



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARLON EDUARDO RODRIGUES

**ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE O NÍVEL DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA E OS
CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA EM
EDIFICAÇÕES DE INSTITUIÇÕES DE ENSINO**

Londrina
2010

MARLON EDUARDO RODRIGUES

**ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE O NÍVEL DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA E OS
CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA EM
EDIFICAÇÕES DE INSTITUIÇÕES DE ENSINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientadores:

Prof^a Dr^a Miriam Jerônimo Barbosa

Prof. Eneir Ghisi, *PhD*

Londrina
2010

MARLON EDUARDO RODRIGUES

**ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE O NÍVEL DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA E OS CONSUMOS DE ENERGIA
ELÉTRICA E ÁGUA EM EDIFICAÇÕES DE INSTITUIÇÕES DE
ENSINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Miriam Jerônimo Barbosa
Universidade Estadual de Londrina

Profª Drª Ana Virgínia Carvalhaes de Faria
Sampaio
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Paulo Fernando Soares
Universidade Estadual de Maringá

Londrina, 29 de junho de 2010.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa, Simone
pelos momentos em que o olhar já dizia tudo...

AGRADECIMENTO

À Deus, motivo da nossa existência...

À toda a minha família, principalmente a meus pais, pelo apoio, pelo carinho e pela alegria de tê-los ao meu lado.

Aos meus filhos por existirem e serem motivo de alegria.

Aos professores Miriam Jerônimo Barbosa, Ercília Hitomi Hirota, Enedir Ghisi e Fernanda Aranha Sáffaro pelas horas dedicadas à minha dissertação e suas inestimáveis contribuições. Que Deus os abençoe.

Aos meus companheiros de trabalho, que me auxiliaram em diversos momentos e permitiram a conclusão desta dissertação.

Ao estado do Paraná, por permitir o acesso aos dados apresentados e divulgação destas informações, especialmente à Companhia de Habitação do Estado do Paraná (Cohapar), à Secretaria de Estado de Obras Públicas do Paraná (SEOP) e à Secretaria de Estado da Educação do Paraná (SEED).

Ao Instituto Filadélfia de Londrina, Centro Universitário Filadélfia (UniFil) pelo apoio e liberação para conclusão deste mestrado.

À Cohapar, pela liberação durante todo o curso e incentivo à conclusão deste mestrado.

“Nada é pequeno onde o amor é grande”

Santa Terezinha do menino Jesus.

RODRIGUES, Marlon Eduardo. **Análise da Correlação entre o Nível de Eficiência Energética da Envolória e os Consumos de Energia Elétrica e Água em Edificações de Instituições de Ensino**. 2010. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

RESUMO

O nível de eficiência energética das edificações tem merecido destaque em estudos no Brasil e no mundo. A relação entre estes níveis e os consumos de energia e água precisa ser melhor caracterizado. O presente trabalho tem por objetivo analisar a correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória e os consumos de energia elétrica e água em edificações de instituições de ensino. A metodologia aplica as determinações do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos para se encontrar o nível de eficiência energética da envoltória. Com levantamento de projetos das edificações estudadas, levantamentos *in loco* de dados complementares, bem como estudo do consumo de energia elétrica e água se tornou possível atender às exigências para aplicação do RTQ-C. Para a análise da correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória e os consumos de energia elétrica e água foram elaborados gráficos de correlação com regressão linear. Quanto à eficiência energética das envoltórias das edificações estudadas, os resultados mostram que 30,4% destas são classificadas como nível "A", 39,2% como nível "C" e 30,4% como nível "E". As edificações com níveis "A" de eficiência energética da envoltória apresentaram consumos altos de energia elétrica e água, tanto com relação ao porte quanto às áreas edificadas. Quando correlacionados os níveis de eficiência energética da envoltória com os consumos de energia elétrica, estes tiveram valores maiores que os da correlação aos consumos de água. As correlações entre os níveis de eficiência energética da envoltória das edificações e os consumos de água e energia elétrica apresentaram valores baixos, próximos de zero, não sendo possível estabelecer entre eles uma relação direta.

Palavras-chave: Eficiência energética. Consumo de energia elétrica. Consumo de água. Envolória. Instituições de ensino.

