPI_L , para encontrar a potência instalada limite do edifício.
- c. Quando o edifício for caracterizado por mais de uma atividade principal determina-se a DPI_L e a área iluminada correspondente para cada atividade. A potência instalada limite para o edifício será a soma das potências limites para cada função do edifício.
- d. Comparar a potência total instalada no edifício e a potência instalada limite para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação.

Já, segundo o método das atividades do edifício, o procedimento é realizado da seguinte forma:

- a. identificar as atividades exercidas no edifício e a DPI_L para cada atividade em cada nível de eficiência, de acordo com a Tabela 2 do Anexo 1;
- b. Somar a área iluminada dos grupos de ambientes de mesma atividade e encontrar a potência instalada para cada um dele;
- c. Comparar o índice de ambiente $(K)^{14}$ com os definidos na Tabela 2 do Anexo 1 e caso o índice do ambiente analisado seja menor que o definido na tabela, este terá um aumento em 20% na densidade de potência de iluminação limite (DPIL). O aumento da potência só será utilizado pelo ambiente em questão, avaliado individualmente.
- d. Comparar com a potência instalada limite, identificando o EqNum (equivalente numérico) por grupo de ambientes;
- e. Ponderar os EqNum dos grupos de ambientes pela potência prevista em projeto, determinando assim o EqNumDPI.

3.3.3 Ar Condicionado

A avaliação da eficiência do sistema de condicionamento de ar pode ser efetuada consultando a etiqueta INMETRO dos aparelhos já classificados pelo órgão, respeitando o cálculo da carga térmica do local conforme normas vigentes, ou seja, para que classificação do sistema de ar condicionado seja de nível A, o equipamento, com base na ENCE do INMETRO, deve estar classificado como nível A e a sua unidade condensadora deve estar sombreada permanentemente e com ventilação adequada; caso esse último fator não esteja de acordo, o equipamento será enquadrado no nível B.

No caso de sistemas de condicionamento de ar cujos equipamentos não estão enquadrados pelo INMETRO, além de verificar sua capacidade de refrigeração, os aparelhos são avaliados conforme seu desempenho frente a níveis fornecidos pelo RTQ-C.

Para o dimensionamento do sistema de ar condicionado, o método prevê que as cargas térmicas de projeto do sistema de aquecimento e resfriamento de ar devem ser

¹⁴ O índice de ambiente (K) é uma relação que permite classificar diferentes ambientes com base em suas áreas.

calculadas de acordo com normas e manuais de engenharia de comprovada aceitação nacional ou internacional¹⁵.

3.3.4 Consolidação da avaliação pelo método do INMETRO

Os resultados das eficiências destes três sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) são inseridos na equação geral para verificação do nível de eficiência global da edificação. No entanto, pode haver alterações no cálculo das eficiências dos três sistemas parciais e da eficiência geral caso haja bonificações ou não cumprimento de pré-requisitos.

As bonificações refletem algumas iniciativas ambientais adotadas pela edificação com intuito de sua aumentar a eficiência, são pontuadas aumentando o nível da classificação, porém não são obrigatórias, apenas visam incentivar o uso de energia solar para aquecimento de água, uso racional de água, cogeração, dentre outros. Já os pré-requisitos têm cumprimento obrigatório e referem-se a cada sistema em particular e ao edifício por completo.

As bonificações podem receber até um ponto na classificação geral, precisam ser justificadas e a economia gerada deve ser comprovada, podendo ser iniciativas que garantam:

- Economia mínima de 40%¹⁶ no consumo anual de água do edifício, com o uso de sistemas e equipamentos economizadores de água e aproveitamento de água pluvial.
- Economia mínima de 10% no consumo anual de energia elétrica do edifício com a utilização de energia renovável;
- Atendimento de 70% do aquecimento solar de água para edificações em que a parcela de água quente representa um percentual igual ou maior a 10% da demanda total instalada de energia elétrica¹⁷;

¹⁵ Como será apresentado no item Análise Preliminar do Sistema de ar Condicionado do Capítulo 4.

¹⁶ Pela Portaria INMETRO nº 163/2009 a economia mínima no consumo anual de água do edifício era de 20%, porém com a Portaria INMETRO nº 181/2010 esse percentual passou para 40%.

¹⁷ A Portaria INMETRO nº 181/2010 também alterou a percentagem de 60% para 70% e estabeleceu a percentagem mínima de 10% da representação da água quente no consumo elétrico da edificação

- Economia mínima de 30% no consumo anual de energia elétrica com o uso de sistemas de cogeração;
- Economia mínima de 30% do consumo anual de energia elétrica utilizando inovações técnicas ou de sistemas que aumentem a eficiência energética da edificação.

Deve-se observar que economias em mais de um item que sejam individualmente menores que os valores mínimos exigidos podem ser somadas para alcançar maiores percentuais. A partir de tais observações, o método se baseia na aplicação de uma equação geral que contabiliza o consumo energético da envoltória, iluminação e condicionamento de ar resultando num equivalente numérico do nível de eficiência do edifício. O cálculo se refere a uma relação entre pesos (estabelecidos por usos finais) para cada sistema e pelo equivalente numérico de seu nível parcial de eficiência, sendo o peso da envoltória de 30%, do sistema de iluminação de 30% e do sistema de condicionamento de ar de 40% (Eq.3.9).

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + (0,30 \cdot EqNumDPI) + 0,40 \cdot \left\{ \left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b \quad (3.9)$$

sendo:

PT: pontuação final que irá indicar o nível de eficiência do edifício;

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: equivalente numérico da Densidade de Potência de Iluminação;

EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

EqNumV: equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT: área de piso dos ambientes de permanência transitória, não condicionados em m²;

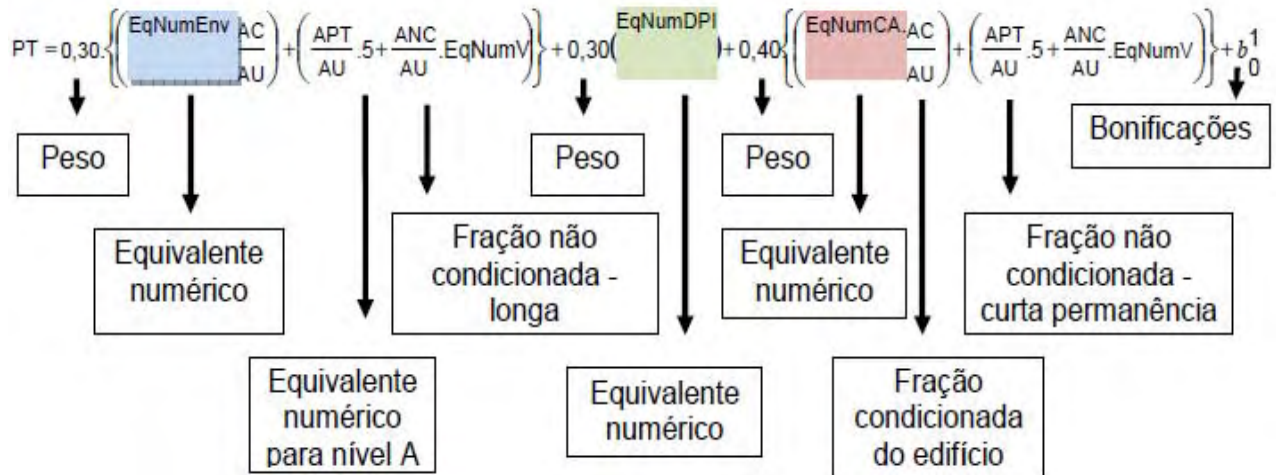
ANC: área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada em m²;

AC: área de piso dos ambientes condicionados em m²;

AU: área útil em m²;

b: pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

Pela Figura 3.3 visualiza-se de forma clara cada variável da equação geral.



Fonte: BRASIL (2009)

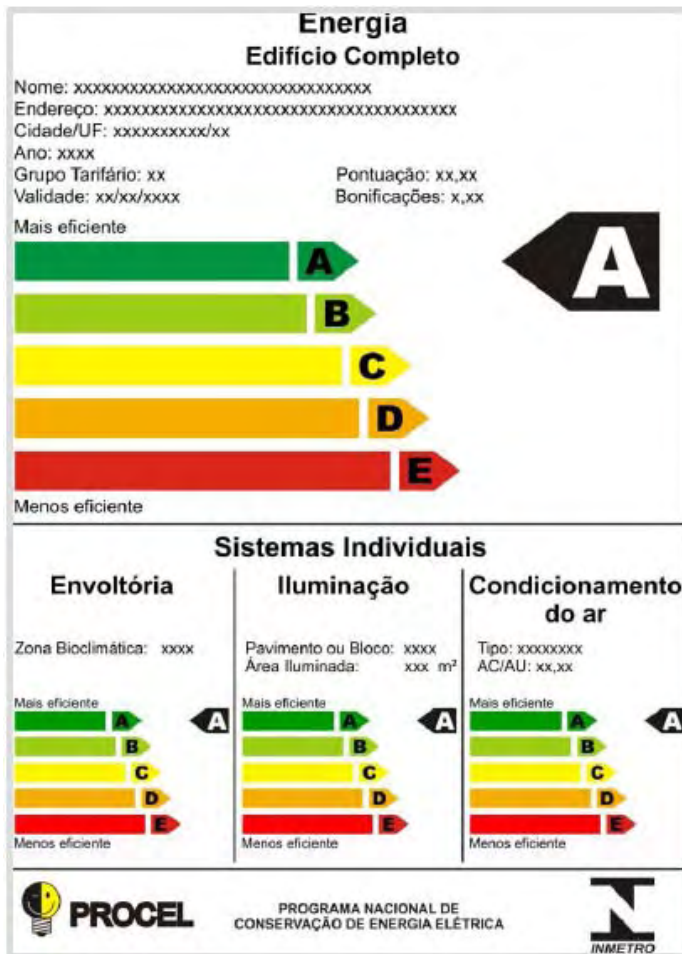
Figura 3.3 - Variáveis da equação geral

O equivalentente numérico obtido pela equação 3.9 é usado para definir a classificação da edificação conforme o Quadro 3.4, gerando uma etiqueta cujo modelo é apresentado na Figura 3.4.

Quadro 3.4 - Classificação Geral de Edificação

PT	Classificação
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

Fonte: BRASIL (2009)



Fonte: BRASIL, 2009.

Figura 3.4 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações.

3.4 Metodologia B (Sistema LEED)

O LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) foi desenvolvido pelo *U. S. Green Building Council* (USGBC) objetivando avaliar edificações ambientalmente sustentáveis nos Estados Unidos por meio de um sistema voluntário, bem como classificar seu desempenho ambiental. A avaliação de sustentabilidade de edifícios é baseada em especificações de desempenho e é realizada através da obtenção de créditos conforme o atendimento dos critérios pré-estabelecidos.

O método identifica e informa a eficiência e o desempenho ambiental do edifício ao longo de seu ciclo de vida, tendo como objetivo geral estabelecer preceitos relacionados ao conceito de *green building* ou prédios sustentáveis e fornecer uma padronização para medir a dimensão ambiental relativa dos projetos.

O sistema de avaliação foi concebido para ter um conteúdo claro e de simples operação, utilizando como referência conceitos já bem consolidados por organizações de credibilidade reconhecida como, por exemplo, a *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineer (ASHRAE)*, a *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) e o Departamento de Energia (DOE) (SILVA, 2003). Existem várias tipologias do sistema LEED que estão subdivididas da seguinte forma (USGBC, 2008):

- LEED NC® (*New Construction*) é aplicado em novas construções, foi elaborado para guiar projetos com alto desempenho em relação ao consumo de energia, materiais e água e em relação à qualidade ambiental interna.

- LEED CS® (*Core & Shell*) é utilizado por construtores visando a pré-venda do empreendimento ou facilidades de financiamentos; foi desenvolvido para ser complementado pelo LEED CI® (*Commercial Interior*). Nesta modalidade, certifica-se toda a envoltória do empreendimento, suas áreas comuns e internamente, o sistema de ar condicionado e elevadores.

- LEED CI® (*Commercial Interior*) foi criado para atender ambientes comerciais, garantindo alto desempenho dos interiores em termos de ambiente saudável, locais de trabalho produtivos, baixo custo de manutenção e operação, bem como a redução do impacto ambiental.

- LEED ND® (*Neighbourhood Development*), para desenvolvimento de bairros e comunidades, tem por objetivo a concepção de bairros integrando os princípios do crescimento inteligente, urbanismo e construção sustentável, dessa forma estabelece elevados níveis de responsabilidade ambiental e social.

- LEED School® é baseado no sistema de certificação LEED NC® e aborda questões como a sala de aula, acústica, planejamento central, prevenção contra mofo e avaliação ambiental do local.

- LEED EB® (*Existing Building*), para edifícios existentes e tem como objetivo melhorar a eficiência operacional e minimizar os impactos ambientais, o sistema aborda programas de reciclagem, programas de manutenção exterior e atualização de sistemas. É aplicado também em projetos já certificados que desejam a renovação da certificação.

O método de classificação utilizado pelo LEED baseia-se numa lista de verificação na qual se apresentam pré-requisitos de cumprimento obrigatório e itens pontuáveis. A certificação LEED é concedida a edifícios de alto desempenho ambiental e energético, não envolvendo aspectos sociais.

Existem várias versões da certificação LEED e a vigente atualmente é a versão 2009. Para se obter a Certificação LEED 2009 o edifício precisa alcançar no mínimo 40 pontos (são distribuídos um total de 110 pontos), além de atender os pré-requisitos obrigatórios. Dependendo da pontuação alcançada, o edifício será julgado de acordo com as seguintes escalas:

- Certificado: 40 a 49 pontos
- Prata: 50 a 59 pontos
- Ouro: 60 a 79 pontos
- Platina: 80 a 110 pontos

Como neste trabalho será avaliada uma edificação já existente, a ferramenta utilizada será o Sistema de Avaliação LEED EB (*Existing Buildings*), que é organizado de acordo com as sete categorias, que seguem:

- Implantação Sustentável (*Sustainable Sites*)
- Eficiência Hídrica (*Water Efficiency*)
- Energia e Atmosfera (*Energy and Atmosphere*)
- Materiais e Recursos (*Materials and Resources*)
- Qualidade Ambiental Interna (*Indoor Environmental Quality*)
- Inovação na Operação (*Innovation in Operations*)
- Prioridades Regionais (*Regional Priority*)

A classificação final é então obtida pela soma aritmética dos pontos correspondentes a cada um dos subitens cumpridos.

A metodologia é estruturada basicamente em três etapas. A primeira etapa é a de nivelamento, na qual é verificado se o edifício é ou não elegível para ser efetivamente avaliado¹⁸. A segunda etapa é de análise e classificação, e consiste no preenchimento

¹⁸ O critério mínimo de nivelamento exigido para avaliação de um edifício pelo LEED é o cumprimento de uma série de pré-requisitos. Satisfeitos todos estes pré-requisitos, o edifício torna-se elegível a passar para a etapa de análise e classificação de desempenho, dada pelo número de créditos obtidos.

de um *checklist* que apresenta as categorias e seus pré-requisitos respectivos, bem como a pontuação possível de ser atingida. Após o preenchimento, a somatória dos pontos é calculada. De acordo com a pontuação final será concedido um certificado de classificação Prata, Ouro ou Platina, ou o edifício pode ser apenas classificado como tendo sido certificado.

Na terceira etapa acontece a apresentação dos resultados; isso se concretiza através da própria lista que foi preenchida, indicando a pontuação obtida e a classificação concedida.

A Figura 3.5 exemplifica a listagem dos critérios avaliados de acordo com a ferramenta sugerida, sendo que essa listagem está subdividida de acordo com as sete categorias apresentadas anteriormente.

**LEED para Prédios Existentes:
Operação e Manutenção 2009
Pontuação do projeto**

Nome do Projeto: Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FDCT

Endereço do Projeto: Campus Unesp - Guaratinguetá

Sim	?	Não		26 Pontos
			Espaço Sustentável	
			Credito 1 Certificados LEED	4
			Credito 2 Plano de Manutenção Áreas Externas	1
			Credito 3 Plano de Manutenção Integrado p/ Controle de Pestes, Erosão e Paisagismo	1
			Credito 4 Transporte Alternativo	3 a 15
			<input type="checkbox"/> Redução em, 10%	3
			<input type="checkbox"/> Redução em, 13,75%	4
			<input type="checkbox"/> Redução em, 17,50%	5
			<input type="checkbox"/> Redução em, 21,25%	6
			<input type="checkbox"/> Redução em, 25%	7
			<input type="checkbox"/> Redução em, 31,25%	8
			<input type="checkbox"/> Redução em, 37,50%	9
			<input type="checkbox"/> Redução em, 43,75%	10
			<input type="checkbox"/> Redução em, 50%	11
			<input type="checkbox"/> Redução em, 56,25%	12
			<input type="checkbox"/> Redução em, 62,50%	13
			<input type="checkbox"/> Redução em, 68,75%	14
			<input type="checkbox"/> Redução em, 75% ou mais	15
			Credito 5 Desenvolvimento do Espaço - Proteção e Restauração do Habitat	1
			Credito 6 Gestão da Quantidade do Escoamento Superficial	1
			Credito 7.1 Redução das Ilhas de Calor - Superfícies construídas	1
			Credito 7.2 Redução das Ilhas de Calor - Coberturas	1
			Credito 8 Redução da Poluição Luminosa	1

Figura 3.5 – Exemplo do *checklist* para aplicação do LEED para prédio já existentes

3.5 Avaliação econômica de alternativas tecnológicas

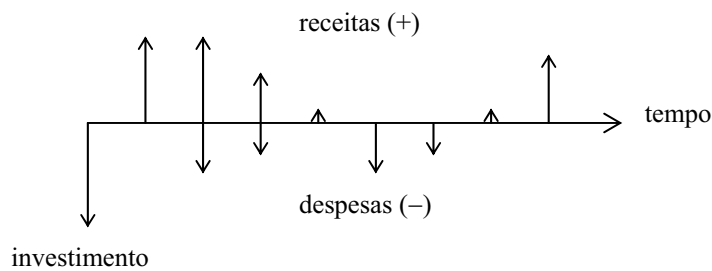
Um dos elementos para promover a conservação de energia de uma edificação é a avaliação econômica, capaz de mostrar se o investimento acarreta em benefícios econômicos, sejam imediatos ou de longo prazo. Qualquer ação não obrigatória que objetiva o uso racional e eficiente de recursos e de energia só é realizada de forma corrente se garantir o retorno do investimento em tempo adequado; portanto, a análise econômica das alternativas consideradas é fundamental.

Após serem determinados os investimentos necessários para realizar as alterações estabelecidas pelas propostas de melhorias, é necessário avaliar se são economicamente atraentes. Para tal análise foram utilizados os conceitos de engenharia econômica, sendo que os principais métodos sugeridos para aplicação são:

- Método do Valor Presente Líquido;
- Método do Valor Futuro Líquido;
- Método do Valor Uniforme Líquido;
- Método do Benefício;
- Método da Taxa de Retorno;
- Método do Prazo de Retorno.

A utilização de mais de uma técnica de avaliação financeira é sempre recomendada, pois permite comparações importantes para a análise. Assim, serão utilizados no presente trabalho os métodos do valor presente líquido, do prazo de retorno a juros reais com receitas constantes ao longo do tempo e da taxa interna de retorno.

O método do valor presente líquido possibilita determinar um valor monetário no instante inicial de referência, a partir de um fluxo de caixa composto por uma série de receitas e despesas. A Figura 3.6 esquematiza o diagrama de fluxo de caixa, com a representação de entradas e saídas monetárias ao longo do tempo, sendo os benefícios valores positivos e os custos ou despesas, valores negativos.



Fonte: Hirschfeld (1992)

Figura 3.6 – Desenho esquemático do fluxo de caixa

O somatório de todos os valores monetários envolvidos no fluxo de caixa, durante os n períodos observados, reduzidos ao instante inicial e sendo i a taxa de juros utilizada, é chamado de valor presente líquido. A equação (3.10) possibilita tal cálculo (HIRSCHFELD, 1992).

$$\text{VPL} = \sum_0^n F_n (1+i)^{-n} \quad (3.10)$$

sendo:

VPL = valor presente líquido;

F_n = valores envolvidos no fluxo de caixa que ocorrem em n (receitas e despesas ao longo do tempo);

n = número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e despesas do fluxo de caixa;

i = taxa mínima de atratividade.

Em fluxos de caixa com tempo de duração diferente, é necessário convertê-los em um determinado período que permita a sua compensação.

O prazo de retorno é o período de tempo necessário para que os custos de um investimento sejam cobertos pelos benefícios da alternativa, de acordo com uma taxa de juros. Em outras palavras, é através do método de prazo de retorno que se estima em quanto tempo o investimento seria recuperado; a análise deste é realizada a partir da equação (3.11), conforme descrito por Hirschfeld (1992).

$$-C + F \cdot \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] = 0 \quad (3.11)$$

sendo:

C = valor do investimento

F = receitas e despesas ao longo do tempo; fluxo de caixa

n = número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e despesas do fluxo de caixa

i = taxa de juros por períodos de capitalização

De acordo com Dias (1999), resolvendo-se a equação (3.11) para o período n e receitas constantes, obtém-se a equação (3.12):

$$n = \frac{\log \frac{F}{F - Ci}}{\log(1 + i)} \quad (3.12)$$

A taxa interna de retorno possibilita comparar a quantia investida em relação às receitas proporcionadas em um determinado período. Para tal, o VPL é igualado a zero, ou seja, é calculado a taxa de juros que torna o valor presente líquido nulo. Essa taxa de juros será a taxa interna de retorno, que deve corresponder, pelo menos, à taxa mínima de atratividade.

Caso um fluxo de caixa apresente uma série de receitas e/ou despesas variáveis, é possível transformar tais contribuições em valores uniformizados e, dessa forma, dar origem a uma série uniforme equivalente que permitirá uma melhor compreensão dos estudos de engenharia econômica. O fluxo de caixa formado pelos valores uniformes é chamado fluxo uniforme equivalente (Figura 3.7).