RODRIGUES, Marlon Eduardo. **Analysis of the Correlation Between the Level of Energy Efficiency of the Envelope, and the Electric Energy and Water Consumption in Teaching Institutions Buildings**. 2010. 151 f. Dissertation (Master's Degree in Engineering of Constructions and Sanitation) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

ABSTRACT

The level of energy efficiency of buildings has been emphasized in studies in Brazil and worldwide. The relation between these levels and the energy and water consumption still has to be well characterized. The purpose of this research has for objective to analyze the correlation between the level of energy efficiency of the envelope, and the electricity and water consumption in teaching institutions buildings. The methodology uses the determinations of the Technical Regulation of the Quality for the Energy Efficiency of Commercial, Services and Public Buildings (RTQ-C) in order to find the level of the energy efficiency of the envelope. With a survey of the projects of the studied buildings, "in loco" survey of complementary data, as well as study of the conditions of electricity and water consumption it was possible to meet the requirements for the application of the RTQ-C. For the analysis of the correlation the level of energy efficiency of the envelope and the consumptions of electricity and water will be elaborated graphical of correlation with linear regression. As for the energy efficiency of the studied buildings, the results show that 30.4% of them are classified as level "A", 39.2% as level "C" and 30.4% as level "E". Schools with "A" level of energy efficiency of the envelope showed high consumption of electricity and water, as much with regard to the port how much to the built areas. When correlated the levels of energy efficiency of the envelope with the consumptions of electricity, these have bigger values that of the correlation to the water consumptions. The correlations between the levels of energy efficiency of the envelope of buildings and the water consumptions and electricity, had presented values low, next to zero, not being possible to establish between them a direct relation.

Keywords: Energy efficiency. Electric energy consumption. Water consumption. Envelope. Teaching institutions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. (ENCE)	30
Figura 2 – Foto da Escola Fossil Ridge High School Fort Collins, CO	45
Figura 3 – Localização das cidades de Arapongas (indicada em vermelho)e Apucarana (indicada em azul) no estado do Paraná.....	48
Figura 4 – Beiral com sombreamento nas aberturas do ColégioWalfredo S Correa em Arapongas	52
Figura 5 – Ângulo vertical de Sombreamento (AVS)	52
Figura 6 – Ângulo horizontal de Sombreamento (AHS).....	52
Figura 7 – Fotografias das escolas: (a) Alberto Santos Dumont,(b) Carlos Massaretto, (c) CEEBJA Prof. Linda, (d) Izidoro L Cerávolo, (e) Francisco A Souza, (f) Heitor C. A. Furtado	63
Figura 8 – Fotografias das escolas: (a) José de Anchieta, (b) Cel. Luiz José dos Santos, (c) Osmar Guaracy Freire, (d) Polivalente, (e) São Bartolomeu, (f) Marquês de Caravelas.....	64
Figura 9 – Fotografias das escolas: (a) Emílio de Menezes, (b) Francisco Ferreira Bastos, (c) Antonio Garcez Novaes, (d) Frei Graciano Droessler, (e) Ivanilde de Noronha, (f) Julia Wanderlei	65
Figura 10 – Fotografias das escolas: (a) Julio Junqueira, (b) Nadir Mendes Montanha, (c) Antonio Racanelo Sampaio, (d) Unidade Polo, (e) Walfredo S. Correa	66
Figura 11 – Modelo da ENCE parcial para a envoltória (nível A).....	88
Figura 12 – Consumo mensal de energia elétrica para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008	90
Figura 13 – Consumo mensal de energia elétrica para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008	90
Figura 14 – Consumo mensal de energia elétrica por área para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.....	91
Figura 15 – Consumo mensal de energia elétrica por área para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.....	81
Figura 16 – Consumo anual de energia elétrica para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008	93

Figura 17 – Consumo anual de energia elétrica para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008	93
Figura 18 – Consumo anual de energia elétrica por área para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008	94
Figura 19 – Consumo anual de energia elétrica por área para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008	95
Figura 20 – Consumo mensal de água em m ³ para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008	97
Figura 21 – Consumo mensal de água em m ³ para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008	97
Figura 22 – Consumo mensal de água em litros/aluno para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008	98
Figura 23 – Consumo mensal de água em litros/aluno para as escolas e Arapongas entre 2007 e 2008.....	99
Figura 24 – Consumo anual de água para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.....	100
Figura 25 – Consumo anual de água para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.....	101
Figura 26 – Consumo anual de água por área para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.....	101
Figura 27 – Consumo anual de água por área para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008	102
Figura 28 – Consumo anual de água em litros por aluno para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008	102
Figura 29 – Consumo anual de água em litros por aluno para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.....	103
Figura 30 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Energia Elétrica em kWh/m ² para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.	105
Figura 31 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Energia Elétrica em kWh/m ² para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008	106