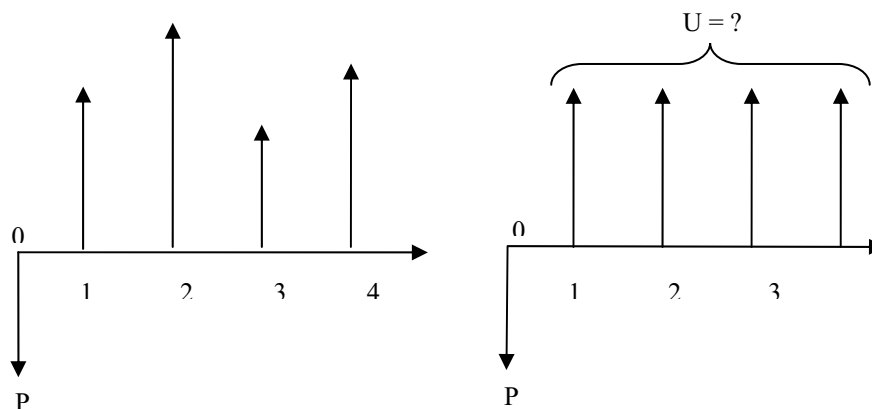


Figura 3.7 – Representação gráfica de um fluxo de caixa e seu fluxo uniforme equivalente

Dado um valor presente P , calcula-se o valor uniforme U aplicando a equação (3.14).

$$U = P \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (3.13)$$

4 AQUISIÇÃO DE DADOS ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS

Neste capítulo será apresentada a edificação do estudo de caso e sua interação com o meio no tocante ao consumo de energia e desempenho ambiental. Ainda no presente capítulo, as metodologias referentes ao Sistema INMETRO de Etiquetagem para Eficiência Energética de Edifícios e ao Sistema LEED serão aplicadas na instalação escolhida para o estudo de caso.

A edificação a ser avaliada é vinculada à Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FDCT, empresa de direito privado, com autonomia administrativa e financeira, sem fins lucrativos, instituída em 09 de junho de 1989 por docentes da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Guaratinguetá. Sua atuação compreende atividades de consultoria, desenvolvimento de projetos, oferecimento de cursos de especialização e extensão universitária bem como a realização de conferências, simpósios e seminários visando à difusão do conhecimento científico e tecnológico.

A FDCT está inserida nas dependências da UNESP, Campus de Guaratinguetá, e possui área total construída de 111,75 m². A Figura 4.1 ilustra a planta baixa referente à edificação ocupada pela FDCT.

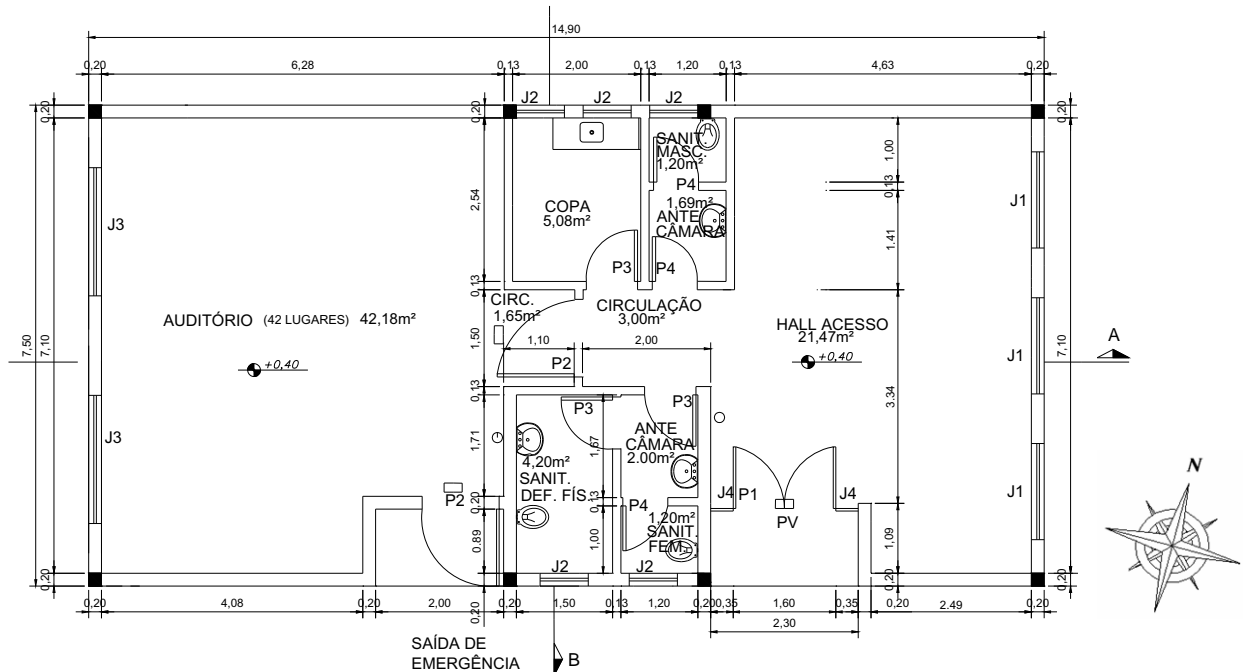


Figura 4.1 Planta baixa do edifício.

Por sediar algumas atividades intermitentes, como cursos de duração variada e eventuais reuniões, o número de usuários da instalação não é constante, o que dificulta algumas análises. Com intuito de conhecer melhor os usuários e sua opinião em relação à FDCT, foi realizada uma pesquisa para análise de pós-ocupação da edificação com base em um questionário interativo.

O questionário interativo reuniu temas sobre as condições de conforto térmico e acústico; iluminação natural e artificial; gerenciamento de resíduos gerados no local; meio de transporte dos usuários; localização da edificação e acessibilidade para portadores de necessidades especiais; existência de áreas verdes e condições de manutenção dos equipamentos. Com base nas respostas apresentadas pelos usuários, foi possível perceber problemas com conforto térmico e acústico, mas de forma positiva o uso de iluminação natural, existência de áreas verdes e separação do material reciclado.

4.1 Identificação do consumo energético

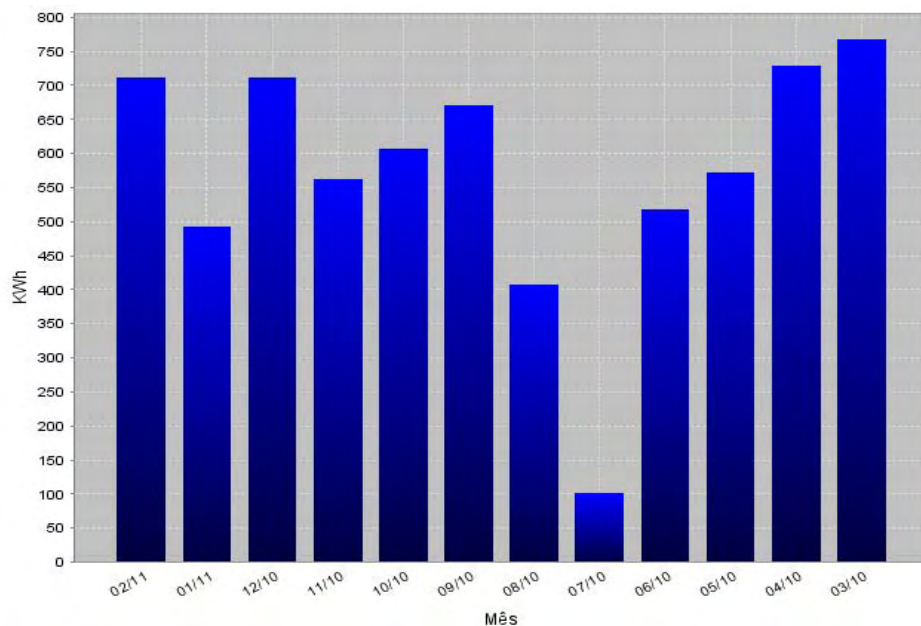
O histórico de consumo de energia elétrica foi obtido com o auxílio das faturas mensais de energia elétrica fornecida pela concessionária para um período de 12 meses¹⁹. O contrato de fornecimento de energia com a concessionária se enquadra como consumidor convencional com tarifação de valor 0,325 R\$/kWh consumido (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Histórico de consumo de energia elétrica da FDCT

Mês/Ano	Data da leitura	Leitura	Consumo (kWh)	nº de dias/faturamento	Média kWh/dia
Fev/2011	18/2/2011	15803,0	713,0	28	25,5
Jan/2011	21/1/2011	15090,0	493,0	31	15,9
Dez/2010	21/12/2010	14597,0	712,0	29	24,6
Nov/2010	22/11/2010	13885,0	564,0	31	18,2
Out/2010	22/10/2010	13321,0	607,0	30	20,2
Set/2010	22/9/2010	12714,0	672,0	33	20,4
Ago/2010	20/8/2010	12042,0	408,0	29	14,1
Jul/2010	22/7/2010	11634,0	102,0	30	3,4
Jun/2010	22/6/2010	11532,0	518,0	32	16,2
Mai/2010	21/5/2010	11014,0	573,0	29	19,8
Abril/2010	22/4/2010	10441,0	729,0	30	24,3
Mar/2010	23/3/2010	9712,0	768,0	29	26,5

¹⁹ Embora Eletrobrás (2001) recomende trabalhar com um histórico de 24 meses, isso não foi possível, pois a edificação não possuía os dados necessários e a pesquisa destes junto à concessionária resultou nos valores dos últimos 12 meses.

Com os dados do histórico, é gerado um gráfico com o perfil do consumo da Fundação, que está representado pela Figura 4.2. De acordo com o perfil de consumo de energia elétrica é possível perceber que no mês de julho os gastos foram consideravelmente menores, pois além da redução nas atividades regulares do prédio devido às férias dos alunos, esse é o mês que não há uso de ar condicionado.



Fonte: Bandeirante Energia S.A. (<http://www.bandeirante.com.br/energia/index.asp>)
 Figura 4.2 – Perfil de consumo de energia elétrica da FDCT

Com a finalidade de conhecer melhor a forma de utilização da energia elétrica, foi realizada a medição direta nas instalações da FDCT. Segundo Alvarez (1998), a medição direta é o monitoramento das cabinas primárias do local em estudo com o intuito de expor informações precisas sobre o consumo diário de energia, informações estas que não são obtidas com as contas de energia elétrica. O equipamento utilizado na medição é um analisador de energia, modelo SAGA 4000, o qual registra continuamente diversas grandezas elétricas de acordo com um intervalo de tempo específico programado pelo usuário. As grandezas que compõem um registro são: tempo (hh:mm:ss), tensão de fase (V_A , V_B , V_C), corrente de fase (I_A , I_B , I_C), potência ativa (P_A , P_B , P_C), e potência reativa (Q_A , Q_B , Q_C).

Para realizar o monitoramento do consumo da instalação, é necessário adotar um período de análise adequado. Caso o perfil de consumo de energia não seja regular, deve-se considerar um maior período de análise para determinar as sazonalidades no consumo (ALVAREZ, 1998). No caso da FDCT, de consumo regular, o

monitoramento realizado durante uma semana típica e em intervalos de cinco minutos oferece uma representação adequada.

Através da instalação do equipamento SAGA 4000, o levantamento de cargas teve início às 09h05min do dia 22 de novembro de 2010 e foi finalizado às 16h10min do dia 26 de novembro de 2010. Todos os registros armazenados na memória de massa do equipamento foram transferidos para um computador.

As figuras subsequentes são decorrência da medição direta, revelando valores das grandezas elétricas monitoradas de acordo com o período de tempo determinado. As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam as curvas que caracterizam o consumo durante uma semana.

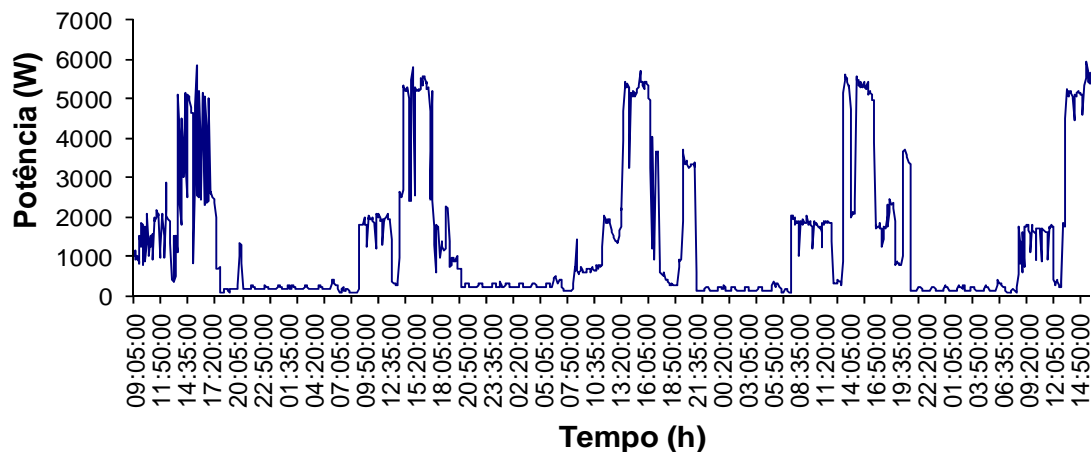


Figura 4.3 - Curva de carga da edificação analisada – Potência Ativa

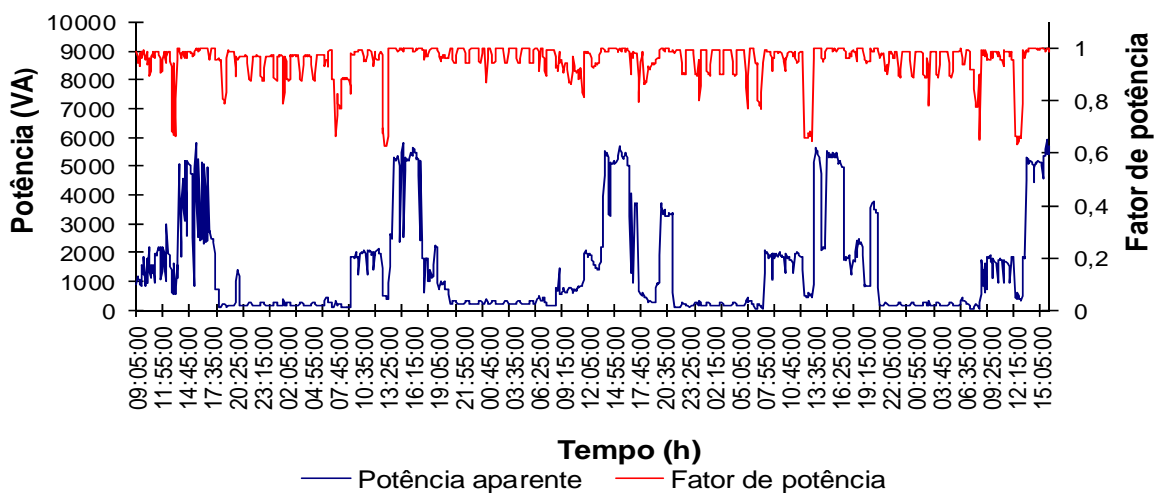


Figura 4.4 - Curva de carga revelando a Potência Aparente e o Fator de Potência da edificação.

Com a análise das curvas é possível identificar os picos de demanda, horários de maior e menor consumo, bem como o comportamento do fator de potência. A relação entre a Potência Ativa e a Potência Aparente (soma vetorial das Potências Ativa e Reativa) indica o Fator de Potência, ou seja, o quanto de potência está efetivamente realizando trabalho, revelando a eficiência com a qual a energia está sendo usada.

As atividades diárias na Fundação no período de 08h00 as 12h00 e de 13h30 as 17h30 se caracterizam em atividades de escritório, aulas diárias e eventuais reuniões e cursos. Já no período noturno, o uso da Fundação se destina, principalmente, a aulas de cursos de extensão universitária.

O consumo de energia elétrica na edificação se revela mais significativo durante o horário das 08h às 18h, período em que se revelam os maiores consumos decorrentes do emprego de sistemas de iluminação e de condicionamento de ar devido à sua ocupação, refletindo as características típicas de uso da edificação.

As curvas mostram o crescimento do consumo diário de acordo com o passar das horas do dia, ocorrendo um pico de 6 kW por volta das 15h, horário de elevada temperatura nos meses de verão. Os ambientes que possuem aparelhos de ar condicionado são as salas de atividades constantes, sendo estas o auditório e o escritório. As paredes externas do auditório estão voltadas para o oeste, norte e sul²⁰, sendo que as fachadas de face oeste e norte estão expostas à radiação solar durante todo o período da tarde. O ambiente do escritório também possui uma de suas paredes externas voltada para o norte e a outra, protegida do sol, voltada para leste.

4.1.1 Sistema de Iluminação

4.1.1.1 Análise Preliminar no Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação normalmente constitui uma das principais cargas elétricas de uma edificação; desta maneira, as tecnologias utilizadas e o dimensionamento das instalações foram analisados de forma criteriosa.

Para avaliar o sistema de iluminação, é necessário, além dos cálculos requeridos pela metodologia do INMETRO, analisar o dimensionamento do sistema através do

²⁰ De acordo com o manual de aplicação do INMETRO, as faces foram julgadas como sendo norte, oeste e sul. No manual até uma angulação de $\pm 45^\circ$ toma-se pelo ponto cardinal, desconsiderando os pontos colaterais.

cálculo do fluxo luminoso dos ambientes, verificando o atendimento da norma NBR 5413 (ABNT, 1992). Inicia-se a análise calculando o índice de ambiente (k), razão das dimensões do recinto e a posição da luminária em relação ao plano de trabalho, para cada recinto. Emprega-se a equação (4.2) para a determinação do índice de ambiente de uma área retangular:

$$k = \frac{c \cdot l}{h_m \cdot (c + l)} \quad (4.2)$$

sendo:

c : comprimento do local [m];

l : largura do local [m];

h_m : distância da fonte de luz ao plano de trabalho [m].

Se o ambiente não for retangular utiliza-se a equação (4.3):

$$k = \frac{A_T \cdot A_{PT}}{A_p} \quad (4.3)$$

sendo:

A_T : Área de teto [m²];

A_{PT} : Área do plano de trabalho [m²];

A_p : Área de parede entre o plano iluminante e plano de trabalho [m²].

Após o conhecimento do índice de ambiente, segue a determinação do coeficiente ou fator de utilização (u), que relaciona o fluxo luminoso emitido pela luminária e o fluxo recebido no plano de trabalho. Para tanto, é necessário conhecer a refletância do teto, paredes e piso.

Para a avaliação da refletância, visando à obtenção do fator de utilização (u), foi adotado o procedimento desenvolvido em Creder (2000), o qual será aplicado nas demais áreas em estudo. Nesse contexto, foram adotadas as seguintes características internas apontadas pelo Quadro 4.1.

Quadro 4.1– Quadro de refletância das superfícies

Superfície	Cor	Índice
Teto	Branco	7
Parede	Clara	5
Piso	Escuro	1

Sendo assim, a refletância fica identificada pela sequência 751 (teto branco, parede clara e piso escuro) que, associado com o índice do local (k), obtém-se um fator de utilização $u = 0,58$ referente à luminária 2 TLD 32 W.

O fator de depreciação ou manutenção relaciona o fluxo luminoso inicial da luminária e o fluxo luminoso emitido no final do período de manutenção da luminária, medido em horas de uso (CREDER, 2000). Conforme análise sugerida por Creder (2000), para um ambiente com condição de limpeza normal e período de manutenção das luminárias de 7500 horas, o coeficiente de depreciação (d) é 0,8.

Para determinação do fluxo total e número de luminárias segundo Creder (2000), empregam-se as equações (4.4) e (4.5).

$$\phi = \frac{E \cdot S}{u \cdot d} \quad (4.4)$$

$$n = \frac{\phi}{\varphi} \quad (4.5)$$

sendo:

ϕ = fluxo luminoso total, em lúmens;

S = área do recinto, em metros;

E = nível de iluminação, em luxes ou iluminância;

u = fator de utilização;

d = fator de depreciação;

n = número de luminárias;

φ = fluxo por luminárias, em lúmens.

Em conformidade com a norma NBR 5413 (ABNT, 1992), nos ambientes com atividades semelhantes às do auditório e do escritório da Fundação, o índice de iluminância adotado é 300 lux; para os ambientes referentes ao hall, sanitários e corredor, a iluminância é de 100 lux; já para copa, um índice de 150 lux é apropriado e, para sala de reunião, foi adotada a iluminância de 200 lux.

Dessa forma, o ambiente do auditório possui um índice de ambiente (k) igual a 0,89 e de acordo com Creder (2000) o fator de utilização (u) para refletância 751 e para luminária tipo TCW 502 é 0,308. Com os valores identificados, a saber:

k = 0,89;

$$u = 0,308;$$

$$E = 300 \text{ lux};$$

$$S = 42,19 \text{ m}^2;$$

Utilizando a equação (4.4) obtém-se:

$$\phi = \frac{300 \cdot 42,19}{0,308 \cdot 0,8}$$

$$\phi = 51294 \text{ lumens};$$

Assim, são necessárias $n = 20$ lâmpadas para atender o fluxo luminoso requerido pelo ambiente do auditório.

O dimensionamento do sistema instalado de iluminação no auditório, segundo análise do fluxo luminoso e norma NBR 5413 (ABNT, 1992), está adequado.

Seguindo a mesma sequência de cálculo para o restante dos ambientes que constituem a Fundação, têm-se os resultados apresentados pela Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resumo da análise do fluxo luminoso nos ambientes da FDCT.

Ambientes	Variáveis							n° real
	K	u	E (Lux)	S (m ²)	φ (lumens)	φ (lumens)	n° (lâmpadas)	
Auditório	0,892	0,308	300	42,19	51294,02	2500	21	20
Copa	0,373	0,230	150	5,08	4141,30	2500	2	2
Corredor	0,286	0,520	100	3,00	721,15	1620	1	1
Escritório	0,881	0,306	300	17,32	21209,31	2500	8	10
Hall	0,818	0,294	100	7,97	3395,28	2500	2	4
Sala de reunião	0,561	0,270	200	6,32	5856,11	1000	6	4
Sanitários	0,535	0,520	100	10,29	2473,56	1620	2	5

4.1.1.2 Composição do Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação instalado no prédio da Fundação possui 36 lâmpadas fluorescentes de 40 W, quatro lâmpadas fluorescentes de 20 W e seis lâmpadas incandescentes de 100 W. Os dados relacionados com o sistema de iluminação da FDCT estão resumidos na Tabela 4.3. Os ambientes foram nomeados conforme sua função e/ou atividade realizada.

Tabela 4.3 - Dados do Sistema de Iluminação da FDCT.

Ambientes	Área (m ²)	Tipo de Lâmpadas	Potência das Lâmpadas (W)	Quantidade de Luminárias (unidade)	Lâmpadas por Luminárias (unidade)	Potência Reator Eletrônico (W)	Potência Total (W)
Auditório	42,19	Fluorescente Tubular	40	10	2	6	860
Copa	5,08	Fluorescente Tubular	40	1	2	6	86
Corredor	4,65	Incandescente	100	1	1	0	100
Escritório	17,31	Fluorescente Tubular	40	5	2	6	430
Hall de Entrada	7,974	Fluorescente Tubular	40	2	2	6	172
Sala de Reuniões	6,3246	Fluorescente Tubular	20	2	2	6	92
Sanitário (câmara) I	2	Incandescente	100	1	1	0	100
Sanitário (câmara) II	1,69	Incandescente	100	1	1	0	100
Sanitário Deficientes	4,2	Incandescente	100	1	1	0	100
Sanitário Feminino	1,2	Incandescente	100	1	1	0	100
Sanitário Masculino	1,2	Incandescente	100	1	1	0	100
Total	93,83						2240

A Figura 4.5 ilustra como está configurado o arranjo de luminárias nos ambientes Sanitários (1); Escritório (2); Sala de reunião (3); Copa (4); Hall (5) e Auditório (6).