Figura 32 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Água em m ³ /m ² para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008	106
Figura 33 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Água em m ³ /m ² para as escolas de Araçongas entre 2007 e 2008	107
Figura 34 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Água em litros/aluno para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008	107
Figura 35 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Água em litros/aluno para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008	108
Figura 36 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e a Idade dos Imóveis para as escolas de Apucarana e Araçongas	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Pesos aos requisitos do RTQ-C.....	30
Tabela 2	– Equivalentes numéricos para níveis de eficiência.....	31
Tabela 3	– Classificação Geral.....	32
Tabela 4	– Limites de transmitância das paredes externas.....	37
Tabela 5	– Limites de fator solar e de percentual de abertura zenital para coberturas.....	38
Tabela 6	– Parâmetros do IC _{máxD}	42
Tabela 7	– Parâmetros do IC _{mín}	42
Tabela 8	– Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.....	42
Tabela 9	– Relação das escolas de Apucarana e Arapongas com respectivo número de alunos e turmas e início de ocupação.....	62
Tabela 10	– Área total das edificações e área dos ambientes.....	67
Tabela 11	– Área de projeção das escolas em estudo (Ape).....	68
Tabela 12	– Área de paredes das fachadas e área de aberturas.....	69
Tabela 13	– Ângulos verticais e horizontais de sombreamento.....	70
Tabela 14	– Porcentagens de Abertura nas Fachadas total e oeste (PAF _t , PAF _o) e relação entre PAF _t e PAF _o para as escolas de Apucarana.....	72
Tabela 15	– Porcentagens de Abertura nas Fachadas total e oeste (PAF _t , PAF _o) e relação entre PAF _t e PAF _o para as escolas de Arapongas.....	72
Tabela 16	– Áreas de paredes, tipologias com suas respectivas transmitâncias e resultado de cálculo de transmitância média de paredes para as escolas de Apucarana.....	73
Tabela 17	– Áreas de paredes, tipologias com suas respectivas transmitâncias e resultado de cálculo de transmitância média de paredes para as escolas de Arapongas.....	74
Tabela 18	– Áreas de cobertura, tipologias com suas respectivas transmitâncias e resultado de cálculo de transmitância média de cobertura para as escolas de Apucarana.....	74

Tabela 19 – Áreas de cobertura, tipologias com suas respectivas transmitâncias e resultado de cálculo de transmitância média de cobertura para as escolas de Arapongas	75
Tabela 20 – Áreas totais de parede e projeção, transmitância média das paredes e das coberturas e resultado de cálculo da transmitância média da envoltória da edificação para as escolas de Apucarana.....	75
Tabela 21 – Áreas totais de parede e projeção, transmitância média das paredes e das coberturas e resultado de cálculo da transmitância média da envoltória da edificação para as escolas de Arapongas.....	76
Tabela 22 – Volume, área da envoltória, transmitância média e absortâncias médias para as escolas de Apucarana	76
Tabela 23 – Volume, área da envoltória, transmitância média e absortâncias médias para as escolas de Arapongas	77
Tabela 24 – Fator de Forma, Fator Altura e Fator Solar para as escolas de Apucarana	78
Tabela 25 – Fator de Forma, Fator Altura e Fator Solar para as escolas de Arapongas.....	78
Tabela 26 – Indicadores de consumo da envoltória e intervalo para as escolas de Apucarana	80
Tabela 27 – Indicadores de consumo da envoltória e intervalo para as escolas de Arapongas	81
Tabela 28 – Indicadores de consumo de envoltória com limites e nível estabelecido para as escolas de Apucarana	82
Tabela 29 – Indicadores de consumo de envoltória com limites e nível estabelecido para as escolas de Arapongas	83
Tabela 30 – Níveis de Eficiência Energética da Envoltória para Instituições de Ensino do município de Apucarana	86
Tabela 31 – Níveis de Eficiência Energética da Envoltória para Instituições de Ensino do município de Arapongas	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Área condicionada;
Acob	Área da projeção da cobertura;
Aenv	Área da envoltória;
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento;
ANC	Área não condicionada;
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica;
Ape	Área de projeção do edifício;
Aproj	Área de projeção da edificação;
APT	Área de permanência transitória;
Atot	Área total de piso;
AU	Área útil;
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento;
b	bonificação aplicada pelo RTQ-C;
BEN	Balanco Energético Nacional;
C.E.	Colégio Estadual;
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural;
COPEL	Companhia Paranaense de Energia;
DCI	Densidade de Carga Interna;
DPI	Densidade de Potência de Iluminação;
E.E.	Escola Estadual;
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras;
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia;
FA	Fator altura;
FF	Fator de forma;
FS	Fator Solar;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IC	Indicador de Consumo;
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial;
kWh	Kilowatt hora;

LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina;
MME	Ministério de Minas e Energia;
NBR	Normas Brasileiras;
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento;
PAFo	Porcentagem de Abertura na Fachada oeste;
PAFt	Porcentagem de Abertura na Fachada total;
PAZ	Porcentagem de Abertura Zenital;
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem (INMETRO);
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica;
PROCEL EDIFICA	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações;
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos;
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná;
SEED	Secretaria de Estado da Educação do Paraná;
SEOP	Secretaria de Estado de Obras Públicas do Paraná;
Ucob	Transmitância Térmica da Cobertura;
Upar	Transmitância Térmica da Parede;
Vtot	Volume total da edificação.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	21
1.1.1	Objetivo Geral	21
1.1.2	Objetivos Específicos	22
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	22
1.3	CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE APLICAÇÃO DO RTQ-C	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	24
2.2	REGULAMENTAÇÃO	28
2.2.1	ENVOLTÓRIA	35
2.2.2	PROCEDIMENTO DE DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA	40
2.3	ESCOLAS E CONFORTO	43
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
3	METODOLOGIA	47
3.1	INTRODUÇÃO	47
3.2	AMOSTRAGEM	48
3.3	LEVANTAMENTO DE DADOS	50
3.3.1	Levantamento de Dados para Cálculo do Nível de Eficiência Energética da Envoltória	50
3.3.2	Determinação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória	53
3.3.2.1	Indicador de consumo da envoltória	53
3.3.2.2	Transmitância, Absortância, porcentagem de abertura Zenital	56
3.3.3	Levantamento de Dados dos Consumos de Energia Elétrica e de Água	58
3.4	CORRELAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA E O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA	59
4	RESULTADOS	60
4.1	INTRODUÇÃO	60

4.2	ÁREA DAS EDIFICAÇÕES E DOS AMBIENTES, ÁREAS DE PROJEÇÃO, FACHADAS E ABERTURAS E SOMBREAMENTOS DAS ESCOLAS	65
4.3	NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA.....	69
4.3.1	Determinação das Variáveis do Nível de Eficiência Energética da Envoltória.....	69
4.3.1.1	Porcentagem de abertura nas fachadas totais e oeste e definição dos valores de PAFt E PAFo para cálculo do nível de eficiência energética da envoltória	69
4.3.1.2	Cálculo das transmitâncias médias, demonstrativo de dados para cálculo do FF, FA e FS	71
4.3.2	Indicadores de Consumo.....	77
4.3.3	Determinação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória.....	82
4.4	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA NAS ESCOLAS	86
4.4.1	Consumo de Energia Elétrica nas Escolas de Apucarana e Arapongas.....	87
4.4.2	Consumo de Água nas Escolas de Apucarana e Arapongas	94
4.5	CORRELAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA E OS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA.....	102
5	CONCLUSÕES.....	107
5.1	LIMITAÇÕES E DIFICULDADES DO TRABALHO	109
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	110
	REFERÊNCIAS.....	112
	ANEXOS.....	119
	ANEXO A – Escolas de Apucarana.....	120
	ANEXO B – Escolas de Arapongas.....	134

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica tem crescido de forma significativa, no Brasil e no mundo, principalmente em países em desenvolvimento. O consumo dos setores industrial, residencial e público apresentou um aumento significativo em 2007, indicado no Balanço Energético Nacional. Este fato tem por justificativa o aumento de renda e a ligação de domicílios antes não atendidos por redes elétricas, que apresentaram uma taxa de crescimento de consumo da ordem de 5,9% ao ano. O Balanço Energético Nacional de 2008 indica ainda que os setores comercial e público estão entre os que tiveram aumento de consumo acima da média, sendo que no público foi da ordem de 7% ao ano (BRASIL, 2008).

Embora tais fatos possam representar uma melhora sócio-econômica da população, que tem acesso a este tipo de benefício e aspectos positivos quanto à qualidade de vida, também representam aspectos negativos (ANEEL, 2009). Um deles é a possibilidade de esgotamento de recursos utilizados para obtenção e produção de energia elétrica. Outro é o impacto ao meio ambiente oriundo das produções de energia elétrica, através de hidrelétricas, pelo alagamento de extensas áreas, desapropriações de áreas rurais destinadas à agropecuária e desestabilização de ecossistemas. Também se têm os elevados investimentos em pesquisa de novas fontes de energia, bem como construção e operacionalização de novas usinas (ANEEL, 2009; SIGNOR, 1999, MENKES, 2009).

Para Signor (1999) o país não possuía folga no orçamento para investimento em geração, através de construções de hidroelétricas ou de seu parque de distribuição. No momento, este fato está sendo minimizado pelo Governo Federal Brasileiro através de aplicação de recursos do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC¹) em infra-estrutura com a construção de novas usinas geradoras de energia elétrica e de ampliação de linhas de transmissão e otimização do parque gerador já existente. O Brasil tem uma matriz de geração de origem predominantemente

¹ **Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)**, é um programa do governo federal que engloba um conjunto de políticas econômicas, planejadas para quatro anos, e que tem como objetivo acelerar o crescimento econômico do Brasil, prevendo investimentos totais de R\$ 503,9 bilhões até 2010. Tem por prioridade o investimento em infra-estrutura, em áreas como saneamento, habitação, transporte, energia e recursos hídricos, entre outros. Em energia o investimento deverá ser da ordem de 275 bilhões de reais <www.pac.gov.br>

renovável, com aproximadamente 75% da oferta sendo atendida por geração interna hidráulica (ANNEL, 2009; BRASIL, 2008).

Para diminuir esta evolução do consumo de energia elétrica, sem frear o crescimento econômico brasileiro, a proposta mais aceita trata da eficiência energética, seja dos processos construtivos, ou das edificações. Para Lamberts et al. (2007b) associar o crescimento econômico do país a um controle do crescimento do consumo de energia elétrica requer medidas de racionalização, face o consumo de energia nas edificações ter relação direta com o crescimento do PIB. A aplicação de reduções de consumo e controle como apresentado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) ou pelo Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET) são iniciativas comprovadamente benéficas aos processos construtivos, apresentando resultados em curto prazo e com pequenos investimentos.

Em consequência das iniciativas da Eco-92² e do protocolo de Kyoto³, e principalmente em virtude da crise energética de 2001 a lei 10.295⁴ (BRASIL, 2001) estabeleceu procedimentos quanto a eficiência energética das edificações, indicadores técnicos referenciais de consumo de energia e requisitos para projetos de edificações energeticamente eficientes e para um desenvolvimento sustentável. Para Lamberts et al. (2007b) a lei 10.295 de 2001 alavanca uma série de iniciativas que visam implementar parâmetros de eficiência energética em edificações (GONÇALVES; DUARTE, 2006; LAMBERTS et al, 2007b).

No estado do Paraná, dados da Companhia de Energia (COPEL) indicam que, em edificações públicas sem condicionamento artificial de ar, mais de 68% da energia elétrica é consumida em iluminação artificial de ambientes. Este consumo de iluminação se dá em parte pela insuficiência de luz natural que adentra

² **Eco-92 - Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento** (CNUMAD), realizada entre 3 e 14 de junho de 1992 no Rio de Janeiro. Com o objetivo de consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável para conscientização dos problemas relacionados ao meio ambiente. Teve como principal documento a assinatura por 156 países da AGENDA 21 que consiste num conjunto de ações e políticas a serem implantadas com o fim de promover uma nova política de desenvolvimento pautada na responsabilidades ambiental <www.mma.gov.br/agenda21>.

³ **Protocolo de Kyoto (Quioto)**- É um tratado ambiental que tem como objetivo estabilizar a emissão de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera e assim reduzir o aquecimento global e seus possíveis impactos. É considerado o tratado sobre meio ambiente de maior importância lançado até hoje. Assinado em 1997 na cidade japonesa de Quioto e aberto à adesão dos países-membro da Convenção. Antes disso, uma série de negociações já vinham sendo feitas desde a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que aconteceu em Nova York, em 1992 <www.conpet.gov.br; www.onu-brasil.org.br>

⁴ **Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001** - dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Regulamentada pelo decreto 4059 de 19 de dezembro de 2001. <www.eletobras.com.br>

aos ambientes, orientação da edificação e conseqüente falha no aproveitamento de iluminação natural (COPEL, 2006).

Para Hernandez, Burke e Lewis (2008) e Hong (2009) na Irlanda e China respectivamente, o consumo de energia está diretamente relacionado à envoltória das edificações. O conceito de redução de demanda energética para utilização em aquecimento e resfriamento parte para uma construção com critérios bem definidos na envoltória (CHLELA et al., 2009; CHUNG et al., 2009).

Hernandez, Burke e Lewis (2008) aplicaram um questionário em 500 escolas na Irlanda coletando detalhes construtivos, atividades desenvolvidas nestas edificações e uso de energia. Nas construções foram levantados detalhes de projeto e especificações de paredes, coberturas, janelas e portas. Como dados gerais foram levantados o número de alunos, formas de aquecimento, ventilação e iluminação. Estes dados permitiram desenvolver uma referência para simulação e procedimento de cálculo da eficiência energética e avaliar o consumo de energia utilizada nas edificações. Eles chegaram a um indicador de eficiência energética da ordem de 53kWh/m² em simulações e a partir de dados de edificações reais da ordem de 31kWh/m². Concluíram que calculando o indicador de eficiência energética em uma simulação e de forma real pode gerar diferenças sendo necessário um maior cuidado na coleta e análise de dados e considerações mais apuradas quanto às atividades desenvolvidas e ocupação destas edificações.

Hong (2009) trata de uma comparação entre as normas chinesas de eficiência energética e a norma americana. Este trabalho observa edificações públicas, análogas às americanas, que incluem também as escolas, e que podem através da aplicação das normas, analisando a envoltória gerarem uma economia do consumo de energia. Concluiu que a norma chinesa não é tão abrangente e detalhista quanto a americana, sendo necessário uma revisão da norma de seu país. Seu trabalho se torna relevante quanto à metodologia e referências de eficiência energética.