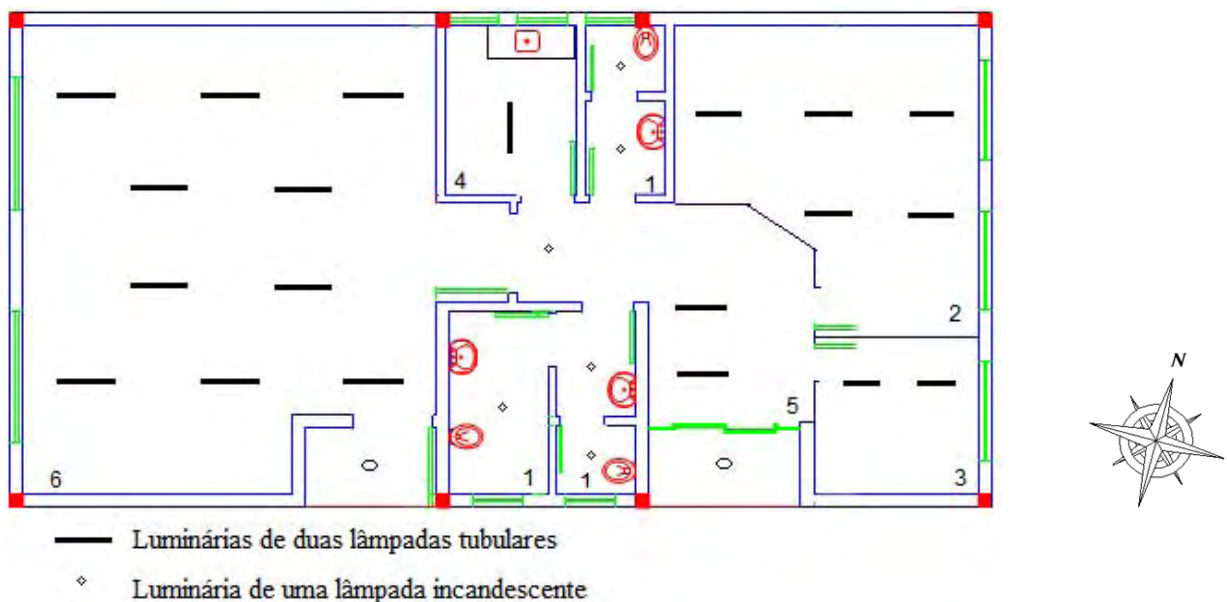


Figura 4.5 - Arranjo das luminárias em planta da FDCT.

Retomando a Tabela 4.2 e 4.3, é possível perceber que o ambiente do escritório atenderia à norma pertinente apenas com quatro luminárias de duas lâmpadas cada, pois para o caso a norma exige 8 lâmpadas, enquanto que a sala de reuniões precisaria

de mais uma luminária para atender às necessidades de iluminação requeridas pelo ambiente (6 lâmpadas).

Outro fato que prejudica a eficiência do sistema é que não há segmentação dos acionamentos das luminárias próximas às janelas, de forma que não é possível desligar lâmpadas quando a iluminação natural supre parcialmente as necessidades de iluminação nos ambientes. A segmentação apenas existe no auditório, sendo a fileira de lâmpadas próximas à tela de apresentação de *data show* separadas das outras, com a finalidade de favorecer cursos e aulas ministrados no local.

A Fundação é um prédio relativamente novo, de forma que seu sistema de iluminação, em se tratando de equipamentos, não é considerado inadequado, porém existem tecnologias melhores no mercado.

4.1.2 Sistema de Ar Condicionado

4.1.2.1 Análise Preliminar do Sistema de Ar Condicionado

Transmitância Térmica das paredes e da cobertura

Para que o ambiente seja refrigerado de forma correta e eficiente, a carga térmica deve ser calculada. Segundo Amorim Filho (2001) e Creder (1997), a carga térmica é a quantidade de energia na forma de calor que deve ser retirada ou colocada nos ambientes, mantendo um nível de conforto térmico adequado para seus usuários.

A transferência de calor entre o ar e uma superfície ocorre por meio de condutância da superfície ou filme de contato. Segundo Creder (1997), o coeficiente global de transmissão de calor ou transmitância térmica (U) é definido como fluxo de calor por tempo que passa através do metro quadrado de superfície, com unidade em W/m^2K .

A transmitância térmica, de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005), é o inverso da resistência térmica total (R_T), conforme a equação (4.6).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4.6)$$

Quando as paredes possuem vários constituintes, como tijolo, reboco e argamassa, é necessário calcular a resistência térmica que cada material opõe ao fluxo. Sendo assim, tais resistências se configuram como os inversos das condutâncias e a

resistência térmica total da parede é o inverso de sua transmitância térmica. Para os cálculos de transmitância térmica da parede (U_{PAREDE}) foram utilizadas as orientações da norma brasileira ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

O Quadro 4.2 exibe as dimensões do bloco de concreto utilizado nas paredes da Fundação e outros dados necessários para realização dos cálculos. Na sequência, são apresentados os cálculos intermediários que conduzem à avaliação da transmitância térmica da parede da FDCT.

Quadro 4.2 - Dados referentes às dimensões do bloco, do reboco e argamassa, bem como das propriedades dos materiais constituintes da parede da FDCT.

Dimensões do Bloco (m)	Comprimento	Altura	Largura
	0,39	0,19	0,14
Câmara de ar do Bloco (m)	Espessura		Largura
	0,05		0,165
Espessura do Concreto (m)	Espessura da Camada de Argamassa		Espessura do Reboco
	0,02		0,02
Propriedades dos Materiais	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.K)	C (kJ/kg.K)
	Concreto	2400	1,75	1
Reboco / Argamassa	2000	1,15	1
Resistência Térmica (m ² .K/W)	Câmara de Ar R_{AR}	Superficial Interna R_{SI}	Superficial Externa R_{SE}
	0,16	0,13	0,04

a) Resistência térmica do bloco, conforme equações (4.7) e (4.8):

- Seção 1 (concreto):

$$A1 = 0,02 \cdot 0,19 = 0,0038 \text{ m}^2 \quad (4.7)$$

$$R1 = \frac{l_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,14}{1,75} \quad (4.8)$$

$$R1 = 0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Seção 2 (concreto + câmara de ar + concreto), conforme equações (4.9) e (4.10):

$$A2 = 0,165 \cdot 0,19 = 0,03135 \text{ m}^2 \quad (4.9)$$

$$R_2 = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{AR} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,02}{1,75} + 0,16 + \frac{0,02}{1,75} \quad (4.10)$$

$$R_2 = 0,1829 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Resistência do concreto, conforme equação (4.11):

$$R_{\text{concreto}} = \frac{3 \cdot A_1 + 2 \cdot A_2}{\frac{3 \cdot A_1}{R_1} + \frac{2 \cdot A_2}{R_2}} = \frac{3 \cdot 0,0038 + 2 \cdot 0,03135}{\frac{3 \cdot 0,0038}{0,08} + \frac{2 \cdot 0,3135}{0,1829}} \quad (4.11)$$

$$R_{\text{concreto}} = 0,1527 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Seção A (Reboco + Argamassa + Reboco), conforme equações (4.12) e (4.13):

$$A_a = (0,01 \cdot 0,39) + [0,01 \cdot (0,19 + 0,01)] = 0,0059 \text{ m}^2 \quad (4.12)$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{l_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,14}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} \quad (4.13)$$

$$R_a = 0,157 \text{ m}^2$$

- Seção B (Reboco + Bloco de Concreto + Reboco), conforme equações (4.14) e (4.15):

$$A_b = 0,39 \cdot 0,19 = 0,0741 \text{ m}^2 \quad (4.14)$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + R_{\text{concreto}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + 0,1527 + \frac{0,02}{1,15} \quad (4.15)$$

$$R_b = 0,1874 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Resistência da parede, conforme equação (4.16):

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0059 + 0,0741}{\frac{0,0059}{0,157} + \frac{0,0741}{0,1874}} \quad (4.16)$$

$$R_t = 0,1848 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Resistência térmica total, conforme equação (4.17):

$$R_T = R_{SI} + R_t + R_{SE} = 0,13 + 0,1848 + 0,14 \quad (4.17)$$

$$R_T = 0,3548 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

- Transmitância térmica da parede, equação (4.18):

$$U = \frac{1}{0,3548} \quad (4.18)$$

$$U = 2,82 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

As seções utilizadas para realização do cálculo podem ser vistas no desenho esquemático da parede e do bloco de concreto apresentado na Figura 4.6.

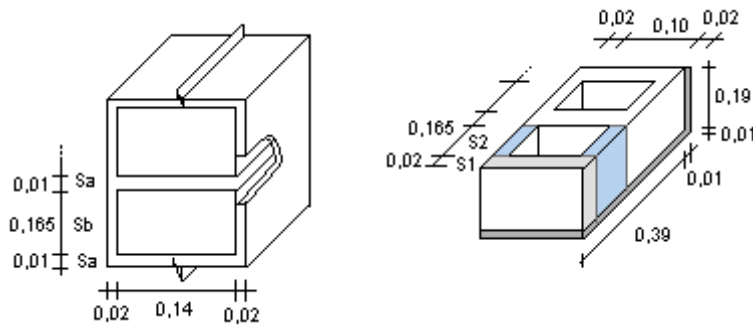


Figura 4.6 - Desenho esquemático do bloco de concreto constituinte da parede da Fundação e a orientação da transferência de calor com o ambiente externo.

Para nível A e Zonas Bioclimáticas de três a seis, a transmitância térmica máxima das paredes externas deve ser de $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (BRASIL, 2010), portanto o prédio da Fundação atende a este pré-requisito.

Para efetuar os cálculos da transmitância da cobertura (U_{COB}) também foi utilizada a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Os dados de dimensões e propriedades dos materiais constituintes da cobertura são representados pelo Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Dimensões e propriedades dos constituintes da cobertura²¹.

Largura do Telhado (cm)	Abertura de Ventilação (cm)	Espessura do Fibrocimento (m)	Espessura do Forro (m)
1.490	100	0,008	0,01
Propriedades dos Materiais	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m,K))	c (kJ/(kg,K))
Fibro-cimento	1.700	0,65	0,84
Madeira	500	0,15	1,34

Fonte: ABNT, 2005

Segundo a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005), a câmara de ar possui resistência térmica (R_{AR}) de $0,21 \text{ m}^2\text{.K/W}$; a resistência superficial externa (R_{SE}), independente da direção do fluxo de calor, é de $0,04 \text{ m}^2\text{.K/W}$; a resistência térmica superficial interna (R_{SI}), com fluxo descendente, possui o valor de $0,17 \text{ m}^2\text{.K/W}$.

Para a verificação das condições da camada de ar, calcula-se, de acordo com as equações (4.19) e (4.20), inicialmente a razão área total de abertura de ventilação (S) pela área da cobertura (A):

²¹ O parâmetro λ corresponde à condutividade do material e é representado em textos de engenharia pela letra k; neste texto decidiu-se por manter a nomenclatura da norma NBR 15220-2.

$$S = 2 \cdot (1490 \cdot 100) = 298000 \text{ cm}^2 \quad (4.19)$$

$$A = 14,9 \cdot 7,5 = 111,75 \text{ m}^2 \quad (4.20)$$

$$S/A = 2667 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Resistência térmica, conforme equação (4.21):

$$R_t = \frac{e_{\text{cobertura}}}{\lambda_{\text{cobertura}}} + R_{Ar} + \frac{e_{\text{forro}}}{\lambda_{\text{forro}}} = \frac{0,008}{0,65} + 0,21 + \frac{0,01}{0,15} \quad (4.21)$$

$$R_t = 0,2890 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Resistência térmica total, conforme equação (4.22):

$$RT = R_{SI} + R_t + R_{SE} = 0,17 + 0,2890 + 0,04 \quad (4.22)$$

$$RT = 0,4990 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Transmitância térmica da cobertura:

$$U = 2,00 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Cálculo da carga térmica

Embora sejam disponíveis métodos mais detalhados, foi utilizado o método simplificado de cálculo de carga térmica descrito em Creder (1997) considerando-se que o presente levantamento representa uma primeira avaliação da condição operacional da edificação em estudo.

Os componentes da carga térmica de resfriamento são geração de calor devido à iluminação, equipamentos e pessoas; insolação através de superfícies opacas; infiltração através de vidros e superfícies transparentes; infiltração e renovação do ar; condução através das estruturas exterior e interior, devido às diferenças de temperatura externa e interna.

Há um padrão, usado em projetos de instalação de ar condicionado, de diferenciais de temperatura de superfícies baseado na diferença de 9,4°C entre a temperatura externa e o ambiente condicionado (CREDER,1997). Se a diferença de temperatura for diferente de 9,4°C, soma-se ao valor tabelado seu excedente.

A temperatura exterior e interior da instalação foi medida com auxílio de termômetro, e foi observado que a temperatura interna e externa, de um dia do mês de novembro, mediu 26°C e 34°C, respectivamente, ou seja, uma diferença de 8°C. A Tabela 4.4 apresenta as diferenças de temperaturas dos elementos da edificação

analisada e a Tabela 4.5, o acréscimo no diferencial de superfícies com cores claras, conforme metodologia de carga térmica descrita em Creder (1997).

Tabela 4.4 - Diferencial de Temperatura dos elementos da edificação (°C).

Superfície	DT	Tabelado	Diferença
Parede e vidros externos	8,0	9,4	-1,4
Paredes e vidros de divisórias	4,1	5,5	-1,4
Tetos sob telhados com ou sem sótão	8,0	9,4	-1,4
Teto ou telhado	4,1	5,5	-1,4

Tabela 4.5 - Acréscimo no Diferencial de Temperatura de superfícies (°C).

Superfície	Cor Clara DT
Telhado	8,3
Parede E ou W	5,5
Parede N	2,7
Parede S	0

Fonte: Creder (1997).

O Quadro 4.4 reúne dados e equações necessárias para os cálculos subseqüentes.

Quadro 4.4 - Ganho de calor por insolação no auditório

Descrição	Tipo de proteção	Coefficiente de redução r ^(a)
Janela	Proteção externa	0,15 – 0,20
	Proteção interna Cortinas	0,50 – 0,66 0,25 – 0,61
$Q = A \cdot U_{FS} \cdot r$ U _{FS} : Coeficiente de transmissão de calor solar [W/m ²]		
Superfícies opacas	$Q = A \cdot U \cdot [(T_{ext} - T_{int}) + \Delta T]$ U: coeficiente global de transmissão [W/m ² .K] ΔT: acréscimo ao diferencial de temperatura;	

(a) para esquadrias metálicas, multiplicar por 1,15.

Fonte: Creder, 1997.

As Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8 esquematizam os cálculos realizados para determinação da carga térmica da sala do auditório. Para os cálculos, foi usada a metodologia exposta por Creder (1997) no que se refere às instalações de ar condicionado. O

auditório, ambiente com 42,19 m² e capacidade para aproximadamente cinquenta pessoas, possui suas paredes externa exposta a alta incidência solar.

Tabela 4.6 – Ganho de calor por condução no auditório

Descrição	A (m ²)	U (W/m ² ,K)	DT (K)	Q ₁ (W)
Parede externa total	81,400	----		
Janelas com vidro	12,330	5,68	8,0	560,18
Parede excluindo janelas	69,070	2,82	8,0	1557,59
Paredes divisórias	6,010	2,82	4,1	69,46
Teto ou telhado	44,588	2,00	8,0	713,62
Total	----	----	----	2900,86

A energia fornecida à edificação por insolação é a grande responsável pelo ganho de carga térmica nos cálculos de instalações de ar condicionado. Paredes, coberturas e aberturas transmitem a energia solar para o interior dos recintos. Para a estimativa desse tipo de carga térmica é necessário dispor de informação sobre o grau da incidência solar nas fachadas e cobertura envidraçadas referente a um horário e época do ano típica de grandes ganhos térmicos. Os coeficientes de transmissão de calor solar através de vidros são encontrados no estudo de instalações de ar condicionado de Creder (1997) e representados como U_{FS} .

Tabela 4.7 – Ganho de calor por insolação no auditório

Descrição	A (m ²)	U_{FS} (W/m ²)	U (W/m ² ,K)	r	DT (K)	Q ₂ (W)
Janelas de vidro oeste	8,55	521,3	----	0,6	----	2669,14
Janelas de vidro sul	3,78	40,705	----	0,6	----	92,32
Paredes voltadas para oeste	21,45	----	2,82	----	13,5	816,28
Telhados	44,588	----	2,00	----	16,3	1454,01
Total	----	----	----	----	----	5031,74

Equipamentos também adicionam carga térmica no ambiente e essas são computadas e apresentadas pela Tabela 4.8. No caso da Fundação, a carga por equipamentos é exclusivamente devido ao sistema de iluminação.

Tabela 4.8 – Ganho de calor devido aos equipamentos

Descrição	P (W)	Q_{3_s} (W)
Motores elétricos		
Iluminação	860	860
Diversos		
Total	----	860

A Tabela 4.9 ilustra o resumo das cargas térmicas no ambiente do auditório.

Tabela 4.9 - Resumo do cálculo de carga térmica para o Auditório

Descrição	Q_{10_s} (W)
Condução	2900,86
Insolação	5031,74
Motores e iluminação	860
Total (W)	8792,59

Fazendo a conversão de unidades²², a carga térmica parcial necessária para o auditório é de 29998,6 BTU/h; com efeito, haveria a necessidade de dois condicionadores de ar de 18000 BTU/h, porém somente há um aparelho de 22000 BTU/h, caracterizando a condição de subdimensionamento do atual sistema.

Para se determinar a carga térmica do ambiente do escritório o procedimento de cálculo é o mesmo realizado para o auditório. A Tabela 4.10 apresenta o resumo dos cálculos para o ambiente do escritório.

Tabela 4.10 - Resumo do cálculo de carga térmica para o ambiente do escritório

Descrição	Q_{10_s} (W)
Condução	1261,63
Insolação	701,84
Motores e iluminação	430
Total (W)	2393,47

De acordo com os cálculos, a carga térmica do escritório é de 8166 BTU/h, podendo adotar um aparelho de ar condicionado de capacidade de 9000 BTU/h. Neste ambiente está instalado um condicionador de ar com capacidade de resfriamento de 12000 BTU/h, essa capacidade está superestimada para o local.

²² 1 W = 3,411804845 BTU/h

4.1.2.2 Composição do Sistema de Ar Condicionado

O sistema de condicionamento de ar da instalação é composto por dois aparelhos *split*, sendo um de capacidade de 22.000 BTU/h localizado no auditório, cujo modelo é 42MCC022515LS, e o outro, modelo 42MCC012515LS, está localizado no escritório e possui capacidade de 12.000 BTU/h. Ambos os modelos possuem suas unidades condensadoras alocadas na parede norte, recebendo radiação praticamente o dia todo.

O aparelho de capacidade de 12.000 BTU/h (3516 W) possui classificação INMETRO de categoria C de eficiência energética e potência solicitada de 1250 W. Contudo, no caso da Fundação, devido às condensadoras estarem expostas ao sol, a classificação do INMETRO cai uma categoria, indo para o nível D e para esse nível o coeficiente de desempenho ou performance (COP) é 2,61 W/W, revelando uma potência de 1347 W.

$$\text{Potência Consumida} = \frac{3516}{2,61} = 1347 \text{ W}$$

Seguindo o mesmo raciocínio, o aparelho de 22.000 BTU/h (2474 W) e classificação INMETRO na categoria D, com a exposição solar é classificado como categoria E, e recebe coeficiente de desempenho de 2,39 W/W, refletindo uma potência de 2697 W. O Quadro 4.5 reúne informações a respeito dos aparelhos.

Quadro 4.5 - Aparelhos condicionadores de ar instalados na FDCT.

Modelo	Capacidade de Refrigeração		Condensadora Protegida			Condensadora Exposta ao Sol		
	BTU/h	W	INMETRO	Eficiência Energética (W/W)	Potência Solicitada (W)	INMETRO	Eficiência Energética (W/W)	Potência Solicitada (W)
42MCC012515LS	12000	3516	C	2,81	1250	D	2,61	1347
42MCC022515LS	22000	6446	D	2,61	2474	E	2,39	2697

Fonte: BRASIL (2011)

4.2 Levantamento do Desempenho Ambiental da FDCT

4.2.1 Água

Face ao não conhecimento exato do número de usuários e, concomitantemente, do consumo real de água, Tomaz²³ (2000 apud Nunes, 2006, p. 67) explica que a adoção de coeficientes de uso é utilizada frequentemente para previsão do consumo de água em instalações prediais. O coeficiente de uso é utilizado para estimar o consumo de água em diversos tipos de edificações, determinado conforme a atividade realizada na instalação. Segundo o mesmo autor, o consumo diário de água em edifícios utilizados para escritório e escolas varia de cinquenta a oitenta litros por pessoa.

Os componentes hidráulico-sanitários instalados no prédio da FDCT são torneiras e bacias sanitárias, todas convencionais; o único componente que se pode configurar como um agente de desperdício é a torneira do jardim, usada durante longos períodos para irrigação.

4.2.2 Resíduos

A quantidade e o enquadramento de resíduos gerados em um edifício dependem da atividade realizada, do tamanho da edificação e da quantidade de usuários.

Devido ao fato da Fundação não possuir um número fixo de usuários, não é possível quantificar os resíduos gerados no local. No entanto, é notório que os resíduos produzidos na edificação são materiais comumente encontrados em ambientes de atividade de sala de aula e escritórios, tais como papel, papelão, plásticos, cartuchos de tinta e copos descartáveis, bem como resíduos orgânicos provenientes da cozinha e sanitários.

²³ TOMAZ, P. **Previsão do consumo de água:** Interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos. São Paulo: Navegar, 2000 apud NUNES, R. T. S. **Conservação da água em edifícios comerciais:** Potencial de uso racional e reuso em shopping Center. 2006. 144 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). PPE/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

4.3 Avaliação da edificação segundo o RTQ-C do INMETRO

4.3.1 Envoltória

Cada sistema analisado (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) possui pré-requisitos que precisam ser atendidos de acordo com a classificação desejada.

Para nível A e Zonas Bioclimáticas de um a seis, a transmitância térmica máxima das paredes externas deve ser de $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Para qualquer Zona Bioclimática, a transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e para ambientes não condicionados, não deve ultrapassar $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Retomando os cálculos realizados no item 4.1.2.1, a transmitância térmica da parede da FDCT, cujo valor obtido foi $2,82 \text{ W/m}^2\text{K}$, está dentro da faixa para a classificação máxima, porém a transmitância térmica da cobertura, de $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, ultrapassou o limite para ambientes condicionados.

Materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa, com valor de $\alpha < 0,4$ (cores claras), são encontrados na instalação analisada. Os parâmetros necessários para o cálculo do indicador de consumo (IC) estão agrupados no Quadro 4.6 e foram encontrados de acordo com as equações de (3.1) a (3.6).

Quadro 4.6. Variáveis para o cálculo do IC.

A_{pe} [m ²]	A_{pcob} [m ²]	A_{env} [m ²]	A_{fachada} [m ²]	A_{fachada_O} [m ²]
107,06	107,06	402,95	291,2	48,75
A_{tot} [m ²]	V_{tot} [m ³]	FA -	FF -	A_{abertura} [m ²]
111,75	726,37	0,95	0,55	22,45
PAF_T [%]	PAF_O [%]	AVS [°]	AHS [°]	FS -
0,07	0,17	10,7	12,9	0,54

O Indicador de consumo (IC) é calculado segundo equação (3.7), referente à zona bioclimática três (ZB3). A Tabela 4.11 reúne as variáveis necessárias para os cálculos de IC_{env} , $\text{IC}_{\text{máxD}}$ e IC_{min} .

Tabela 4.11 - Valores para os cálculos de IC_{env}, IC_{máxD} e IC_{min}.

Parâmetros	IC _{env}	IC _{máxD}	IC _{min}
A _{pe}	107,063	107,063	107,063
FA	0,958	0,958	0,958
FF	0,555	0,555	0,555
PAF _t	0,1754	0,6	0,05
FS	0,54	0,61	0,87
AVS	10,715	0	0
AHS	12,987	0	0
IC	498,78	509,61	499,04

O intervalo (i) entre as faixas para IC é obtido através da equação (3.8), com o valor de 2,64, que por sua vez é utilizado para o cálculo dos limites dos níveis de eficiência (Quadro 4.7).

Quadro 4.7 - Faixa de valores para a classificação da envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	----	IC _{máxD} - 3i + 0.01	IC _{máxD} - 2i + 0.01	IC _{máxD} - i + 0.01	IC _{máxD} + 0.01
	----	501,69	504,33	506,98	509,62
Limite máximo	IC _{máxD} - 3i	IC _{máxD} - 2i	IC _{máxD} - i	IC _{máxD}	----
	501,68	504,32	506,97	509,61	----

Para IC_{env} com valor de 498,78, a classificação recebida é A.

4.3.2 Iluminação

Para a classificação da eficiência energética do sistema de iluminação será utilizado o método das atividades do edifício, que determina limites de densidade de potência em iluminação para cada uma das atividades nos diferentes ambientes do edifício. Além dos limites de potência instalada deverão ser respeitados os pré-requisitos de acordo com o nível de eficiência pretendido.

A Tabela 4.12, resumo da Tabela A.2 do Anexo I, destaca ambientes com as atividades encontradas na FDCT.

Tabela 4.12 - Limites máximo aceitável de DPI_L .

Ambientes	K	DPIL W/m ²	DPIL W/m ²	DPIL W/m ²	DPIL W/m ²
	limite	(Nível A)	(Nível B)	(Nível C)	(Nível D)
Auditório	1,20	10.2	12.24	14.28	16.32
Cozinhas	0,80	10.7	12.84	14.98	17.12
Circulação	<2,4m largura	7.1	8.52	9.94	11.36
Escritório	0,60	11.9	14.28	16.66	19.04
Hall de Entrada	1,20	8	9.6	11.2	12.8
Sala de Reuniões	0,80	11.9	14.28	16.66	19.04
Banheiros	0,60	5	6	7	8

Para determinar a eficiência do sistema é necessário conhecer a área e potência instalada para cada atividade (informações apresentadas na Tabela 4.2) e ainda determinar a potência limite do conjunto de salas, conforme Tabela 4.13.

Para locais com índice de ambiente (k) menor que o definido na Tabela 4.12, a densidade de potência de iluminação limite (DPI_L) terá um acréscimo em 20%, favorecendo a classificação do ambiente. Este aumento de potência só ocorrerá para este ambiente, não sendo computado na potência limite para o edifício.

Tabela 4.13 – Potência limite máxima conforme nível pretendido para a FDCT.

Ambientes	Área	K	Potência Limite (W)	Potência Limite (W)	Potência Limite (W)	Potência Limite (W)
	(m ²)		(Nível A)	(Nível B)	(Nível C)	(Nível D)
Sala de Aula	42,19	0,94	516,41	619,69	722,97	826,25
Cozinhas	5,08	0,37	65,23	78,27	91,32	104,36
Circulação	4,65	0,29	33,02	39,62	46,22	52,82
Escritório	17,32	0,88	206,10	247,33	288,55	329,77
Hall de Entrada	7,97	0,82	76,55	91,86	107,17	122,48
Sala de Reuniões	6,32	0,56	90,32	108,38	126,44	144,50
Banheiros	10,29	0,53	61,74	74,09	86,44	98,78
Total	93,83	---	1049,36	1259,23	1469,10	1678,97

Comparando a potência total instalada com as potências limites têm-se:

$$2240 > 1678,97 \text{ (Nível E)}$$

O nível de eficiência encontrado para a Fundação é E, com $EqNumDPI$ igual à 1.

Deve-se ater ao fato de que, ao avaliar um ambiente pela densidade de potência instalada, corre-se o risco de avaliar um projeto como eficiente, quando na verdade não está atendendo à norma de iluminação.

4.3.3 Sistema de ar condicionado

Para avaliação da eficiência energética dos sistemas de condicionamento de ar é necessário conhecer a classificação de eficiência energética aplicada pelo INMETRO em cada aparelho e verificar se a unidade condensadora permanece sombreada.

O Quadro 4.8 apresenta informações sobre cada condicionador de ar encontrado na edificação analisada.

Quadro 4.8 – Aparelhos de ar condicionados instalados na Fundação

Equipamento	Condicionador de ar 1	Condicionador de ar 2
Ambiente	Escritório	Auditório
Tipo	Split	Split
Marca	Springer	Springer
Modelo	42MCC012515LS/ 38MCC012515MS	42MCC022515LS/ 38XCE022515MS
Capacidade	12000 BTU/h	22000 BTU/h
Quantidade	1 unidades/ área	1 unidades/ área
Consulta	www.inmetro.gov.br Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Data de atualização: 29/10/2010 Página 35/40	www.inmetro.gov.br Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Data de atualização: 29/10/2010 Página 36/40
Classificação INMETRO	C	D
Condensadora exposta ao sol	D	E

Com base na classificação de eficiência energética do INMETRO para cada aparelho instalado, levando em consideração o fato das condensadoras estarem expostas ao sol, é possível classificar o sistema de ar condicionado da Fundação, conforme a área de cada ambiente. O Quadro 4.9 permite classificar os pavimentos dotados de sistemas de condicionamento de ar.

Quadro 4.9 - Ponderação da classificação do sistema de condicionamento de ar

Descrição	Área (m²)	Eficiência do sistema	Equivalente numérico	Coefficiente de ponderação	Classificação final
Auditório	41.750	D	2	0.703	1.406
Escritório	17.653	E	1	0.297	0.297
Total	59.403	---	---	1.000	1.70

Mediante o valor da classificação final, o sistema de condicionamento de ar fica: $1,5 < 1,7 < 2,5$ - Classificação D

4.3.4 Classificação Geral

A classificação geral reúne todas as análises dos sistemas constituintes de uma edificação. Algumas preocupações com o meio ambiente, já listadas anteriormente, podem ser quantificadas sob a forma de bonificações e computadas na classificação geral; contudo, no caso da Fundação não existem bonificações consideradas.

É importante destacar que a ventilação natural é capaz de proporcionar condições adequadas de conforto térmico para um ambiente sem a necessidade de condicionamento artificial e está presente na equação geral sob a forma de um equivalente numérico (EqNumV). Segundo Carlo e Lamberts (2010), quanto maior a área de ambientes com conforto térmico ventilados naturalmente, menor é a participação do nível de eficiência do sistema de ar condicionado na classificação geral da eficiência do edifício. Contudo, mesmo pelo método prescritivo, o EqNumV é obtido por meio de simulação, pois a complexidade da análise a respeito da ventilação natural impede o desenvolvimento de regras gerais para dimensionar os níveis de conforto. Como na presente análise nenhum parâmetro foi conduzido por meio de simulação, não há comprovação de condições de conforto térmico dos ambientes não condicionados. Dessa forma, o EqNumV não será considerado, equivalendo a zero.

Para o cálculo é necessário dispor dos equivalentes numéricos da avaliação de cada sistema, bem como as frações de áreas relacionadas com o tempo de permanência dos ambientes e o fato de serem ou não condicionadas artificialmente.

Dessa forma, é possível obter Classificação Geral do prédio da Fundação, sabendo que:

$$\text{EqNumENV} = 5 \text{ (A)}$$

$$\text{EqNumDPI} = 1 \text{ (D)}$$

$$\text{EqNumAC} = 2 \text{ (D)}$$

$$\text{EqNumV} = 0$$

$$\text{AC} = 59,51 \text{ m}^2$$

$$\text{AU} = 93,83 \text{ m}^2$$

$$\text{APT} = 22,91 \text{ m}^2$$

$$\text{ANC} = 11,40 \text{ m}^2$$

$$b = 0$$

Conforme equação (3.9):

$$\text{PT} = 0,30 \cdot \left[\left(5 \cdot \frac{59,51}{93,83} \right) + \left(\frac{22,91}{93,83} \cdot 5 + \frac{11,40}{93,83} \cdot 0 \right) \right] + 0,30 \cdot (1) + 0,40 \cdot \left[\left(2 \cdot \frac{59,51}{93,83} \right) + \left(\frac{22,91}{93,83} \cdot 5 + \frac{11,40}{93,83} \cdot 0 \right) \right] + 0$$

$$\text{PT} = 2,42$$

$$2,5 < \mathbf{2,42} < 3,5$$

Com efeito, de acordo com o valor encontrado na equação geral para a avaliação de eficiência energética segundo a metodologia desenvolvida pelo INMETRO, o nível de eficiência encontrado para o prédio da Fundação recebe a classificação D.

5 AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS

Neste capítulo serão propostas melhorias no desempenho ambiental e na eficiência energética para a instalação em estudo, porém a ideia é propor medidas que em linhas gerais sejam cabíveis às diversas tipologias de edificações. Serão expostas também condições para que os edifícios alcancem maiores níveis de classificação dos sistemas de avaliação analisados. No caso do sistema LEED, devido aos pré-requisitos criteriosos do sistema, a tentativa é que o prédio da FDCT seja, primeiramente, elegível para ser avaliado por este método.

A maioria dos ambientes construídos possui um potencial de conservação de energia elétrica; esse potencial pode ser estimado através de cálculos e simulações de alternativas. Da mesma forma, vem crescendo as possibilidades e tecnologias que visam estabelecer edificações mais sustentáveis.

A remodelagem ou reabilitação de um edifício, sempre que viável, se constitui na opção mais sustentável, uma vez que evita os impactos ambientais resultantes da construção de um novo edifício.

5.1 Sistema de Iluminação

Em relação ao sistema de iluminação, uma medida de eficiência energética simples, porém significativa, é a troca dos equipamentos.

No prédio da Fundação foi analisada a possibilidade de substituição das lâmpadas por outras equivalentes em grau de iluminamento, porém mais eficientes, e também dos reatores e luminárias obsoletos. No novo sistema de iluminação proposto, as lâmpadas foram escolhidas conforme sua eficiência luminosa, vida útil, bem como temperatura e índice de reprodução de cor. Com efeito, as lâmpadas analisadas possuíam eficiência luminosa superior a 80 lm/W e vida útil superior a 7500 horas.

As luminárias foram escolhidas de acordo com sua eficiência, sabendo-se que luminárias com refletor de alumínio sem aletas representam a melhor solução em termos de minimização de carga instalada em iluminação, seguindo próximas às luminárias com refletor de alumínio e aletas brancas para qualquer refletância de

parede (GHISI, 1998). A análise de luminárias comerciais de Iwashita (2004) reforça que luminárias com refletor de alumínio sem aletas proporcionam melhores condições de iluminação.

Os reatores eletrônicos foram escolhidos devido à sua eficiência de aproveitamento. Segundo Amorim Filho (2001), representam a melhor alternativa para lâmpadas fluorescente, pois aumentam em cerca de 10% a eficiência luminosa das lâmpadas, reduzem em 70% as perdas no reator e possuem a possibilidade de controle de fluxo luminoso (dimerização).

Para os cálculos de dimensionamento do novo sistema de iluminação foi utilizado grau de iluminância dentro do previsto pela norma ABNT NBR 5413 (ABNT, 1992). As lâmpadas fluorescentes com potência de 40 W seriam substituídas por lâmpadas do mesmo tipo, porém com potência de 25 W e lâmpadas fluorescentes de 14 W estariam no lugar das fluorescentes de 20 W e das incandescentes de 100 W. Desse modo, para o corredor e sanitários sugere-se a utilização de lâmpadas fluorescentes tubulares de 14 W (fluxo luminoso de 1200 lúmens e eficiência luminosa de 86 lm/W), já no restante dos ambientes podem ser utilizadas lâmpadas de 25 W (fluxo luminoso de 2450 lúmens e eficiência luminosa de 93 lm/W).

Todos os conjuntos de luminárias e reatores foram substituídos por conjuntos com reatores eletrônicos e luminárias diretas com refletor de alumínio reflexivo sem aletas. As luminárias com duas lâmpadas seriam mais interessantes, visto que o custo de uma luminária para duas lâmpadas é praticamente igual àquele de uma luminária para uma lâmpada; porém, nos sanitários e no corredor, a necessidade de iluminação é atendida com apenas uma lâmpada de 14 W.

Segundo Ghisi (1997), o posicionamento transversal ou longitudinal das luminárias deve ser em função da curva de distribuição da luminária, da posição dos usuários, bem como da contribuição da luz natural conforme o posicionamento das janelas.

De acordo com as exigências da norma ABNT NBR 5413 (ABNT, 1992), a necessidade de iluminação estaria adequada com um número menor de luminárias. A nova configuração das luminárias pode ser vista na Figura 5.1.

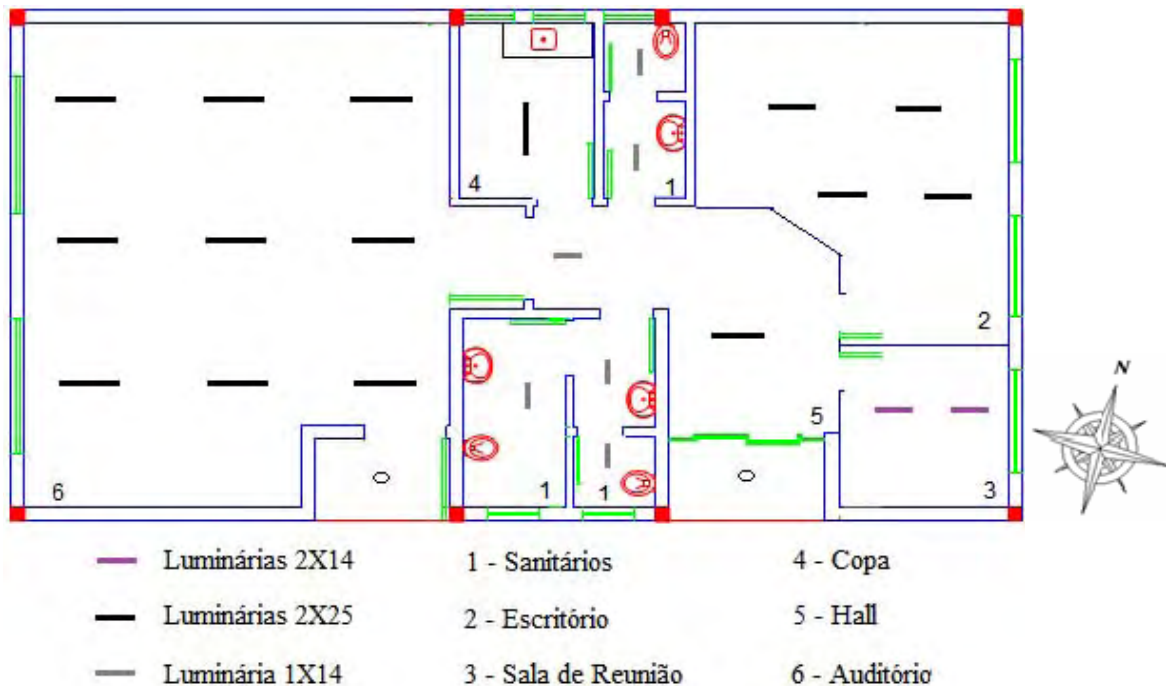


Figura 5.1 – Configuração das luminárias

A segmentação dos acionamentos do sistema de iluminação se configura, segundo Alvarez (1998), em uma medida com grande potencial para conservação de energia, além de ser considerada medida de baixo custo de implementação e com tempo de retorno de investimento atraente.

Diariamente, aulas de inglês são ministradas na sala do auditório com quantidade de alunos variando por turma; em turmas com poucos alunos não haveria a necessidade de manter todas as lâmpadas ligadas, bem como, no período matutino, as luminárias próximas às janelas (face oeste) poderiam permanecer desligadas. No ambiente do escritório, as janelas estão voltadas para face leste e contribuem com luz solar sem grandes radiações comparando com as janelas voltadas para face oeste; se houvesse a setorização das luminárias a contribuição de luz natural seria favorecida e energia economizada.

O sistema de iluminação atual possui potência total instalada de 2240 W; com a alteração das lâmpadas esse valor cai para 1016 W. A alternativa sugerida, além de proporcionar uma intensidade de iluminamento mais adequada de acordo com as atividades desenvolvidas em cada ambiente, permitiria economizar praticamente a metade da energia que é consumida pela instalação atualmente.

5.2 Sistema de Ar Condicionado

A eficiência de um sistema de ar condicionado depende principalmente da tecnologia dos equipamentos, do dimensionamento correto do sistema e do método de isolamento térmico dos ambientes refrigerados.

No sistema atual do prédio, estão instalados dois aparelhos de ar condicionado do tipo *split*, que apresentam eficiência limitada e que portanto, possuem baixa classificação segundo os requisitos do RTQ-C do INMETRO.

Os cálculos da carga térmica dos ambientes foram refeitos, levando em consideração o novo sistema de iluminação e a instalação de brises nas janelas da fachada oeste. Os resumos dos cálculos podem ser verificados de acordo com as Tabelas 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 - Resumo das cargas térmicas que envolvem o ambiente do auditório.

Descrição	Q (W)
Condução	2900,85
Insolação	2961,57
Iluminação	504
Total	6366,43

Tabela 5.2 - Resumo das cargas térmicas que envolvem o ambiente do escritório.

Descrição	Q (W)
Condução	1261,62
Insolação	701,84
Iluminação	224
Total	2187,47

Segundo os novos cálculos, o sistema de ar condicionado precisa retirar dos ambientes climatizados uma carga térmica parcial de 6.366,43 W, referente a 21.721,02 BTU/h para o auditório, e 2.187,47 W que equivale a 7.463,22 BTU/h no ambiente do escritório.

Com isso é possível perceber que, no escritório, a capacidade térmica do equipamento utilizado (12.000 BTU/h) é excedente à necessidade do local, sendo adequado um equipamento de 9.000 BTU/h de capacidade. Já no auditório, a capacidade do condicionador de ar instalado está no limite (22.000 BTU/h), sendo que um equipamento de 24.000 BTU/h se mostra mais oportuno.

Com base nessas informações, foi possível escolher os equipamentos de ar condicionado e, por se configurar como a melhor tecnologia disponível no mercado, aparelhos do tipo *Split Inverter* foram cotados (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Condicionadores de ar de alto desempenho energético.

Tipo de Tecnologia	Capacidade de Refrigeração		Potência Elétrica Consumida	Eficiência Energética	INMETRO	Consumo de Energia (kWh/mês)
	(BTU/h)	(kW)	(W)			
Split “inverter”	9000	2,64	790	3,34	A	16,6
Split “inverter”	24000	7,03	2160	3,26	A	45,4

O Quadro 5.1 apresenta a comparação entre o sistema de ar condicionado “inverter” e o convencional, destacando-se a utilização do gás refrigerante R-410A de menor impacto ambiental.

Quadro 5.1 - Comparativo entre sistema “inverter” e Convencional

Atributos	“INVERTER”	CONVENCIONAL
Controle de Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Atinge rapidamente a temperatura desejada - Temperatura desejada é mantida constante com pouca oscilação 	<ul style="list-style-type: none"> - É necessário algum tempo para atingir a temperatura desejada - A temperatura ambiente oscila (+/- 2°C) próxima da temperatura desejada
Economia de Energia	<ul style="list-style-type: none"> - Até 40% menor que o convencional - Alta eficiência e economia de energia 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo consumo elétrico
Operação	<ul style="list-style-type: none"> - Compressor opera variando a rotação em função da temperatura desejada - Aumento gradativo na rotação do compressor evitando picos de energia - Função de secagem de serpentina, evitando formação de mofo e odor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Compressor liga ou desliga para manter a temperatura ambiente próxima a temperatura desejada. - Compressor com partida direta, picos de energia
Nível de Ruído	<ul style="list-style-type: none"> - Menor que o convencional - Com a temperatura estabilizada, o compressor opera em baixa rotação, reduzindo mais ainda o ruído da condensadora 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo nível de ruído - Compressor liga e desliga
Gás Refrigerante	<ul style="list-style-type: none"> - Gás Ecológico R-410A 	<ul style="list-style-type: none"> - Gás R-22 (HCFC)

Fonte: Manual do fabricante disponível em www.fujitsuinverter.com.br.

A tecnologia “inverter” permite manter a temperatura selecionada constante ao repetir continuamente os ciclos de arranque e parada, pois o compressor dos aparelhos com essa tecnologia possui um dispositivo interno que ajusta a frequência do motor e conseqüentemente a rotação do mesmo. Dessa forma, o compressor se mantém sempre

em funcionamento de acordo com a temperatura do ambiente, atingindo a temperatura rapidamente sem picos de surto após ser ligado, tal como ocorre com os compressores convencionais. Desta forma, a economia de energia em relação ao convencional pode alcançar 40%.

Outro ponto importante é que, devido à evidência de que os compostos halogenados (CFC) contribuem para redução da camada de ozônio estratosférica, estabeleceu-se um protocolo mundial para a eliminação gradativa de tais fluidos, pelo que gases refrigerantes utilizados em sistemas de ar condicionado como o HCFC R-22 vêm sendo substituídos por fluidos alternativos, ecologicamente aceitáveis, tal como o R-410A (FIORELLI, 2000).