Santamouris et al. (2007) mostram a qualidade global de eficiência energética e classificação de ambientes escolares, através de levantamento em 320 escolas na Grécia, mostrando também uma relevância da observação do ambiente construído e sua relação com o consumo de energia. Os dados foram obtidos através do órgão responsável por este controle no país. Em paralelo, dados quanto ao período de utilização, número de estudantes, características construtivas e

equipamentos instalados foram obtidos junto aos administradores escolares. A partir destes dados criaram um método de referência e classificação em eficiência energética das edificações escolares a partir de técnicas de agrupamento⁵.

Chung et al. (2009) fazem uma relação entre envelope da edificação e o ganho de calor no consumo de energia em ventilação e mecanismos para condicionamento de ar. Eles utilizam um levantamento de Yu e Chow efetuado em 2005 com verificação da eficiência energética de vinte edificações comerciais em Hong Kong. Uma redução do consumo de energia nos anos de 2001 a 2006, decorrente de um programa de efficientização energética na década anterior, é a principal conclusão deste estudo.

Chlela et al. (2009) por sua vez tratam de simulação dos parâmetros de conforto, tais como térmico, orientação da edificação, aberturas e áreas envidraçadas, tipologias de janelas, envoltória, entre outras. Este trabalho têm por objetivo levantar uma metodologia para projetos de baixo consumo energético baseado no método DOE (Design of Experiments)⁶. Como conclusão chegam a uma meta-modelagem que permite simular projetos com o intuito de otimizar soluções para envelopes de edificações bem como de condicionamento artificial de ar.

A partir do plano de ação para eficiência energética em edificações, as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações do Brasil são definidas. A relevância deste trabalho, portanto, está em aplicar o regulamento técnico de eficiência energética (RTQ-C) aos prédios já construídos e em uso contínuo da rede de ensino do estado do Paraná. Esta aplicação tem como ponto principal verificar os níveis de eficiência energética da envoltória das edificações. Pretende-se mostrar ao final, sob a ótica do RTQ-C, a real condição destes edifícios. Junto a isto, os levantamentos de consumos de água e energia elétrica servirão como parâmetros de correlação para os níveis de eficiência energética e a situação das edificações de instituição de ensino.

⁵ Técnica ou Análise de Agrupamentos, primeiramente usado por (Tyron, 1939) na realidade comporta uma variedade de algoritmos de classificação diferentes, todos voltados para uma questão importante em várias áreas da pesquisa: *Como organizar dados observados em estruturas que façam sentido, ou como desenvolver taxonomias capazes de classificar dados observados em diferentes classes*. Considera-se inclusive, que essas classes devem ocorrer "naturalmente" no conjunto de dados. A Análise de Agrupamentos é na verdade uma coleção de diferentes algoritmos que *agrupam objetos*. Utiliza-se métodos de análise de agrupamentos quando não se possui nenhuma hipótese *a priori* sobre a estrutura ou comportamento dos dados. Disponível em <<http://www.inf.ufsc.br/~patrec/agrupamentos.html>>. Acesso em 28 de março de 2010.

⁶ DOE (Design of Experiments): método de análise quando há variação de resultados, considerado um ramo da estatística. Tem uma longa história de desenvolvimento teórico e aplicação. (CHLELA, 2009).

Com estas considerações iniciais, esta dissertação tem como tema principal a correlação da eficiência energética da envoltória em edificações destinadas a instituições educacionais estaduais do interior do Paraná e os consumos de água e energia elétrica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória e os consumos de energia elétrica e água em edificações de instituições de ensino.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- Aplicar o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C (BRASIL, 2009), determinando o nível de eficiência energética da envoltória em edificações educacionais estaduais, no norte do Paraná, mais precisamente nos municípios de Arapongas e Apucarana;
- Levantar o consumo de energia elétrica nas edificações educacionais em estudo, através de dados fornecidos pelas instituições responsáveis;
- Levantar o consumo de água nas edificações educacionais em estudo, através de dados fornecidos pelas instituições responsáveis.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. O capítulo um, inicia com uma introdução, fazendo uma caracterização do problema e apresentando os objetivos. Traz ainda considerações iniciais relevantes ao tema e metodologia proposta neste trabalho.

O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica no que se refere à eficiência energética da envoltória dos edifícios. Também faz referência à regulamentação brasileira sobre eficiência energética e a influência deste tema e as características construtivas das edificações estudadas. Trata ainda das escolas e sua relação com a eficiência energética.

No terceiro capítulo é descrito o método empregado a partir dos dados exigidos pelo Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C (BRASIL, 2009) com as coletas de dados *in loco* e dados de projetos. Detalha ainda o levantamento necessário para correlação com os consumos de energia elétrica e água nas escolas, objetos deste trabalho.

O capítulo quatro mostra o resultado da aplicação, o resultado da análise individual de cada escola bem como o resultado do nível de classificação mediante a análise da eficiência energética das envoltórias das edificações e a correlação com os consumos de energia elétrica e água.