5.3 Proposta de Melhorias na Envoltória

Em relação às características da envoltória das edificações, alguns elementos influenciam o consumo de energia elétrica de forma significativa, e contribuem para a definição das medidas de conservação de energia.

As áreas de janela das edificações permitem ganhos ou perdas de calor, intensificando o uso de sistema de ar condicionado ou de calefação para amenizar o desconforto causado por essa troca de energia, o que aumenta o consumo elétrico. Carlo (2008) demonstra que o indicador de consumo é crescente com o aumento da área de aberturas, destacando o percentual de abertura da fachada (PAF) como a variável com maior influência na variação do consumo de energia, ou seja, a cada 10% de aumento do PAF observa-se um acréscimo no consumo de energia de 2,9%.

A orientação das fachadas não entra de forma direta na equação do cálculo do indicador de consumo, porém ela é considerada quando se tem um percentual de abertura na fachada oeste (PAF_O) pelo menos 20% maior que o percentual de abertura total das fachadas (PAF_T).

As superfícies envidraçadas permitem o aproveitamento passivo da radiação solar, sendo que o tipo de vidro e o tipo de sombreamento influenciam na magnitude das trocas térmicas entre o interior e o exterior. Com efeito, é fundamental que os elementos constituintes das aberturas sejam de qualidade e devidamente projetados para que se consiga alcançar melhores condições de conforto no interior da edificação.

A elaboração de um projeto adequado das proteções solares ou de sombreamento para as fachadas se constitui em uma medida de baixo custo que deveria ser posta em prática, lembrando que, devido ao maior grau de insolação, devem ser evitadas grandes aberturas na fachada oeste.

As proteções solares, representadas por ângulos verticais e horizontais de sombreamento (AVS e AHS), proporcionam redução no indicador de consumo devido ao aumento do sombreamento e redução da carga térmica (CARLO, 2008). Santana²⁴ (2006 apud FOSSATI, 2010) expõe que o consumo de energia elétrica decresce em 1,8% a cada 10° de aumento do ângulo vertical de sombreamento.

O parâmetro fator solar é uma variável com pouca influência no indicador de consumo da envoltória, levando a uma alteração no consumo de energia de 0,6% a cada variação de 0,1 de fator solar (SANTANA, 2006 apud FOSSATI, 2010).

Por ser um elemento de grande exposição ao tempo (chuva, vento e radiação solar direta), as coberturas devem estar devidamente impermeabilizadas e isoladas termicamente.

A melhoria da eficiência energética da envoltória e a interação da edificação com o meio em que está inserida podem contribuir também na redução do uso de iluminação artificial e de sistemas de refrigeração mecânica, responsáveis pela maior parte da energia consumida nos edifícios comerciais.

5.4 Melhorias no consumo de água

No caso do prédio em estudo, a substituição dos equipamentos convencionais por outros mais eficientes é uma possibilidade que pode garantir grandes economias, bem como o reuso de água de chuva para irrigação.

Para conseguir a bonificação de 1 ponto na classificação do INMETRO é necessário que sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água, tais como torneiras com arejadores e/ou temporizadores, sanitários com sensores, aproveitamento

²⁴ SANTANA, M. V. **Influência de Parâmetros Construtivos no Consumo de Energia de Edifícios de Escritório Localizados em Florianópolis – SC**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006 apud FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. **Eficiência energética da envoltória de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 59-69, abr./jun. 2010.

de água pluvial, proporcionem economia mínima de 40% no consumo anual de água do edifício. Já no caso do Sistema LEED para prédios já construídos, a pontuação é consequência do percentual de redução do consumo de água potável, conforme apresentado no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 - Redução do consumo de água potável e pontuação de referência para o sistema LEED

Redução	Pontos
10%	1
15%	2
20%	3
25%	4
30%	5

Aparelhos eficientes como bacia de caixa acoplada de baixo consumo com dois fluxos (6 ou 3 litros por descarga) e arejadores para torneiras que mantêm a vazão constante de 6 litros por minuto são alternativas que acarretam grande economia de água mensal, quando comparada ao emprego de aparelhos convencionais, que segundo Fonseca et al (2010) possuem economia estimada de 38% (Quadro 5.3).

Quadro 5.3 - Comparação entre aparelhos convencionais e eficientes.

Aparelho Convencional	Aparelho Eficiente	Economia (%)
Bacia sanitária de caixa acoplada: 160 usuários 6 litros de água por descarga Total: 960 litros	Bacia sanitária de caixa acoplada com dois fluxos: 160 usuários 6 litros de água por descarga (30% dos casos) 3 litros de água por descarga (70% dos casos) Total: 624 litros	336 litros (35%)
Torneira sem arejador 200 usuários 10 litros por minuto Total: 2.000 litros	Torneira com arejador 200 usuários 6 litros por minuto Total: 1.200 litros	800 litros (40%)
Total geral de economia	1.136 litros (38%)	

Fonte: Fonseca et al. (2010).

Segundo a metodologia LEED, deve-se ainda limitar ou eliminar o uso de água potável para atividade de irrigação. As percentagens mínimas de economia de água na irrigação e as respectivas pontuações são apresentadas no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 - Redução do consumo de água potável e pontuação de referência para o sistema LEED

Redução	Pontos
50%	1
62,5%	2
75%	3
87,5%	4
100%	5

Para saber se há viabilidade climática para a adoção da tecnologia e para realizar o dimensionamento do sistema de reuso da água de chuva é necessário o conhecimento do índice pluviométrico da região. Os dados climatológicos de médias mensais de precipitação para a cidade de Guaratinguetá é apresentado na Tabela 5.4; mesmo nos meses com menor precipitação (até 25 mm) existe a possibilidade de se manter o reservatório de água da chuva abastecido.

Tabela 5.4 - Média de precipitação e volume de captação de água de chuva numa área superficial de 200 m².

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Média (mm)	209	187	195	73	48	31	25	30	56	117	142	199	1.312
Volume Captado (m ³)	33,4	29,9	31,2	11,7	7,7	5,0	4,0	4,8	9,0	18,7	22,7	31,8	209,9

Fonte: Dados fornecidos pela empresa ECO Casa – Tecnologias Ambientais.

O dimensionamento do sistema de aproveitamento de chuva, a fim de aproveitar os 111,75 m² de cobertura da edificação, considerou o volume da cisterna de 10 m³ (10.000 L). De acordo com os índices pluviométricos de Guaratinguetá, nos meses de verão, o volume de água captado poderá exceder a capacidade da cisterna e o excesso será descartado, contudo o reservatório não ficará ocioso nos meses de baixa pluviosidade. A Figura 5.2 apresenta gráficos que ilustram o volume de água de chuva que pode ser captado por um telhado de área até 200 m² e a precipitação mensal na cidade de Guaratinguetá.

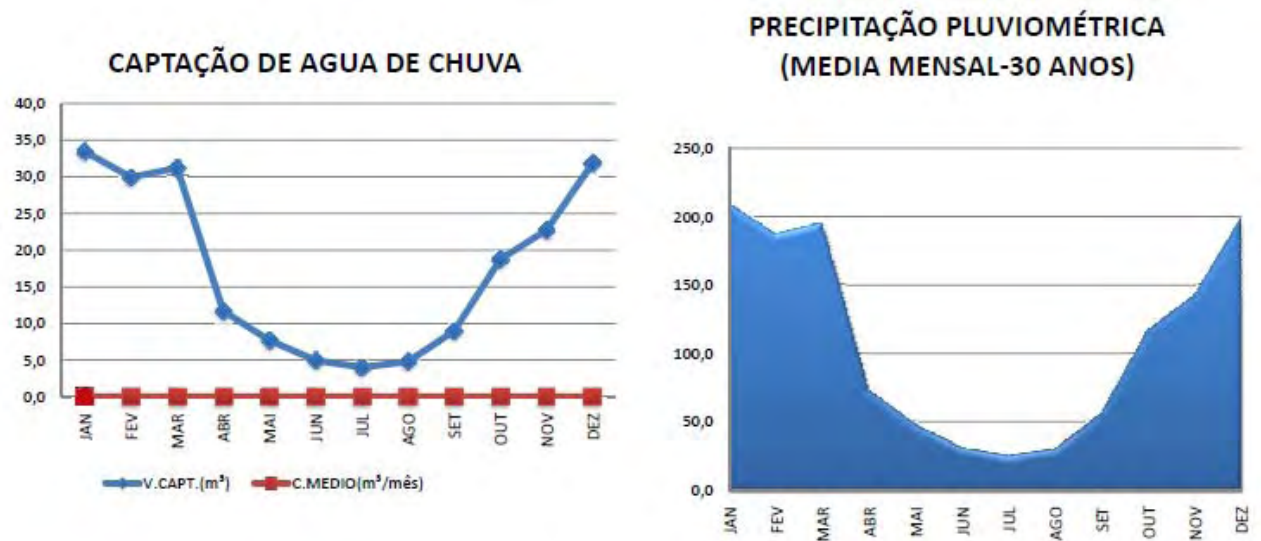


Figura 5.2 - Dados Pluviométricos registrados para cidade de Guaratinguetá
Fonte: consulta com a empresa ECO Casa – Tecnologias Ambientais.

Os componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva são ilustrados pela Figura 5.3.



Figura 5.3 - Componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva:
(1) Filtro Horizontal de Cisterna; (2) Freio d'água 100 mm; (3) Conjunto flutuante de 1"; (4) Sifão/ladrão 100 mm; (5) Motobomba; (6) Filtro de areia e carvão; (7) Kit de realimentação.

Os equipamentos constituintes do sistema proposto são:

- Filtro Horizontal de Cisterna Residencial 3P Technik, com uma entrada e duas saídas de 110 mm (3 luvas de redução acompanham produto), para remoção de detritos;
- Freio d'água 100 mm para o favorecimento da decantação de sólidos não filtráveis;

- Sifão-ladrão 100 mm para esgotamento do excesso e eliminação de sólidos flutuantes, com proteção contra a entrada de odores, insetos e roedores;
- Conjunto flutuante de 1" (bóia, mangueira, malha filtrante, válvula de retenção e conector) para a alimentação da bomba com água próxima da lâmina.
- Motobomba de recalque alimentação da caixa de água não potável;
- Filtro de areia e carvão para remover cor, sabor e odor;
- Sistema automático de realimentação da caixa de água não potável em caso de estiagem ou consumo acima da capacidade.

O Quadro 5.5 apresenta o orçamento, com o custo total do sistema e o custo de cada equipamento, solicitado a uma empresa da região para se adquirir um sistema de reuso de água de chuva dimensionado para o caso da FDCT.

Quadro 5.5 - Custo total e custo por equipamento

Nº	Itens	Valor unitário
1	Filtro Horizontal de Cisterna	R\$ 850,00
2	Freio d'água 100 mm	R\$ 95,00
3	Sifão-ladrão 100 mm	R\$ 190,00
4	Conjunto flutuante 1"	R\$ 390,00
5	Bomba Aqquant 1,5CV	R\$ 800,00
6	kit de realimentação de água potável	R\$ 350,00
7	Filtro de areia e carvão	R\$ 950,00
Total		R\$ 3.625,00

5.5 Projeto paisagístico

A vegetação em torno de uma edificação também atua como uma condicionante para o seu conforto térmico, com o desenvolvimento de um microclima local e podendo ser utilizada como elemento da construção.

Um projeto paisagístico na região em estudo deve privilegiar o uso de espécies frutíferas e nativas da Mata Atlântica e se revela interessante a escolha de algumas espécies em vias de extinção do bioma referido. As espécies frutíferas e com flores diminuem o isolamento das áreas verdes e são fundamentais para a fauna silvestre da região, principalmente para aves.

Algumas vantagens de projetos paisagístico em áreas urbanas são, entre outras:

- Estabilização microclimática e redução das ilhas de calor;
- Redução da poluição atmosférica, através da retenção de material particulado em suspensão;
- Proporcionar alimento e abrigo para a fauna silvestre;

Algumas espécies nativas da Mata Atlântica se desenvolvem com sucesso em áreas urbanas e podem fazer parte de um projeto paisagístico no entorno da Fundação, dentre elas estão as espécies apresentadas no Quadro 5.6.

Quadro 5.6 - Algumas espécies nativas da Mata Atlântica recomendadas

NOME VULGAR	ORIGEM	NOME CIENTÍFICO
Açoita Cavalo	Nativa	<i>Lueheadivaricata</i>
Aleluia	Nativa	<i>Senna Macranthera</i>
Araçá D'água	Nativa	<i>MyrciariaDubiaHBK Mc Vough</i>
Aroeira Pimenteira	Nativa	<i>Schinus terebinthifolia</i>
Aroeira Preta Verdadeira	Nativa	<i>Miracroduonurundeuva</i>
Aroeira Salsa / Alecrim	Nativa	<i>SchinusmolleL.</i>
Babosa Branca	Nativa	<i>CordiaSellowiana</i>
Cambuí	Nativa	<i>Myrciariatenella</i>
Canela Cheirosa	Nativa	<i>Endlicheriapaniculata</i>
Canudo de Pito	Nativa	<i>Mebeafistulifera</i>
Cedro Mirim	Nativa	<i>CedrellaAdorata</i>
Cedro Rosa	Nativa	<i>CedrellaFissilis</i>
Cerejeira	Nativa	<i>Hexachlamysedulis</i>
Coração de Negro	Nativa	<i>Poecilanthe parviflora</i>
Grumixama	Nativa	<i>Eugenia brasiliensis</i>
Guaraiuva	Nativa	<i>Saviadictyocarpa</i>
Ipê Branco	Nativa	<i>Tabebuia róseo-alba</i>
Jacarandá Bico de pato	Nativa	<i>macheeriumAculealtum</i>
Mirindibarosa	Nativa	<i>Lafoensia glyptocarpa</i>
Oiti	Nativa	<i>Licania tomentosa</i>
Pata de Vaca	Nativa	<i>Bauhinia variegata</i>
Pau Cigarra	Nativa	<i>Senna Multijuga</i>
Pitangueira	Nativa	<i>Eugenia uniflora</i>
Quaresmeira	Nativa	<i>Tibouchina granulosa</i>
Rabo de Cutia	Nativa	<i>Stiffia crysantha</i>
Suinã	Nativa	<i>Erythrina speciosa</i>
Tucumã	Nativa	<i>Vitex polygama</i>
Urucum	Nativa	<i>Bixa Orellana L.</i>
Uvaia	Nativa	<i>Eugenia pyriformis</i>

Fonte: Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo (<http://www.ibot.sp.gov.br>)

5.6 Resíduos e Materiais

Segundo Fossati (2008), quanto maior a durabilidade dos componentes numa edificação, mais tempo os mesmos permanecerão em uso e, conseqüentemente, mais tempo levarão para se tornarem resíduos, gerando menores custos com substituições. Outro aspecto importante é a capacidade de manutenção dos materiais, ou seja, quanto mais fácil for a manutenção da edificação mais durável ela será. Nesse sentido a intenção é dar preferência a materiais duráveis, que limitem o impacto ambiental e que estejam em conformidade com as normas e legislações vigentes.

Uma solução de grande impacto ambiental positivo e baixo custo de implantação é a previsão de locais, adequadamente dimensionados, para armazenamento e separação do lixo reciclável (papel, vidro, plástico, metais e outros). No entanto, de pouco adianta espaços e lixeiras para separar o lixo produzido se não existirem convênios com cooperativas de catadores. Tal iniciativa, além do benefício ambiental, pode motivar um mercado de resíduos, gerando receita com a venda dos materiais reciclados.

As ações no sentido de reduzir o volume de resíduos produzidos e incentivar a reutilização e a reciclagem de materiais tem a finalidade de adequar a FDCT às exigências do Decreto nº. 5.940 de 25 de outubro de 2006, que trata da "Implementação da Coleta Seletiva Solidária nos órgãos e entidades da Administração Pública Federal Direta e Indireta".

No caso dos resíduos produzidos no prédio da Fundação, os materiais como papéis, papelão e alguns tipos de plásticos poderiam ser destinados às associações de catadores de material reciclado, pois tais materiais apresentam grande potencial de reciclagem. Os cartuchos de tinta das impressoras podem ser reutilizados para recargas ou entregue para empresas que realizam esta atividade. Os materiais descartáveis devem ser substituídos por bens duráveis. Para resíduos orgânicos a solução é a compostagem. Já os resíduos que não podem ser reciclados nem reutilizados devem ser mandados para aterros sanitários regulamentados.

Além de todos os benefícios relacionados com a redução de resíduos, tal preocupação gera como produto as seguintes atividades:

- Substituição de materiais descartáveis por duráveis;
- Sensibilização dos usuários para a questão da importância da redução da produção de resíduos;
- Implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos atendendo o princípio dos 3 R's, através da coleta seletiva;
- Parceria com a associação de catadores de lixo a fim de contribuir para o fortalecimento desta entidade.

5.7 Aplicação de novos dados em método de Certificação Ambiental

5.7.1 Inmetro

Como a envoltória já possuía, antes das alterações, a classificação de maior eficiência (nível A), não há necessidade de refazer os cálculos do método prescritivo.

As melhorias propostas para envoltória se refletem em redução do consumo de energia, mas tal efeito só seria corretamente avaliado pelo método de simulação, que não entra no escopo do presente trabalho.

Em relação ao sistema de iluminação, a Tabela 5.5 apresenta resumidamente a análise do fluxo luminoso proposto para o prédio da Fundação.

Tabela 5.5 - Análise do fluxo luminoso proposto para ambientes da FDCT.

Ambientes	k	u	E	S	ϕ	φ	n
Auditório	0,97	0,32	250	42,19	40804,28	2450	16,65
Copa	0,37	0,23	150	5,08	4141,30	2450	1,69
Corredor	0,29	0,34	100	4,65	1709,56	1200	1,42
Escritório	0,88	0,31	300	17,32	21209,31	2450	8,66
Hall	0,82	0,29	100	7,97	3395,28	2450	1,39
Sala de reuniões	0,56	0,23	300	6,32	10311,85	1200	4,21
Sanitários	0,53	0,34	100	10,29	3783,09	1200	3,15

As informações necessárias para determinar a eficiência do sistema, área e potência instalada para cada atividade, estão apresentadas na Tabela 5.6. Os cálculos para se determinar a potência limite máxima do conjunto de salas segundo o nível de eficiência pretendido estão dispostos na Tabela 5.7.

Tabela 5.6 - Sistema de iluminação proposto.

Ambientes	Área (m²)	K	Potência das Lâmpadas (W)	Quantidade de Luminárias (W)	Lâmpadas por Luminárias (W)	Reator Eletrônico (W)	Potência Total (W)
Auditório	42,19	0,94	25	9	2	6	504
Copa	5,08	0,37	25	1	2	6	56
Corredor	4,65	0,29	14	1	1	4	18
Escritório	17,32	0,88	25	4	2	6	224
Hall de Entrada	7,97	0,82	25	1	2	6	56
Sala de Reuniões	6,32	0,56	14	2	2	6	68
Sanitários	10,29	0,53	14	5	1	4	90
Total	93,83						1016,00

Tabela 5.7 – Potência limite máxima conforme nível pretendido pelo método das atividades do edifício.

Ambientes	Potência Limite (W) (Nível A)	Potência Limite (W) (Nível B)	Potência Limite (W) (Nível C)	Potência Limite (W) (Nível D)
Auditório	516,41	619,69	722,97	826,25
Copa	65,23	78,27	91,32	104,36
Corredor	33,02	39,62	46,22	52,82
Escritório	206,10	247,33	288,55	329,77
Hall de Entrada	76,55	91,86	107,17	122,48
Sala de Reuniões	90,32	108,38	126,44	144,50
Sanitários	61,74	74,09	86,44	98,78
Total	1049,36	1259,23	1469,10	1678,97

Comparando a potência total instalada com as potências limites têm-se:

$$1016 < 1049,36 \text{ [W]}$$

Com efeito, o nível de eficiência do sistema de iluminação encontrado para a Fundação é A, com EqNumDPI igual à 5.

Para manter a classificação A no sistema de iluminação, a edificação precisa atender todos os pré-requisitos previstos para a categoria, que se referem à divisão dos circuitos, contribuição da luz solar e desligamento automático do sistema de iluminação. Ressalte-se que o método analisado foi originalmente proposto para avaliar edificações cuja área total seja igual ou superior a 500 m² por uma questão operacional do INMETRO e que a edificação em estudo, com 111,75 m², não estaria obrigado, neste momento, a ser classificada pelo método.

Em relação ao pré-requisito que prevê a divisão dos circuitos para os ambientes com área inferior a 250 m², como é o caso da Fundação, o RTQ-C permite um único controle para todo o ambiente²⁵, porém propõe-se a setorização do acionamento das luminárias próximas às janelas para melhor aproveitamento da luz natural, como também requer o pré-requisito que analisa esta contribuição.

Já em relação à existência de um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação, o RTQ-C somente prevê tal ferramenta para ambientes com áreas maiores que 250 m².

Em relação à análise das propostas para o sistema de ar condicionado, foi considerada a substituição dos equipamentos por outros que melhor atendam as demandas térmicas dos ambientes e que possuam certificações ambientais e de eficiência energética. Para manter o nível de eficiência apontado pelo INMETRO, as unidades condensadoras dos aparelhos foram protegidas do sol.

Os aparelhos considerados para realizar a substituição estão apresentados na Tabela 5.3; tais aparelhos possuem etiqueta de conservação de energia com classificação A do INMETRO. Após a construção das proteções solares para as condensadoras dos aparelhos, o sistema de ar condicionado recebe a mesma classificação de seus aparelhos constituintes. Deste modo, o nível de eficiência do sistema de ar condicionado redimensionado para a Fundação passa a ser classificado como A, com EqNumDPI igual à 5.

Assim, é possível refazer o cálculo da Classificação Geral após as melhorias propostas, sabendo que:

$$\text{EqNumENV} = 5 \text{ (A)}$$

$$\text{EqNumDPI} = 5 \text{ (A)}$$

$$\text{EqNumAC} = 5 \text{ (A)}$$

$$\text{AC} = 59,51 \text{ m}^2$$

$$\text{AU} = 93,83 \text{ m}^2$$

$$\text{APT} = 22,91 \text{ m}^2$$

$$\text{ANC} = 11,40 \text{ m}^2$$

$$b = 1$$

²⁵ No caso de ambientes com grandes áreas, acima de 250 m², o RTQ-C determina a divisão do sistema em parcelas menores, de no máximo 250 m², cada uma com um controle independente

Conforme equação (3.9):

$$PT=0,30 \left[\left(5 \cdot \frac{59,51}{93,83} \right) + \left(\frac{22,91}{93,83} \cdot 5 + \frac{11,40}{93,83} \cdot 0 \right) \right] + 0,30 \cdot (5) + 0,40 \left[\left(5 \cdot \frac{59,51}{93,83} \right) + \left(\frac{22,91}{93,83} \cdot 5 + \frac{11,40}{93,83} \cdot 0 \right) \right] + 1$$

$$PT = 5,57$$

Mediante o valor da classificação final, o nível de eficiência encontrado para o prédio da FDCT passa a ser qualificado como A.

5.7.2 LEED

Como apresentado anteriormente, o Sistema LEED foi desenvolvido levando em consideração a realidade social, econômica e ambiental do país de sua origem (Estados Unidos) e posteriormente contou com a adesão por parte de outros países com características socioeconômicas semelhantes. No caso da realidade brasileira a aplicação da metodologia por vezes se configura exigente em demasia.

Além do exposto, deve ser lembrado que a edificação em estudo, a FDCT é uma entidade privada instalada num campus universitário, que é público, o que pode gerar distorções no emprego do sistema LEED, pois a manutenção da edificação compete à própria Fundação, enquanto que seu entorno é responsabilidade da UNESP.

Com efeito, será exposta, baseada na metodologia do Sistema LEED para prédios já existentes, a forma como foram analisados os itens para o preenchimento do *checklist* apresentado pelo Quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Checklist do Sistema LEED para Edificações Existentes

**LEED para Prédios Existentes:
Operação e Manutenção 2009
Pontuação do projeto**

Nome do Projeto: Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FDCT

Sim	PT	Não			
7	17	2		Espaço Sustentável	26 Pontos
0	0	1	Credito 1	Certificados LEED	4
1	1	0	Credito 2	Plano de Manutenção Áreas Externas	1
1	1	0	Credito 3	Plano de Manutenção Integrado p/ Controle de Pestes, Erosão e Paisagismo	1
1	11	0	Credito 4	Transporte Alternativo	3 a 15
				Redução em, 10%	3
				Redução em, 13,75%	4
				Redução em, 17,50%	5
				Redução em, 21,25%	6
				Redução em, 25%	7
				Redução em, 31,25%	8
				Redução em, 37,50%	9
				Redução em, 43,75%	10
				11 Redução em, 50%	11
				Redução em, 56,25%	12
				Redução em, 62,50%	13
				Redução em, 68,75%	14
				Redução em, 75% ou mais	15
1	1	0	Credito 5	Desenvolvimento do Espaço - Proteção e Restauração do Habitat	1
1	1	0	Credito 6	Gestão da Quantidade do Escoamento Superficial	1
1	1	0	Credito 7.1	Redução das Ilhas de Calor - Superfícies construídas	1
0	0	1	Credito 7.2	Redução das Ilhas de Calor - Coberturas	1
1	1	0	Credito 8	Redução da Poluição Luminosa	1
2	10	2		Uso Racional da Água	14 Pontos
Y			Prereq 1	Redução do Consumo de Água Potável	Requisito
0	0	1	Credito 1	Medição da Performance da Água	1 a 2
				Medição de todo o edifício	1
				Medição segregada do edifício	2
1	5	0	Credito 2	Redução Consumo de Água Potável	1 a 5
				Redução em, 10%	1
				Redução em, 15%	2
				Redução em, 20%	3
				Redução em, 25%	4
				5 Redução em, 30%	5
1	5	0	Credito 3	Paisagismo com uso eficiente	1 a 5
				Redução em 50%	1
				Redução em 62,5%	2
				Redução em 75%	3
				Redução em 87,5%	4
				5 Redução em 100%	5
0	0	1	Credito 4	Gestão da Torre de Resfriamento	1 a 2
				Gestão de Produtos Químicos	1
				Uso de água não-potável	1

Quadro 5.7 – Checklist do Sistema LEED para Edificações Existentes (continuação)

Sim	PT	Não			
4	19	15		Energia e Atmosfera	35 Pontos
Y			Prereq 1	Melhores Práticas de Gestão para Eficiência Energética : Planejamento, Documentação, Avaliação e Oportunidades	Requisito
Y			Prereq 2	Desempenho Mínimo em Eficiência Energética	Requisito
Y			Prereq 3	Gestão de Gases Refrigerantes	Requisito
1	14	0	Credito 1	Otimizar a Eficiência Energética	1 a 18
				Energy Star Rating: 71 / Acima da média nacional 21%	1
				Energy Star Rating: 73 / Acima da média nacional 23%	2
				Energy Star Rating: 74 / Acima da média nacional 24%	3
				Energy Star Rating: 75 / Acima da média nacional 25%	4
				Energy Star Rating: 76 / Acima da média nacional 26%	5
				Energy Star Rating: 77 / Acima da média nacional 27%	6
				Energy Star Rating: 78 / Acima da média nacional 28%	7
				Energy Star Rating: 79 / Acima da média nacional 29%	8
				Energy Star Rating: 80 / Acima da média nacional 30%	9
				Energy Star Rating: 81 / Acima da média nacional 31%	10
				Energy Star Rating: 82 / Acima da média nacional 32%	11
				Energy Star Rating: 83 / Acima da média nacional 33%	12
				Energy Star Rating: 85 / Acima da média nacional 35%	13
				14 Energy Star Rating: 87 / Acima da média nacional 37%	14
				Energy Star Rating: 89 / Acima da média nacional 39%	15
				Energy Star Rating: 91 / Acima da média nacional 41%	16
				Energy Star Rating: 93 / Acima da média nacional 43%	17
				Energy Star Rating: 95+ / Acima da média nacional 45%+	18
1	2	0	Credito 2.1	Comissionamento do Edifício Existente - Investigação e Análise	2
1	2	0	Credito 2.2	Comissionamento do Edifício Existente - Implementação	2
0	0	1	Credito 2.3	Comissionamento do Edifício Existente - Continuidade	2
0	0	1	Credito 3.1	Medição do Desempenho - Sistemas Automatizados do prédio	1
0	0	1	Credito 3.2	Medição do Desempenho - Nível do Sistema Medido	1 a 2
				Medição, 40%	1
				Medição, 80%	2
0	0	1	Credito 4	Energia Renovável	1 a 6
				Gerada no local 3% / Contratada 25%	1
				Gerada no local 4,5% / Contratada 37,5%	2
				Gerada no local 6% / Contratada 50%	3
				Gerada no local 7,5% / Contratada 62,5%	4
				Gerada no local 9% / Contratada 75%	5
				Gerada no local 12% / Contratada 100%	6
1	1	0	Credito 5	Gestão de Refrigerantes Melhorado	1
0	0	1	Credito 6	Relatório da Redução das Emissões	1
Sim	PT	Não			
4	4	5		Materiais e Recursos	10 Pontos
Y			Prereq 1	Política de Compras Sustentáveis	Requisito
Y			Prereq 2	Política de Gestão de resíduos sólidos	Requisito
0	0	1	Credito 1	Compras Sustentáveis - Consumíveis Contínuos	1
1	1	0	Credito 2	Compras Sustentáveis	1 a 2
				1 40% de Eletronicos	1
				40% de Mobiliário	1
0	0	1	Credito 3	Facilidades de alterações e ampliações	1
1	1	0	Credito 4	Redução do mercúrio em lâmpadas, 90 pg/lum-hr	1
0	0	1	Credito 5	Compras Sustentáveis - Alimentos	1
0	0	1	Credito 6	Gestão de Resíduos Sólidos - Auditoria da Geração	1
1	1	0	Credito 7	Gestão de Resíduos Sólidos - Materiais de Escritório, 50%	1
1	1	0	Credito 8	Gestão de Resíduos Sólidos - Bens Duráveis	1
0	0	1	Credito 9	Gestão de Resíduos Sólidos - Facilidades de alterações e ampliações	1

Quadro 5.7 – Checklist do Sistema LEED para Edificações Existentes (continuação)

Sim	PT	Não			
3	3	12		Qualidade Ambiental Interna	15 Pontos
Y			Prereq 1	Performance Mínima da Qualidade Ambiental Interna	Requisito
Y			Prereq 2	Controle Ambiental da Fumaça do Tabaco	Requisito
Y			Prereq 3	Política de Limpeza Verde	Requisito
0	0	1	Credito 1.1	Programa de Gestão da Qualidade Ambiental Interna	1
0	0	1	Credito 1.2	Monitoramento da Qualidade do Ar	1
0	0	1	Credito 1.3	Acréscimo da Ventilação	1
0	0	1	Credito 1.4	Redução das partículas na distribuição do ar	1
0	0	1	Credito 1.5	Plano de Qualidade do Ar - Durante a Construção	1
1	1	0	Credito 2.1	Conforto dos Ocupantes - Pesquisa satisfação dos ocupantes	1
1	1	0	Credito 2.2	Controle dos Sistemas - Iluminação	1
0	0	1	Credito 2.3	Conforto dos Ocupantes - Monitoramento do conforto térmico	1
0	0	1	Credito 2.4	Conforto dos Ocupantes - Luz do dia e Vista, 50% Luz do dia / 45% Vista	1
0	0	1	Credito 3.1	Limpeza Verde - Programa de limpeza verde de alta performance	1
0	0	1	Credito 3.2	Limpeza Verde - Avaliação da Eficácia - Pontuação = 3	1
0	0	1	Credito 3.3	Limpeza Verde - Compras de materiais e produtos sustentáveis	1
0	0	1	Credito 3.4	Limpeza Verde - Equipamentos de limpeza sustentáveis	1
1	1	0	Credito 3.5	Limpeza Verde - Controle de fontes de poluentes e químicos internos	1
0	0	1	Credito 3.6	Limpeza Verde - Manutenção integrada de pragas internas	1
0	0	3		Inovação na Operação	6 Pontos
0	0	1	Credito 1	Inovação na Operação	1 a 4
				<input type="checkbox"/> Inovação ou Performance Exemplar	1
				<input type="checkbox"/> Inovação ou Performance Exemplar	1
				<input type="checkbox"/> Inovação ou Performance Exemplar	1
				<input type="checkbox"/> Inovação	1
0	0	1	Credit 2	Profissional Acreditado LEED® AP	1
0	0	1	Credit 3	Documentação dos impactos dos custos da construção sustentável	1
0	0	1		Créditos Regionais	4 Pontos
0	0	1	Credito 1	Inovação na Operação	1 a 4
				<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Especificas da Região	1
				<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Especificas da Região	1
				<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Especificas da Região	1
				<input type="checkbox"/> Prioridades Ambientais Especificas da Região	1
20	53	40		Projeto Total (Certificação Estimada)	110 Pontos

Aprovado

Prata

A avaliação de uma edificação já existente pelo sistema LEED inicia-se com a observação dos pré-requisitos de cada bloco; contudo, para melhor entendimento será seguida a sequência dos blocos.

O primeiro crédito se refere às análises do bloco “Espaço Sustentável” e questiona a existência da certificação LEED na etapa de projeto da edificação; como esse não é o caso da FDCT, não há pontuação.

Os créditos 2 e 3 seguintes questionam a existência de “Plano de Manutenção de Áreas Externas” e de “Plano de Manutenção Integrado de Controle de Pestes, Erosão e Paisagismo”, assegurando, no primeiro caso, que a parte externa da edificação esteja limpa, pintada e com equipamentos em bom funcionamento; e no segundo caso, a realização de manejo integrado de pragas, criação de habitat com a proteção de áreas naturais e o plantio de espécies nativas do bioma local, bem como a remoção de plantas invasoras.

Em relação ao “Transporte Alternativo”, a FDCT possui local para bicicletas, como também o há no campus da Unesp de Guaratinguetá. A maioria dos alunos que frequenta a edificação chega ao local a pé, por transporte público ou bicicleta; tal informação foi conseguida por meio do questionário interativo realizado no local. Como a população da edificação é variável, foi assumido como adequada uma redução de 50% do número de deslocamentos (ida e volta) por meios de transporte de único ocupante. Observa-se que a obtenção dessa pontuação não é mérito de nenhum trabalho de conscientização e/ou educação ambiental, pois só foi conseguido devido à realidade do público alvo das atividades da edificação analisada.

O crédito 5 “Desenvolvimento do Espaço - Proteção e Restauração do Habitat” prevê ações necessárias para conservação das áreas naturais existentes e restauração das áreas degradadas, fornecendo habitat e promovendo a biodiversidade. A área destinada para esse fim deve ser, no mínimo, de 25% da área de terreno não construído ou 5% da área total das instalações (incluindo área construída), o que for maior.

Fora as atividades de plantio e conservação da vegetação, a preservação local dos recursos naturais, como corpos d'água, solo, afloramentos rochosos, dentre outros, contribuem para alcançar a pontuação deste crédito.

O crédito 6, relativo à “Gestão da Quantidade do Escoamento Superficial”, sugere o armazenamento e a reutilização de águas pluviais para uso não potável como irrigação, lavagens de pisos e para descarga sanitária.

A análise referente à “Redução das Ilhas de Calor - superfícies construídas” solicita que seja reduzida a absorção de calor das superfícies externas da edificação, por meio de materiais e técnicas de paisagismo. Tal crédito prevê estratégias para 50% das superfícies construídas (incluindo ruas, calçadas, pátios e estacionamentos).

O último crédito relacionado ao bloco “Espaço Sustentável” analisa ações para a redução da poluição por iluminação; tal preocupação não procede para o caso da Fundação, pois não há excessos de iluminação.

O próximo bloco de análise se refere ao “Uso Racional da Água”, que possui pré-requisitos para elegibilidade, como a redução de perdas d’água nos sistemas de distribuição, tais como tubulações e encanamentos. O primeiro crédito da análise do bloco determina a existência de um dispositivo de medição instalado, medindo e controlando o consumo total de água potável em todo o edifício e terrenos associados.

O segundo crédito trata da otimização dos sistemas hídricos, conferindo redução de consumo de água para o edifício. No caso da FDCT, considerando um período de um ano (312 dias) e um total de 50 acionamentos diários, as bacias sanitárias e torneiras convencionais consumiriam uma vazão de 749 m³ e em contrapartida, equipamentos mais eficientes consumiriam 463 m³ de água potável. Com efeito, a substituição geraria uma economia de 38%. O Quadro 5.8 apresenta um cenário hipotético do consumo de água dos aparelhos hidrossanitários convencionais instalados na FDCT e o consumo de aparelhos mais eficientes cotados para substituição.

Quadro 5.8 - Consumo de água de aparelhos hidrossanitários convencionais e eficientes conforme demandas da FDCT

Equipamentos		Quant.	Consumo (litros)	Demanda anual (m ³)
Aparelhos Convencionais	Bacia Sanitária	3	300	280,8
	Torneiras	3	500	468
Total			800	748,8
Aparelhos Eficientes	Bacia Sanitária	3	195	182,52
	Torneiras	3	300	280,8
Total			495	463,32

Em relação ao “Paisagismo com uso eficiente”, a Fundação obteria a pontuação com a instalação do sistema de aproveitamento da água de chuva. Sabendo que 1 mm de chuva equivale a 1 litro por m² e que árvores frutíferas, tais como a goiabeira, caracteristicamente plantadas nas áreas próximas à FDCT, precisam aproximadamente

de 906 mm de água por 200 dias (TEIXEIRA et al., 2003) ou 0,906 m de água por ano, estima-se a área.

$$A_1 = \frac{210}{0,906} = 231 \text{ m}^2$$

Nesse sentido, considerando que a área de jardim no entorno da FDCT é de 250 m², obtém-se uma redução de 100% do consumo de água potável para irrigação.

Em relação ao bloco de análise “Energia e Atmosfera” o primeiro pré-requisito se refere a "Melhores Práticas de Gestão para Eficiência Energética: Planejamento, Documentação, Avaliação e Oportunidades", que prevê o desenvolvimento de um plano de manutenção preventiva dos equipamentos existentes no edifício. No segundo pré-requisito, “Desempenho Mínimo em Eficiência Energética”, o LEED solicita o demonstrativo de uma melhora na eficiência energética de, pelo menos, 19% comparado à média para construções do mesmo tipo. Outra preocupação levantada nesse bloco como um pré-requisito, “Gestão de Gases Refrigerantes”, é a redução da destruição do ozônio estratosférico com a utilização zero de clorofluorcarbonos (CFC) presentes em fluidos refrigerantes de sistemas de calefação, ventilação, ar condicionado e refrigeração (HVAC-R).

O primeiro crédito analisa a eficiência energética do edifício, comparado com o desempenho comum de edificações análogas. Como não entrou no escopo do trabalho analisar o comportamento energético de edificações similares à Fundação, com mesma atividade, dimensões e consumo, para dessa forma se obter a eficiência energética média para construções típicas do mesmo tipo, foi tomado como comparativo a condição original do prédio da FDCT. Sob essa análise, foi constatado que a redução do consumo foi de em 38%, garantindo 14 pontos na categoria. Os dados de consumo são apresentados pelo Quadro 5.9.

A análise segue com o crédito “Comissionamento do Edifício Existente - Investigação e Análise”. A idéia do comissionamento, com base no plano operacional e de construção, é obter informações a respeito do funcionamento dos sistemas necessários à edificação, realizando testes e análises e identificando oportunidades para realizar ou não melhorias no desempenho do edifício; tal fato ocorreu justamente com a proposta do trabalho.

Quadro 5.9 - Consumo de energética do prédio da FDCT na situação original e hipotética após *retrofit*.

Original				Retrofit			
Equipamentos	Quant.	Consumo Anual unitário (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Equipamentos	Quant.	Consumo Anual unitário (kWh)	Consumo Anual (kWh)
Lâmpada 40 W	36	149,76	5391,36	Lâmpada 25 W	30	93,60	2808,00
Lâmpada 20 W -	4	74,88	299,52	Lâmpada 14 W	10	52,42	524,16
Lampada Incand. 100 W	6	374,40	2246,40	Rt eletrônico 2XT5	17	22,46	381,89
Reator convencional	20	48,67	973,44	Rt eletrônico 1XT5	6	14,98	89,86
Ar condicionado 12000 BTU	1	1347	5043,168	Ar condicionado 9000 BTU	1	790	2957,76
Ar condicionado 22000 BTU	1	2697	10097,568	Ar condicionado 22000 BTU	1	2160	8087,04
Total			24051,46	Total			14848,70

No crédito “Comissionamento do Edifício Existente – Implementação”, o LEED requer a implementação de melhorias operacionais de baixo custo, aumentando o desempenho imediato do edifício, bem como o desenvolvimento de análise econômica para *retrofits* identificados na fase de investigação e análise, tal como o escopo deste trabalho. Em seguida, o crédito “Comissionamento do Edifício Existente – Continuidade” solicita a criação de um programa contínuo de comissionamento que aborde possíveis mudanças em curso e necessidades de manutenção da edificação.

No crédito relativo à “Gestão de Refrigerantes Melhorados” há pontuação devido à opção por equipamentos de ar condicionado que utilizam gás refrigerante que não agredem a camada de ozônio.

O próximo bloco de análise fala de “Materiais e Recursos” e exige como pré-requisito que haja na edificação uma “Política de Compras Sustentáveis” e, também, uma “Política de Gestão de Resíduos Sólidos”.

No crédito relativo a “Compras Sustentáveis” de bens duráveis, a FDCT recebe pontuação devido ao *retrofit* de equipamentos, com aparelhos de ar condicionado de classificação “A” no INMETRO, bem como lâmpadas e reatores mais eficientes.

Em relação ao crédito “Redução do mercúrio em lâmpadas”, o Sistema LEED determina que para alcançar a pontuação 90% das lâmpadas (que contem mercúrio) instaladas na edificação devem atingir noventa picogramas de mercúrio por lumens por hora. No caso da FDCT, as lâmpadas de 25 W escolhidas possuem uma tecnologia

mais limpa nesse fator, contendo 1,4 mg de mercúrio por lâmpada, um valor bastante baixo comparado com a média da lâmpadas. Cada lâmpada de 25 W possui fluxo luminoso de 2450 lumens e vida útil de 24.000 horas, o que gera um total de mercúrio de 23 pg/lumens.h, conforme segue:

$$Hg_{25W} = \frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{24500 \cdot 24000} = 23 \text{ pg / lumens} \cdot h$$

Já as lâmpadas de 14 W, que são de tecnologias mais comuns, possuem 3 mg de mercúrio e emitem 1200 lumens, com tempo de vida útil em torno de 24000 horas, gerando 104 pg/lumens.h de mercúrio, como segue:

$$Hg_{14W} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1200 \cdot 24000} = 104 \text{ pg / lumens} \cdot h$$

No entanto, trinta das quarenta lâmpadas que seriam instaladas na FDCT são de 25 W, ou seja, 75% das lâmpadas possuem 23 pg/lumens.h e os 25% restantes são lâmpadas de 14 W, a saber:

$$Hg_{Total} = \frac{3 \cdot 23}{4} + \frac{104}{4} = 43,25 \text{ pg / lumens} \cdot h$$

Os créditos seguintes do checklist são de simples análise, tendo o Quadro 5.7 como base, dessa forma os próximos itens não serão destrinchados.

5.8 Análise econômica

5.8.1 Iluminação

A substituição dos equipamentos instalados por equipamentos mais eficientes foi a intervenção visando conservação de energia e meio ambiente realizada no sistema de iluminação da edificação em estudo. Tal intervenção será avaliada conforme preceitos de engenharia econômica.

A Tabela 5.8 apresenta informações sobre os equipamentos constituintes do sistema de iluminação instalado na Fundação, expondo os dados sobre o custo, a quantidade e o tempo de vida útil de cada equipamento.

Tabela 5.8 - Custo e tempo de vida útil dos equipamentos instalados

Equipamentos	Preço unitário	Quant.	Vida útil (anos)	Custo inicial
Luminária	120,00	20	10	2400,00
Luminária comum p/ Lamp Incand.	35,00	6	10	210,00
Lâmpada 40 W - 7.500 h	4,70	36	2	169,20
Lâmpada 20 W - 7.500 h	4,70	4	2	18,80
Lamp. Incand. 100 W - 1000 h	2,50	6	1/4	15,00
Reator	20,00	20	4	400,00
Total (R\$)				3213,00

A Tabela 5.9 apresenta os custo de investimento em equipamentos mais eficientes e o custo da mão de obra para realizar a substituição dos equipamentos instalados; já a Tabela 5.10 expõe o retorno do investimento proveniente da economia com a energia elétrica.