Por último, o capítulo cinco apresenta as conclusões, as considerações finais as delimitações do trabalho, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

1.3 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE APLICAÇÃO DO RTQ-C

Por ocasião dos levantamentos foram observadas as exigências do RTQ-C (BRASIL, 2009). As características das envoltórias, a presença ou não de ambientes condicionados artificialmente e a tipologia das instalações elétricas.

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE (Figura 1) é dada para três sistemas de forma individual (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) e para o edifício completo. Como nenhuma escola tem aparelhos de ar condicionado, foi de entendimento que a etiquetagem para sistema individual de condicionamento de ar e conseqüentemente para edificação completa não poderiam ser aplicadas a estas edificações.

Nos sistemas restantes, envoltória e iluminação foram avaliadas as exigências do RTQ-C (BRASIL, 2009). Para iluminação, itens como acendimento de luminárias separadas por ambientes, que também é condição primordial para aplicação do regulamento, na etiquetagem no quesito elétrico, foi considerada não aplicável. Portanto, não poderia ser considerada a aplicação da ENCE parcial para o sistema de iluminação.

O item que foi considerado passível de aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2009), seria o sistema individual da envoltória. Este pode receber uma etiqueta (ENCE) parcial para um sistema individual, não caracterizando a ENCE completa. Esta, portanto, foi a consideração principal para objeto deste trabalho.

O RTQ-C (BRASIL, 2009), quando aborda o nível de eficiência energética, faz referência às áreas de curta permanência que não são consideradas para análise da envoltória. Optou-se neste trabalho, face tais áreas terem uma utilização por um grande número de usuários utilizá-las. Outra consideração, ainda, é sobre a simulação de que os ambientes de permanência prolongada estão sujeitos. É obrigatório apresentar simulação, comprovando as horas de conforto, que se optou por não fazer, face o tamanho da amostra, as áreas das edificações, bem como sua complexidade. Usou-se o método prescritivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Uma das formas mais adequadas e mais aceitas, atualmente, para conter a expansão do consumo sem comprometer a qualidade de vida e desenvolvimento econômico, tem sido o estímulo ao uso eficiente de energia e do consumo de água. Hong (2009) salienta que a eficiência energética nas edificações está entre os 10 programas chaves, na China, para objetivar a melhoria e diminuição de emissão de poluentes no plano de cinco anos (2006-2010). No Reino Unido, Alemanha, Canadá, França, Portugal, China, Hong Kong, Taiwan, Espanha, Itália e Estados Unidos, só para citar alguns exemplos, iniciativas de controle e efficientização de edificações estão sendo tratados com muita atenção.

Conforme Erhorn et al. (2008) no Fórum para Construções do Futuro, a análise das edificações dos países participantes durante seis anos mostrou que decisões de projeto e ferramentas para construção adequada podem levar a uma diminuição do consumo de energia. Os objetivos definidos pelo fórum para esta análise pelos países participantes foram: (i) prover ferramentas e um guia para os responsáveis pelas tomadas de decisão e projetistas para aperfeiçoamento do ensino e aprendizagem do ambiente educacional para a eficiência energética; (ii) recomendar como se deve operar nos processos de *retrofit*; (iii) fomentar medidas de custo para implantação de sistemas de eficiência; (iv) dar suporte aos responsáveis pelas tomadas de decisão para avaliar qual metodologia de eficiência adquirir.

Os procedimentos dos trabalhos foram:

- coletar estudos de caso e as condições das edificações existentes;
- identificar requisitos funcionais;
- definir os tipos das edificações;
- investigar soluções existentes (sistemas, custos) incluindo análises dos estudos de casos;
- rever guias existentes;

- definir os pontos de medições de energia (nacionais e locais da edificação);
- definir parâmetros de critérios decisivos;
- identificar lacunas funcionais no conhecimento e apropriar soluções.

Os participantes do fórum, conforme Erhorn *et al.* (2008), foram Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Itália, Noruega, Polônia, Reino Unido e Estados Unidos da América.

Nestes países, através de órgãos de eficiência energética vinculados ao governo, como para os Estados Unidos o *Energy Efficiency and Renewable Energy* - EERE subordinado ao Departamento de Energia – DOE mantém incentivos fiscais e financeiros de controle e economia de energia. O orçamento da EERE para o biênio 1998/2000 foi de US\$ 1 bilhão e 236 milhões (MENKES, 2009).

Na França, a agência que regula e gerencia a energia e o meio ambiente (ADEME) tem objetivos traçados até 2010 de desenvolver ferramentas, materiais e equipamentos que reduzam o consumo de energia. Estes objetivos englobam desde o projeto, passando pelo ciclo de vida com novas tecnologias de iluminação, ventilação, acústica e uso dos espaços. Também deverão ser desenvolvidas novas técnicas para compatibilização entre os processos de projeto e produção e manutenção. Estes critérios, ou técnicas têm por objetivo fazer com que até 2030 as informações sejam difundidas com êxito para a implantação de construções de alto desempenho e com tecnologias de construções de baixo custo e com utilização de energias não poluentes (ADEME, 2009).