Tabela 5.9 - Investimentos no sistema de iluminação

Equipamentos	Preço unitário	Quant.	Vida útil (anos)	Custo inicial
Luminária 2XT5	140,00	17	10	2380,00
Reator	20,00	17	10	340,00
Luminária 1X14 c/ reator acoplado	35,00	6	10	210,00
Lâmpada 25 W - 24.000 h	30,00	30	7	900,00
Lâmpada 14 W - 24.000 h	16,00	10	7	160,00
Substituição dos equipamentos	160	1	--	160
Total (R\$)				4150,00
Diferença dos Casos 1 e 2 (R\$)				937,00

Tabela 5.10 - Economia anual de energia elétrica para o sistema de iluminação

Equipamentos	Quant.	Consumo Anual unitário (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Valor (R\$)
Lâmpada 40 W	36	149,76	5391,36	1754,19
Lâmpada 20 W	4	74,88	299,52	97,45
Lampada Incand. 100 W	6	374,4	2246,4	730,91
Reator convencional	20	48,672	973,44	316,73
Total (caso 1)			8910,72	2899,28
Lâmpada 25 W	30	93,6	2808	913,64
Lâmpada 14 W	10	52,416	524,16	170,55
Rt eletrônico 2XT5	17	22,464	381,888	124,25
Rt eletrônico 1XT5	6	14,976	89,856	29,24
Total (caso 2)			3803,904	1237,68
Diferença dos Casos 1 e 2			5106,816	1661,60

* Empresa Bandeirante de Energia S.A. – jan. 2011

O fluxo de caixa neste caso é formado com os valores monetários das despesas e receitas da proposta para o sistema de iluminação. Como despesas estão os custos de investimentos em equipamentos mais eficientes e o custo de serviço de substituição desses equipamentos; como receita variável está o custo evitado de equipamentos, tendo em vista o tempo vida útil em anos dos equipamentos instalados; e as receitas fixas são geradas com economia de energia elétrica e com a possibilidade de venda dos equipamentos usados. O período adotado para este estudo é o prazo máximo de seis anos.

Os valores presentes líquidos são calculados, para as taxas de juros anuais de 12% e de 18%. A economia de energia é calculada considerando o tempo de uso diário para dias úteis de oito horas por dia em 312 dias.

Com a substituição dos equipamentos antigos de menor vida útil por outros mais eficientes, além dos ganhos monetários obtidos com a economia de energia, também foram evitados investimentos com as inúmeras trocas de componentes. O valor presente líquido é calculado de acordo com a equação (3.10).

Para três anos ($n=3$) e taxa de juros de 12% ao ano ($i=0,12$), tem-se:

$$VPL = \sum_0^n F_t (1+i)^{-t}$$

$$VPL = -\frac{4150,00}{(1+0,12)^0} + \frac{1721,60}{(1+0,12)^1} + \frac{1909,60}{(1+0,12)^2} + \frac{1721,60}{(1+0,12)^3}$$

$$VPL = R\$ 134,88$$

Os valores das receitas e despesas distribuídas ao longo de um período de seis anos, bem como os valores presente líquidos para as duas taxas de juros anuais estão apresentados no Quadro 5.10, ilustrado pela Figura 5.4.

Quadro 5.10 - Consolidação dos valores presentes líquidos

Valores		Períodos (anos)						
		0	1	2	3	4	5	6
Receitas (R\$)	Investimento evitado	....	60,00	248,00	60,00	648,00	60,00	248,00
	Economia de energia	....	1661,60	1661,60	1661,60	1661,60	1661,60	1661,60
	Total	0.00	1721,60	1909,60	1721,60	2309,60	1721,60	1909,60
Despesas (R\$)		4150,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VPL 12% a.a. (R\$)		....	-2612,85	-1090,53	134,88	1602,67	2579,56	3547,02
VPL 18% a.a. (R\$)		....	-2691,01	-1319,56	-271,74	919,53	1672,05	2379,43

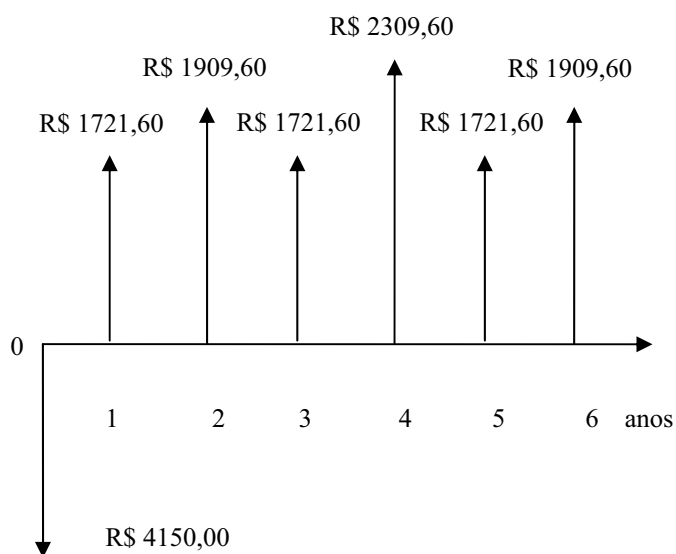


Figura 5.4 - Fluxo de caixa para a análise de investimento para o sistema de iluminação

De acordo com o Quadro 5.10, para o cenário com taxa de juros de 12% a.a., o investimento seria recuperado em 3 a 4 anos; já com taxa de juros de 18% a.a., o empreendimento se viabilizaria em 4 a 5 anos.

A fim de se obter uma melhor precisão desses prazos, utiliza-se a equação (3.12) para o cálculo do prazo de retorno do investimento, admitindo-se que as receitas no fluxo de caixa são distribuídas de forma uniforme ao longo do tempo.

Para obter os valores uniformes equivalentes às receitas anuais é necessário, inicialmente, encontrar o somatório dos valores presentes para o período analisado, conforme a equação (5.1). Para o período de retorno de três anos e taxa equivalente de juros de 12% a.a., segue os cálculos:

$$\sum P = F_1 \cdot \left(\frac{1}{1+i}\right)^1 + F_2 \cdot \left(\frac{1}{1+i}\right)^2 + F_3 \cdot \left(\frac{1}{1+i}\right)^3 \quad (5.1)$$

$$\sum P = 60 \cdot \left(\frac{1}{1+12\%}\right)^1 + 240 \cdot \left(\frac{1}{1+12\%}\right)^2 + 60 \cdot \left(\frac{1}{1+12\%}\right)^3$$

$$\sum P = 53,57 + 197,70 + 42,71 = 293,98$$

De acordo com a equação (3.13), tem-se:

$$U = 293,98 \cdot \left(\frac{0,12 \cdot (1 + 0,12)^3}{(1 + 0,12)^3 - 1}\right) = 122,40 \text{ (R\$)}$$

A Tabela 5.11 apresenta os cálculos do somatório dos valores presentes (P) e dos valores uniformes (U) para os períodos de três e quatro anos, bem como para taxas de juros de 12% e 18% ao ano.

Tabela 5.11 - Série uniforme equivalente (em R\$)

Taxa de juros		Período	
		3	4
12%	$\sum P$	293,98	705,80
	U	122,40	232,37
18%	$\sum P$	265,48	599,71
	U	122,09	222,93

A Tabela 5.12 resume todas as informações para um período de até quatro anos, destacando os valores presentes líquidos (VPL) conforme o fluxo uniforme equivalente.

Tabela 5.12 - Valores presente líquido conforme o fluxo uniforme equivalente (em R\$)

Valores	Períodos (anos)				
	0	1	2	3	4
Custo e Fluxo de caixa Fixo	-4150,00	1661,60	1661,60	1661,60	1661,60
Fluxo de caixa Variável	...	60,00	248,00	60,00	648,00
P_n	...	53,57	197,70	42,71	411,82
U (12%)	...	122,40	122,40	122,40	122,40
VPL 12% a.a.	...	-2557,14	-1134,94	134,88	1268,64
P_n	...	50,85	178,11	36,52	334,23
U (18%)	...	222,93	222,93	222,93	222,93
VPL 18% a.a.	...	-2552,93	-1199,49	-52,50	919,53

sendo F, o fluxo de caixa que se configura, na equação (3.12), num valor uniforme, que reflete o somatório das receitas fixas e do valor uniforme das receitas variáveis.

Nesse sentido, para taxa de juros de 12 % ao ano, tem-se:

$$n (12\% \text{ a.a.}) = \frac{\log \frac{1661,60 + 122,40}{1661,60 + 122,40 - (4150,00 \times 0,12)}}{\log(1 + 0,12)}$$

$$n (12\% \text{ a.a.}) = 2,88 \text{ anos}$$

Analogamente, para taxa de juros de 18 % ao ano, tem-se:

$$n (12\% \text{ a.a.}) = \frac{\log \frac{1661,60 + 222,93}{1661,60 + 222,93 - (4150,00 \times 0,18)}}{\log(1 + 0,18)}$$

$$n (18\% \text{ a.a.}) = 3,05 \text{ anos}$$

A possibilidade de revenda dos equipamentos instalados permite a redução no período de retorno do investimento. Dessa forma foi, analisado o comportamento do período de retorno nos cenários com valores residuais de revenda de 10%, 30% e 50% do custo do equipamento novo.

A Figura 5.5, bem como a Tabela 5.13, apresenta a relação entre o tempo de retorno do investimento em anos e os valores residuais de revenda para taxas de retorno de 12% e 18% ao ano, os valores de revenda foram tomados de forma hipotética, estes foram considerados como sendo uma percentagem crescente (10%,

30% e 50%) do valor de mercado do equipamento novo. Os custos de mercado dos equipamentos instalados já foram apresentados pela Tabela 5.8.

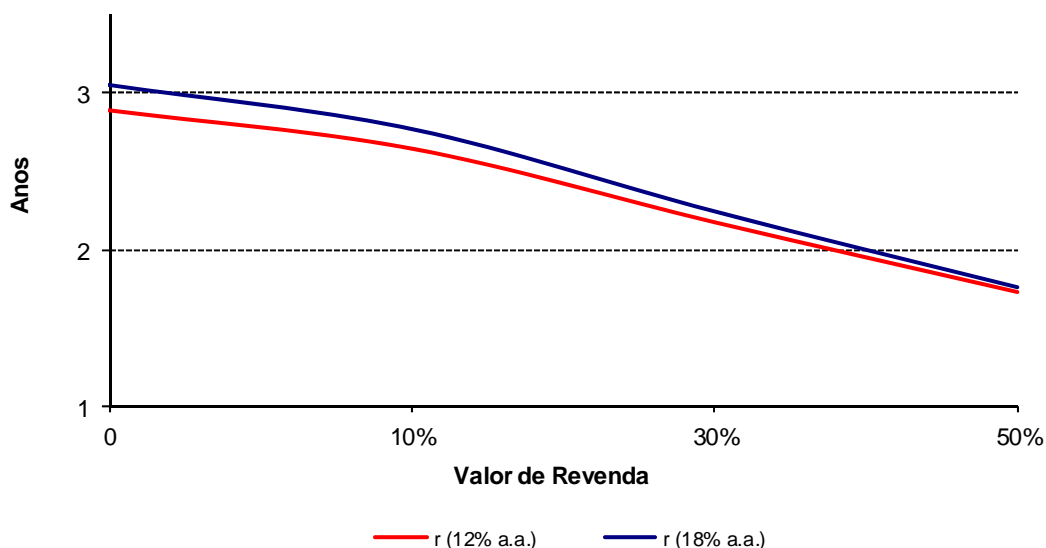


Figura 5.5 – Representação da razão entre retorno do investimento e valor de revenda dos equipamentos.

Tabela 5.13 – Relação entre valor de revenda e retorno de investimento

Valor residual de revenda	Retorno de Investimento (ano)	
	n 12% a.a.	n 18% a.a.
0	2,89	3,05
10%	2,64	2,77
30%	2,17	2,24
50%	1,73	1,76

No caso do sistema de iluminação, os equipamentos considerados interessantes para revenda foram apenas as luminárias e os reatores. Não foi observado mercado atraente para lâmpadas usadas, mesmo no âmbito de reciclagem e mercado de resíduos, pois no caso das lâmpadas fluorescentes, devido à existência de mercúrio, o usuário deve pagar para realizar sua reciclagem.

5.8.2 Sistema de ar condicionado

A análise econômica do sistema de ar condicionado avaliou os investimentos necessários num cenário proposto de *retrofit* de equipamentos e construção de proteção solar necessária ao isolamento térmico da edificação.

A Tabela 5.14 apresenta pesquisa dos valores de mercado dos aparelhos de ar condicionado novos e os valores de revenda dos mesmos equipamentos usados.

Tabela 5.14 – Custos e valor de revenda dos condicionadores de ar instalados.

Equipamentos		Preço unitário	Quant.		Custo inicial	Valor de Revenda
SPRINGER MAXIFLEX	12000 BTU/h	1458,00	1	Unid	1458,00	900,00
SPRINGER MAXIFLEX	22000 BTU/h	2312,00	1	Unid	2312,00	1100,00
Total (R\$)					3770,00	2000,00

A Tabela 5.15 apresenta os investimentos necessários à proposta do sistema de ar condicionado.

Tabela 5.15 - Custos referentes às reformas e substituição de equipamentos

Equipamentos		Preço unitário	Quant.		Custo inicial (R\$)
FUJITSU “INVERTER”	9000 BTU/h	1299,60	1	Unid	1299,60
FUJITSU “INVERTER”	24000 BTU/h	2899,00	1	Unid	2899,00
	Mão de obra	160,00	2	Dias	320,00
Reformas: Proteção solar para condensadora	Cimento	16,58	1	Unid	16,58
	Areia	33,80	0,3	m ³	10,14
	Pedra britada	30,20	0,3	m ³	9,06
Instalação de brises		13,00	200	m ²	2600,00
Substituição dos aparelhos		160,00	1	Dias	160,00
Total (R\$)					7314,38

No que tange às trocas térmicas do ambiente, observa-se que seria necessária a substituição dos aparelhos de ar condicionado instalados por outros de maior

eficiência, a construção de proteções solares para as condensadoras desses aparelhos e a instalação de brises nas janelas que recebem alta incidência solar.

A Tabela 5.16 apresenta o consumo de energia dos condicionadores de ar já instalados e dos aparelhos propostos, apresentando a economia gerada anualmente com a substituição pelos equipamentos de maior eficiência energética.

Tabela 5.16 - Economia anual de energia para o sistema de ar condicionado

Equipamentos		Quant.	Consumo (W)	Consumo anual (kWh)	Valor (R\$)
SPRINGER MAXIFLEX	12000 BTU/h	1	1347	5043,17	1640,90
SPRINGER MAXIFLEX	22000 BTU/h	1	2697	10097,57	3285,45
Total (caso 1)				15140,74	4926,34
FUJITSU "INVERTER"	9000 BTU/h	1	790	2957,76	962,37
FUJITSU "INVERTER"	24000 BTU/h	1	2160	8087,04	2631,28
Total (caso 2)				11044,80	3593,65
Diferença dos Casos 1 e 2				4095,94	1332,69

O fluxo de caixa dá origem ao Quadro 5.11, que apresenta a consolidação dos valores presentes líquidos conforme as receitas e despesas geradas.

Quadro 5.11 - Consolidação dos valores presentes líquidos

Valores	Períodos (anos)						
	0	1	2	3	4	5	6
Receitas (R\$)	2000,00	1332,69	1332,69	1332,69	1332,69	1332,69	1332,69
Despesas (R\$)	7314,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VPL 12% a.a. (R\$)		-4124,47	-3062,06	-2113,47	-1266,52	-510,31	164,87
VPL 18% a.a. (R\$)		-4184,98	-3227,86	-2416,74	-1729,35	-1146,82	-653,14

A Figura 5.6 ilustra o fluxo dos valores monetários do custo de investimento, do valor de revenda dos equipamentos e da receita anual gerada pela economia de energia.

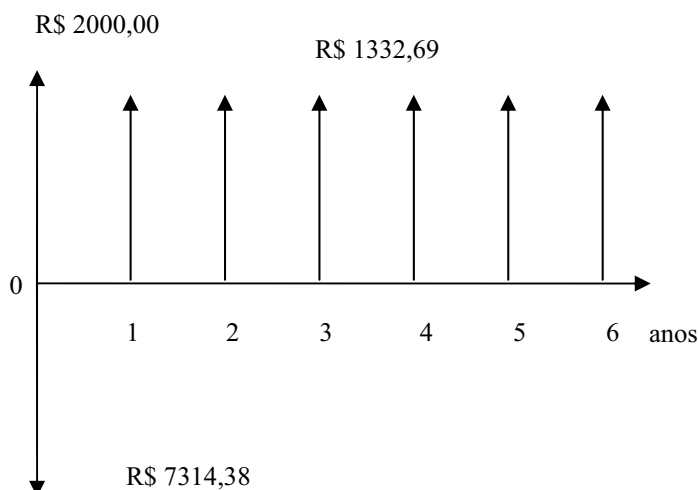


Figura 5.6 - Fluxo de caixa para a análise do sistema de ar condicionado

Devido à diferença entre os valores do investimento em equipamentos, da receita com a revenda e da economia de capital com a energia elétrica, será aplicado o método do prazo de retorno. Conforme equação (3.12) e para taxa de juros de 12 % ao ano, tem-se:

$$n (12\% \text{ a.a.}) = \frac{\log \frac{13382,38}{13382,38 - (53164,75 \times 0,12)}}{\log(1 + 0,12)}$$

$$n (12\% \text{ a.a.}) = 5,7 \text{ anos}$$

Da mesma forma, para taxa de juros de 18 % ao ano, tem-se:

$$n (18\% \text{ a.a.}) = 7,6 \text{ anos}$$

Segundo Dias (1999), o investimento em situações com prazos de retorno de seis anos ou mais se configura como inviável quando comparado aos exigidos pelas indústrias nacionais, que variam num período de dois a três anos dependendo de suas características. Contudo, ao se tratar de uma edificação com atividades destinadas ao desenvolvimento tecnológico e científico, as propostas no sentido de promover melhorias de eficiência energética e meio ambiente, quando com custos de investimentos razoáveis, podem ser aplicadas.

5.8.3 Consumo de Água

Para melhorar o desempenho da edificação em relação ao consumo de água, foi proposto o aproveitamento da água de chuva e a redução de perdas com o uso

aparelhos eficientes. A Tabela 5.17 apresenta o investimento necessário para implantação da proposta.

Tabela 5.17 - Investimentos para otimizar o consumo de água na Fundação

Descrição		Custo	Quantidade	Total (R\$)
Aparelhos hidrossanitários	Bacia Sanitária	250,00	3 unid	750,00
	Torneiras	100,00	3 unid	300,00
Sistema de aproveitamento de água de chuva		3625,00	1 unid	3625,00
Substituição dos aparelhos		160,00	1 dias	160,00
TOTAL (R\$)				4835,00

No cenário proposto a água de chuva será aproveitada para rega de mudas situada na área adjacente ao prédio da FDCT. Na situação atual a irrigação é feita com água potável fornecida pela concessionária e esse cômputo é debitado do campus da UNESP, sendo assim, por não estar na fatura mensal de água da Fundação, o valor dessa demanda não pôde ser bem avaliado.

A tarifa da água fornecida pela SAEG no ano de 2011 é de R\$ 2,602 por 1.000 L utilizado. Considerando a área da cobertura de 111,17 m², um reservatório de 10 m³ e a pluviosidade para a cidade de Guaratinguetá, conforme a Tabela 5.4 e a Figura 5.2, o benefício referente à economia de água durante um ano, que corresponde a cerca de 210 m³, totaliza um montante de R\$ 546,42.

Em relação às bacias sanitárias estimaram-se 50 acionamentos por dia por aparelho. Os cálculos foram realizados tendo em vista que as bacias sanitárias convencionais gastam 6 L por acionamento e, em contrapartida, que as bacias sanitárias eficientes consomem 3 L em 70% dos seus acionamentos e 6 L nos 30% restantes.

Segundo Fonseca (2010), as torneiras convencionais consomem 10 L se permanecerem abertas durante um minuto. Foi então considerado que cada acionamento dure um minuto, totalizando 50 acionamentos por aparelho. Os cálculos foram realizados comparando-se com o consumo das torneiras eficientes que consomem cerca de 6 L por minuto de acionamento.

A Tabela 5.18 apresenta os cálculos da economia conseguida com as propostas de intervenções no consumo de água da edificação.

Tabela 5.18 – Receita gerada pela economia de água anual na FDCT.

Equipamentos		Quant.	Consumo (litros)	Demanda anual (m ³)	Valor (R\$)
Aparelhos Convencionais	Bacia Sanitária	3	300	280,8	730,64
	Torneiras	3	500	468	1217,74
Total (caso 1)			800	748,8	1948,38
Aparelhos Eficientes	Bacia Sanitária	3	195	182,52	426,73
	Torneiras	3	300	280,8	730,64
Total (caso 2)			495	463,32	1157,37
Diferença dos Casos 1 e 2				285,48	791,00
Sistema de aproveitamento de água de chuva		1	....	210	546,42
Receita gerada com economia de água (R\$)					1337,42

De acordo com a equação (3.10), para o terceiro ano e taxa de juros de 12% a.a., segue os cálculos:

$$VPL = -\frac{4835,00}{(1+0,12)^0} + \frac{1337,42}{(1+0,12)^1} + \frac{1137,42}{(1+0,12)^2} + \frac{1337,42}{(1+0,12)^3}$$

$$VPL = -1622,73 \text{ R\$}$$

O Quadro 5.12 sintetiza os cálculos possibilitando a análise do retorno de investimento para um período de até 6 anos.

Quadro 5.12 – Consolidação dos valores presentes líquidos para melhorias no consumo de água

Valores	Períodos (anos)						
	0	1	2	3	4	5	6
Receitas (R\$)	0,00	1337,42	1337,42	1337,42	1337,42	1337,42	1337,42
Despesas (R\$)	4835,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VPL 12% a.a. (R\$)		-3640,87	-2574,68	-1622,73	-772,78	-13,88	663,70
VPL 18% a.a. (R\$)		-3701,59	-2741,07	-1927,07	-1237,25	-652,65	-157,22

A Figura 5.7 ilustra o fluxo monetário gerado por meio dos investimentos em equipamentos mais econômicos, bem como nas receitas conseguidas através da economia na fatura da água provinda da concessionária.

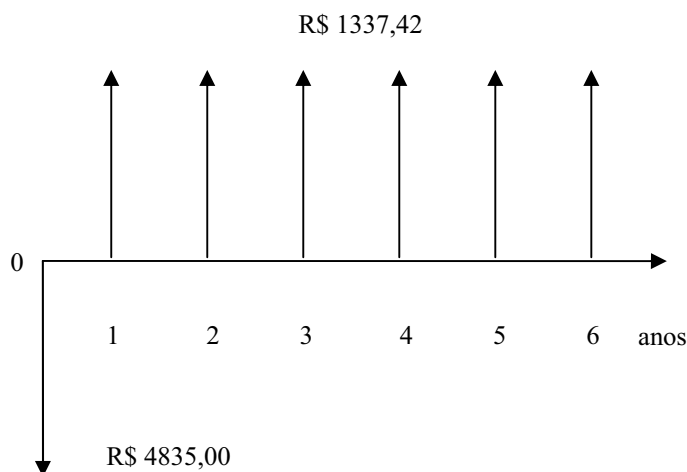


Figura 5.7 - Fluxo de caixa para melhorias no consumo de água.

Para 12 % ao ano, segue-se conforme equação (3.12):

$$n(12\% \text{ a.a.}) = \frac{\log \frac{1158,43}{1158,43 - (4835,00 \times 0,12)}}{\log(1 + 0,12)}$$

$$n(12\% \text{ a.a.}) = 5,02 \text{ anos}$$

Analogamente, para 18 % ao ano, tem-se:

$$n(18\% \text{ a.a.}) = 6,35 \text{ anos}$$

Da mesma forma como ocorreu com o retorno do investimento no sistema de ar condicionado, o período do retorno do investimento em melhorias no consumo de água também não se configura tão atraente quando comparado ao do sistema de iluminação, porém é importante ressaltar que não foi levado em consideração o aumento da tarifa de água nem o custo ambiental relacionado com o tema, visto que a análise não contemplava toda a vida útil dos equipamentos. Observa-se que, em uma análise de sensibilidade o possível aumento das tarifas poderia representar uma melhoria dos valores alcançados.

6 CONCLUSÕES

As fases iniciais do projeto de uma edificação permitem decisões arquitetônicas que podem garantir níveis de desempenho energético e ambiental de uma forma mais simplificada quando comparado às fases de operação do edifício. Contudo, se vê inúmeras oportunidades de melhorias nas edificações já existentes e, em muitos casos, a interferência no sentido de alcançar os níveis pretendidos deixa de ser opcional e se torna necessário. Tal fato leva em consideração, principalmente, o consumo energético que pode-se refletir em custos exorbitantes para a edificação.

Além disso, é pouco provável que somente ações isoladas de conservação de energia e meio ambiente possam findar os problemas relacionados na edificação, pois, geralmente, seus usuários buscam o próprio conforto sem maiores preocupações, como por exemplo, com a economia de energia. Nesse sentido, é necessário educar os usuários e dar-lhes um retorno adequado das consequências de seus hábitos e atitudes.

Em relação à avaliação comparativa das metodologias do INMETRO e do Sistema LEED empregadas para a certificação energética e ambiental de edificações, sabe-se que os métodos de análise são diferentes, pois refletem as expectativas de mercado, práticas construtivas e agendas ambientais de cada país. No caso do Brasil, e, de um modo geral, dos países em desenvolvimento, ainda há os problemas relacionados com a desigualdade social e econômica que se configuram como preocupações primordiais para o desenvolvimento do país. Esta desigualdade reforça a preocupação do equilíbrio entre o custo e o benefício ambiental envolvidos nas ações.

A aplicação da mesma sofisticação de alguns critérios adotados no sistema LEED ainda não é apropriada para a avaliação dos edifícios no Brasil, pois, apesar de bastante abrangente, a metodologia LEED chega a alguns excessos, tornando-se exigente demais para a realidade brasileira. Já no caso da metodologia do INMETRO, esta foi desenvolvida com objetivo primordial de eficiência energética, tendo a preocupação com meio ambiente como desígnio secundário apresentado sob a forma de bonificações. Diversos sistemas foram incluídos como bonificações e, como o próprio nome já sugere, eles possuem o caráter opcional, de forma que o não cumprimento não acarreta em nenhuma penalidade.

A proposição de melhorias e a aplicação dos métodos permitiram concluir que a envoltória apresenta-se como um dos fatores determinantes no consumo de energia de uma edificação, podendo contribuir para a obtenção de um indicador de consumo elevado, caso não adote dispositivos para sombreamento e possua alto percentual de abertura de fachada. No caso do sistema de iluminação, a inexistência de integração entre iluminação natural e artificial, associada à ausência de dispositivos que permitam o controle dos acionamentos, bem como de sensores de desligamento automático, também podem limitar a eficiência do sistema e iluminação.

Com a análise do sistema de iluminação por meio da metodologia desenvolvida pelo INMETRO pode-se perceber que a adoção de níveis de iluminação pouco maiores que os recomendados pela NBR 5413 tem influência significativa sobre os limites de DPI utilizados e, conseqüentemente, nos níveis de eficiência energética dos edifícios.

A ventilação natural e os parâmetros de conforto térmico de ambientes não condicionados artificialmente são previstos no método prescritivo, porém quantificados por meio de simulação. Tais parâmetros estão sob a forma do equivalente numérico EqNumV e presentes no cálculo da classificação geral das parcelas referentes à envoltória e ao sistema de condicionamento de ar. Como a análise foi toda conduzida de modo prescritivo, nada foi obtido através de processos de simulação.

O *retrofit* proposto para a FDCT no sentido de conservação de energia considerou o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar. Com efeito, o consumo de energia elétrica por ano da edificação sem as medidas de eficiência energética é de 24051,46 kWh e o consumo após implantação das medidas cai para 14848,70 kWh, proporcionando uma redução de 38% no consumo anual de energia elétrica da Fundação.

Para o consumo de água da edificação, as medidas de substituição dos aparelhos hidrossanitários e o reuso da água de chuva para a irrigação permitiram uma redução de 1168,8 m³ anuais (contando com os 210 m³ coletados pelo sistema de aproveitamento de água de chuva) para 463,32 m³ por ano, permitindo que 50% do uso de água potável provida pela concessionária para a Fundação seja evitado.

Em relação à viabilidade econômica da alternativa de *retrofit* para a Fundação, a substituição dos equipamentos do sistema de iluminação apresenta um período de retorno de 2,89 anos para uma taxa de juros de 12% e de 3,05 anos para taxa de juros de 18% ao ano. Este retorno de investimento se revelou mais atrativo num cenário hipotético de revenda dos equipamentos usados, seguindo uma recuperação de capital, considerando o valor de revenda mais alto, quando então o período de retorno cai para 1,73 e 1,76 anos, a uma taxa de juros anual de 12% e 18%, respectivamente.

Quanto à análise econômica feita para o sistema de ar condicionado, esta foi penalizada pelo fato de que junto aos investimentos necessários à proposta também foram contabilizadas as reformas realizadas na envoltória, pois essas refletiam diretamente na demanda térmica dos ambientes condicionados; tal decisão deveu-se ao fato de não haver outra possibilidade de incluir os custos das reformas na envoltória. Com isso, tem-se que os prazos envolvidos na recuperação do investimento foram de 5,7 anos e 7,6 anos, para uma taxa de juros de 12% a.a. e 18% a.a., respectivamente, que poderiam ser menores caso as reformas da envoltória fossem computadas em análise a parte.

Em relação à alternativa de melhorias no consumo de água, com um custo de investimento significativo para o sistema de reuso de água de chuva, esta resultou em um retorno de 5 anos para juros de 12% a.a. e 6,35 anos para juros de 18% ao ano.

6.1 Considerações Finais

Com base ao que foi descrito no presente capítulo, conclui-se que o método prescritivo desenvolvido pelo INMETRO fornece uma determinação simplificada do nível de eficiência energética da edificação analisada, não abordando todos os parâmetros necessários, o que sugere a aplicação do método de simulação que é mais oneroso, porém mais completo. No entanto, a metodologia INMETRO para edificações ainda está sendo aprimorada e as próximas versões poderão incluir outros parâmetros de análise.

Em relação à aplicação do sistema LEED, a simples importação de uma metodologia pode comprometer a avaliação de desempenho da edificação, sendo necessária a adequação de pré-requisitos e créditos à realidade local.

Observa-se que o estudo de eficiência energética para identificação de melhorias em edificações se configura como um sistema dinâmico, pois depende dos métodos analíticos disponíveis e da realidade do que vai ser avaliado; além disso, está em fase de aperfeiçoamentos, e deste modo se fazem necessárias discussões a respeito do tema nos foros adequados, assim como a contínua melhoria da abordagem metodológica.

Conclui-se que o conceito de eficiência energética de edificações é algo recente e, dessa forma, o mercado construtivo ainda está em processo de adaptação. Essa necessidade de adaptação exige comunicação entre os arquitetos, projetistas e os profissionais envolvidos com a construção civil a respeito dos parâmetros de projeto, registro de informações e documentação ao longo da obra, bem como especificação técnica dos produtos e materiais utilizados.

REFERÊNCIAS

ALANNE, K.; SAARI, A. Sustainable small-scale CHP technologies for buildings: the basis for multi-perspective decision-making, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.8, p.401-431, 2004.

ALVAREZ, A.L.M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia e Automação Elétricas). São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1998.

AMORIM FILHO, T.M. **Conservação de energia elétrica em edificações comerciais: sistemas de ar condicionado com central de água gelada**. Dissertação (Mestrado em Energia e Automação Elétricas). São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2001. 84 p.

ANA, FIESP e SindusCon-SP. **Conservação e Reuso de água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. ABNT. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BANERJEE, A., SOLOMON, B.D. Eco-labeling for energy efficiency and sustainability: a meta-evaluation of US programs. **Energy Policy**, v. 31, p. 109–123, 2003

BIDINI, G., DESIDERI, U., SAETTA, S., BOCCHINI, P.P. Internal combustion engine combined heat and power plants: case study of the University of Perugia power plant. **Applied Thermal Engineering**, v. 18, p. 401–412, 1998.

BRASIL. **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001a. Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html>>. Acesso em: 17 mai. 2009.

BRASIL. **Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF, 2001b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2003.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. Rio de Janeiro, 2009a. v. 1.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Manual para Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C**. Rio de Janeiro, 2009b. v. 4.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria 163, de 08 de junho de 2009. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009a. Disponível em:

<<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2009.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria 185, de 22 de junho de 2009. Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009b. Disponível em:

<<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001465.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2009.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:

< <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2010.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO **Programa Brasileiro de Etiquetagem**: Eficiência Energética - Condicionadores de Ar Split Hi-Wall com Rotação Fixa. 2011. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/split2.pdf>>. Acessado em 10 jul 2011.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2009c. v. 2.

CAPRA, F. **Conexões Ocultas** – Ciência para uma vida sustentável. São Paulo: Cultrix, 2002.

CARLO, J. C.. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. 2008. 196 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro : ABES, RiMa, 2003. 294 p.

CEPINHA, E. I. F. **A Certificação Energética de Edifícios como Estratégia Empresarial do Sector da Construção - Análise à escala nacional**, 2007. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2007.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

DIAS, R. A. **Impactos da substituição de equipamentos na conservação de energia**. 1999. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 1999.

DIAS, R.A., MATTOS, C.R, BALESTIERI, J.A.P. **O uso racional da energia – ensino e cidadania**. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

DIRECTGOV. **Energy Performance Certificates**. July 2005. Disponível em: <http://www.direct.gov.uk/en/HomeAndCommunity/BuyingAndSellingYourHome/SellingYourHome/DG_076370> . Acesso em: 20/11/2009.

DRIF, M., PÉREZ, P.J., AGUILERA, J., ALMONACID, G., GOMEZ, P., de la CASA, J., AGUILAR, J.D. Univer Project - a grid connected photovoltaic system of 200 kW_p at Jaén University: Overview and performance analysis. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 91, p. 670-683, 2007.

ELETROBRAS. **PROCEL - Prédios Públicos**. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br/elb/procel/main.asp?TeamID=%7BDF942C36-5F0F-4055-9BBF-1382A2119E4C%7D>> . Acesso em 17/02/2009.

ELETROBRAS. PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Orientações gerais para conservação de energia elétrica em prédios públicos**. Rio de Janeiro, 2001

FIORELLI, F. A. S. **Análise do escoamento de fluidos refrigerantes alternativos ao HCFC 22 em tubos capilares adiabáticos**. 2000. 183 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FONSECA, I. C. L. da; ALMEIDA, C. C. da R. de; LOMARDO, L. L. B.; MELLO, E. N. **Avaliações de conforto ambiental e eficiência energética do projeto do prédio do Centro de Informações do Cresesb, no Rio de Janeiro**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 41-58, 2010.

FOSSATI, M. **Metodologia para Avaliação da Sustentabilidade de Projetos de Edifícios: O Caso de Escritórios em Florianópolis**. 2008. 342 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Eficiência energética da envoltória de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 59-69. 2010.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para *retrofit* em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. 1997. 246 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

GHISI, E., LAMBERTS, R. “**Influência das Características Reflexivas da Luminária e da Refletância das paredes na Potência Instalada em Sistemas de Iluminação**”. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Núcleo de Pesquisa e construção, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 1998.

GOLDEMBERG, J.. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1998.

GONÇALVES, R.F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro, 2006. 352 p.

GONÇALVES, R.F. (Coord.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009 352p.

HEYWORTH, J. S. MAYNARD, E. J., CUNLIFFE, D. **Who consumes what: potable water consumption in South Australia**. *Water*, v. 1, n. 25, p. 9-13, 1998.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. São Paulo: Editora Atlas, 1992, 453p.

HONG, T. A close look at the China Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings. **Energy and Buildings**, v. 41, p. 426–435, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.

IWASHITA, J.. **Eficiência energética em sistemas de iluminação de interiores: análise de luminárias comerciais**. 2004. 205 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

JANNUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. **Planejamento integrado de recursos energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis**. Campinas/SP, Editora Autores Associados, 246p.1997.

LAMBERTS, R., GHISI, E., PAPST, A. L.. **Desempenho térmico de edificações**. Apostila. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

LUZ-SILVEIRA, J., BEYENE, A., LEAL, E.M., SANTANA, J.A., OKADA, D. Thermoeconomic analysis of a cogeneration system of a university campus. **Applied Thermal Engineering**, v. 22, p. 1471-1483, 2002.

MA, Z. WANG, S. Building energy research in Hong Kong: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** (2009), doi:10.1016/j.rser.2009.01.006.

MACIEL, A.A., FORD, B., LAMBERTS, R. Main influences on the design philosophy and knowledge basis to bioclimatic integration into architectural design - the example of best practices. **Building and Environment**, v. 42, p. 3762-3773, 2007.

MICHELENA, G.R. **Green buildings certificação LEED**. *Jornal Construção e Companhia*. Edição 55, número 4, 2008. Disponível em:

<<http://www.construcaoecia.com.br/conteudo.asp?ed=55&cont=570>> . Acesso em 17/02/2009.

MORALES, C. **Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramenta de apoio à gestão**: classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo. 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado em Energia e Automação Elétricas). São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2007.

NUNES, R. T. S. **Conservação da água em edifícios comerciais**: Potencial de uso racional e reuso em shopping Center. 2006. 144 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). PPE/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PAEPE, M.; D'HERDT, P.; MERTENS, D. Micro-CHP systems for residential applications, **Energy Conversion and Management**, v.47, p.3435-3446, 2006.

PATRICIO, R. M. R. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação de desempenho ambiental em edifícios adaptada á realidade do nordeste brasileiro**. 2005. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005,

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA . PNCDA. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA_F1.pdf Brasília, 1999. Acessado em: 15/03/2010.

ROCHA, V. L. Validação do algoritmo Netuno para avaliação do Potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações. 2009. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

RÜTHER, R., KNOB, P.J., JARDIM, C.S., REBECHI, S.H. Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil. **Energy Conversion and Management**, v. 49, p. 1074-1079, 2008.

SAMPAIO, H. C. **Planejamento e Otimização de Sistemas Energéticos para Gestão Econômica e Ambiental de Cidades**. Guaratinguetá, 2007. 235p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

SANTANA, M. V. **Influência de Parâmetros Construtivos no Consumo de Energia de Edifícios de Escritório Localizados em Florianópolis – SC**. 2006. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003. 210 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2003.

SILVA, V. G. Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica. **Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Projeto Finep, 2386/04**, São Paulo, 2007.

SIGNOR, R.. **Análise de regressão do Consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. 1999. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

SOUZA, A. P. A. **Uso da energia em edifícios: estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em

Tecnologia). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

STANKEVICIUS, V., KARBAUSKAITE, J., MONSTVILAS, E. The development of reference values for energy certification of buildings in Lithuania. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 284–288, 2007.

TAVARES, F. T. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de Edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TEIXEIRA, A.H.C. et al. Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológicas automática e convencional. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 3, p. 457-460, dezembro 2003.

TOLMASQUIM, M.T., SZKLO, A.S., SOARES, J.B. Economic potential of natural gas fired cogeneration plants at malls in Rio de Janeiro. **Energy Conversion and Management**, v. 42, p. 663-674, 2001.

TOMAZ, P. **Previsão do consumo de água: Interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos**. São Paulo: Navegar, 2000.

TSUTYIA, M. T. **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água**. São Paulo: Abes, 2001.

USGBC. **LEED 2009 for Existing Buildings: Operations & Maintenance Rating System**. 2008.

ZAIZEN, M. et al. **The collection of rainwater from dome stadiums in Japan**. *Urban Water*, v. 4, n. 1, p. 355-359, 1999.

ANEXO A – Tabelas de Limites de Densidade de Potência de Iluminação

Tabela A.1 -Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício (ABNT, 1992)

Função do Edifício	DPI limite	DPI limite	DPI limite	DPI limite
	W/m ² (Nível A)	W/m ² (Nível B)	W/m ² (Nível C)	W/m ² (Nível D)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de esportes	8,4	9,7	10,9	12,2
Garagem – Ed. Garagem	2,7	3,1	3,5	3,9
Ginásio	10,8	12,4	14	15,7
Hospedagem, Dormitório	6,6	7,6	8,6	9,6
Hospital	13	15	16,9	18,9
Hotel	10,8	12,4	14	15,7
Igreja/Templo	11,3	13	14,7	16,4
Restaurante	9,6	11	12,5	13,9
Restaurante: Bar/Lazer	10,7	12,3	13,9	15,5
Restaurante: <i>Fast-food</i>	9,7	11,2	12,6	14,1
Museu	11,4	13,1	14,8	16,5
Oficina	12,9	14,8	16,8	18,7
Penitenciária	10,4	12	13,5	15,1
Posto de Saúde/Clinica	9,4	10,8	12,2	13,6
Posto Policial	10,3	11,8	13,4	14,9
Prefeitura – Inst. Gov.	9,9	11,4	12,9	14,4
Teatro	15	17,3	19,5	21,8
Transportes	8,3	9,5	10,8	12
Tribunal	11,3	13	14,7	16,4

Tabela A.2 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método das atividades do edifício (ABNT, 1992)

Ambientes/Atividades	Limite do Ambiente K	DPIL Nível A W/m²	DPIL Nível B W/m²	DPIL Nível C W/m²	DPIL Nível D W/m²
Armazém, Atacado					
Material pequeno/leve	0,8	10,2	12,24	14,28	16,32
Material médio/volumoso	1,2	5	6	7	8
Átrio - por metro de altura	....			
até 12,20 m de altura	....	0,302	0,361	0,421	0,481
acima de 12,20 m de altura	....	0,201	0,241	0,281	0,321
Auditórios e Anfiteatros					
Auditório	0,8	8,5	10,2	11,9	13,6
Centro de Convenções	1,2	8,8	10,56	12,32	14,08
Cinema	1,2	5	6	7	8
Teatro	0,6	26,2	31,44	36,68	41,92
Banco/Escritório - Área de atividades bancárias	0,8	14,9	17,88	20,86	23,84
Banheiros	0,6	5	6	7	8
Biblioteca					
Área de arquivamento	1,2	7,8	9,36	10,92	12,48
Área de leitura	1,2	10	12	14	16
Área de estantes	1,2	18,4	22,08	25,76	29,44
Casa de Máquinas	0,8	6	7,2	8,4	9,6
Centro de Convenções - Espaço de exposições	1,2	15,6	18,72	21,84	24,96
Circulação	<2,4m largura	8,52	9,94	11,36	
Comércio					
Área de vendas	0,8	18,1	21,72	25,34	28,96
Pátio de área comercial	1,2	11,8	14,16	16,52	18,88
Provador	0,6	10,2	12,24	14,28	16,32
Cozinhas	0,8	10,7	12,84	14,98	17,12
Depósitos	0,8	5	6	7	8
Dormitórios – Alojamentos	0,6	4,1	4,92	5,74	6,56
Escadas	0,6	7,4	8,88	10,36	11,84
Escritório	0,6	11,9	14,28	16,66	19,04
Escritório – Planta livre	1,2	10,5	12,6	14,7	16,8
Garagem	1,2	2	2,4	2,8	3,2
Ginásio/Academia					
Área de Ginástica	1,2	7,8	9,36	10,92	12,48
Arquibancada	1,2	7,5	9	10,5	13
Esportes de ringue	1,2	28,8	34,56	40,32	46,08
Quadra de esportes	1,2	32,4	38,88	45,36	51,84

Tabela A.2 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método das atividades do edifício (ABNT, 1992) (continuação)

Ambientes/Atividades	Limite do Ambiente	DPIL Nível A	DPIL Nível B	DPIL Nível C	DPIL Nível D
	K	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²
Hall de Entrada- Vestíbulo	1,2	8	9,6	11,2	12,8
Cinemas	1,2	8	9,6	11,2	12,8
Hospital					
Circulação	<2,4m largura	11,52	13,44	15,36	
Emergência	0,8	24,3	29,16	34,02	38,88
Enfermaria	0,8	9,5	11,4	13,3	15,2
Exames/Tratamento	0,6	17,9	21,48	25,06	28,64
Farmácia	0,8	12,3	14,76	17,22	19,68
Fisioterapia	0,8	9,8	11,76	13,72	15,68
Sala de espera, estar	0,8	11,5	13,8	16,1	18,4
Recuperação	0,8	12,4	14,88	17,36	19,84
Sala de Operação	0,8	20,3	24,36	28,42	32,48
Quarto de pacientes	0,8	6,7	8,04	9,38	10,72
Igreja, templo					
Assentos	1,2	16,5	19,8	23,1	26,4
Altar, Coro	1,2	16,5	19,8	23,1	26,4
Sala de comunhão - nave	1,2	6,9	8,28	9,66	11,04
Laboratórios					
para Salas de Aula	0,8	10,2	12,24	14,28	16,32
Médico/Ind./Pesq.	0,8	19,5	23,4	27,3	31,2
Lavanderia	1,2	6,5	7,8	9,1	„10,40
Museu					
Restauração	0,8	11	13,2	15,4	17,6
Sala de exibição	0,8	11,3	13,56	15,82	18,08
Oficina Mecânica	1,2	6	7,2	8,4	9,6
Quartos de Hotel	0,8	7,5	9	10,5	13
Refeitório	0,8	11,5	13,8	16,1	18,4
Restaurante- salão	1,2	9,6	11,52	13,44	15,36
Hotel	1,2	8,8	10,56	12,32	14,08
Lanchonete/Café	1,2	7	8,4	9,8	11,2
Bar/Lazer	1,2	14,1	16,92	19,74	22,56
Sala de Aula, Treinamento	1,2	10,2	12,24	14,28	16,32
Sala de espera, convivência	1,2	6	7,2	8,4	9,6
Sala de Reuniões, Conferência, Multiuso	0,8	11,9	14,28	16,66	19,04
Vestiário	0,8	8,1	9,72	11,34	12,96
Transportes					
Aeroporto – Pátio	1,2	3,9	4,68	5,46	6,24
Assentos - Espera	1,2	5,8	6,96	8,12	9,28
Terminal - bilheteria	1,2	11,6	13,92	16,24	18,56