Conforme Chlela *et al.* (2009), na França, o intuito é de estabelecer critérios para projetos de edificações com baixo consumo energético, através da análise das envoltórias e fazer um vínculo entre estas informações e as regiões climáticas e os equipamentos utilizados. Para tanto, foram feitas avaliações de um projeto de edificação educacional padrão para seu país e simulado em condições adversas para três regiões, Agen, Nancy e Nice, clima temperado, clima frio e clima quente, respectivamente, onde foram avaliadas as condições da envoltória.

No Reino Unido, a recomendação é de utilização de materiais que diminuam as taxas de emissão de carbono e consumam menos energia, pois, são mais eficientes. O Departamento de Assunto Para o Meio Ambiente, Alimentação e Agricultura (DEFRA) do Reino Unido especificam critérios para manufatura,

equipamentos e tecnologia, para incentivo, monitoramento automático de equipamentos, condicionamento de ar, iluminação, ventilação entre outros.

Na Argentina, Larsen, Filipin e Beascochea (2008) colocam que aproximadamente 50% do consumo de energia é gasto em equipamentos de condicionamento de ar. Destacam-se os mecanismos que permitem obter uma diminuição de consumo com aplicação de técnicas bioclimáticas e a alteração do padrão de consumo dos usuários. Mesmo tratando-se de edificações residenciais, estas análises são relevantes para a verificação da interferência da envoltória no consumo de energia.

Na Espanha, Casals (2006) discute sobre a análise da regulamentação e certificação da energia das edificações, além de serem observadas as emissões de poluentes. Em sua metodologia, foi possível, a partir de um estudo de caso na Espanha, verificar que dados incorretos podem invalidar a análise do processo de eficiência. Conclui que as considerações de uso de energia e a análise do ciclo de vida de cada edificação devem ser incluídas nos esquemas de regulamentação e certificação para torná-los mais sustentáveis.

Segundo Corgnati, Corrado e Filippi (2008), na Itália, a Lei 10/1991 que estabelece o plano energético nacional para desenvolvimento da economia de energia e desenvolvimento do uso de energias renováveis, além do método proposto pelo Comitê Europeu de Certificação em 2005 pode ser usado para certificação e otimização do uso da energia. Observam que pode ser traçada uma metodologia para projeto e modelagem de edifícios através do consumo das edificações atuais. Em seu trabalho, eles avaliam a localização geográfica das edificações, dados geométricos (área, volume), dados de graus dia, tipo de energia utilizada, consumo de energia pelo aquecimento proporcionado e duração de aquecimento pelo período. Avaliaram 138 edificações sendo 117 escolas de segundo grau e 12 escolas de guardas municipais de Torino na província de Torino, Itália, região de inverno frio e seco e verão quente e úmido. Concluíram que a aplicação de uma metodologia, por um período longo, em um grande número de edificações semelhantes, pode ser adequada para compor dados para contratos futuros de serviços energéticos.

Em Hong Kong, Chan e Yung (2005) e Chung e Hui (2009) observaram o Código para Conservação de Energia de 2001. Este código sugere maiores controles para edificações novas, com maior rigidez nos critérios de

aprovação e gerenciamento das edificações para futura economia em gastos energéticos.

No Brasil, no que se refere à energia elétrica, esse estímulo tem sido aplicado de maneira sistemática desde 1985, quando o Ministério de Minas e Energia (MME) criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), de âmbito nacional e coordenado pela Eletrobrás. Em 1993, em colaboração com o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), foi lançado o selo Procel, que ganhou expressividade a partir do racionamento de 2001, como consequência da crise de energia no país (ANEEL, 2009; LAMBERTS *et al.*, 2007b).

Em 2003 foi lançado o Procel EDIFICA especialmente voltado à Eficiência Energética das Edificações aliada ao conforto ambiental. Ao se utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção inicial do projeto, a economia pode superar 50% do consumo, comparada com uma edificação concebida sem uso dessas tecnologias. Uma das metas do programa Procel EDIFICA, remete ao apoio à implantação da Regulamentação da Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001) no que tange às edificações brasileiras (ELETROBRÁS, 2009; LAMBERTS *et al.*, 2007b).

O potencial de conservação de energia pode chegar a 30% para edificações já existentes, se aplicadas as recomendações do regulamento em um processo de *retrofit*. De acordo com o programa, a energia elétrica consumida no Brasil em 2008, segundo a ANEEL foi de cerca de 393 bilhões de kWh (ELETROBRÁS, 2009).

Para Menkes (2009) não há indícios de que haja diminuição da demanda energética, pelo menos no curto prazo. Programas e ações em eficiência energética possuem um papel relevante nas políticas de diminuição dos impactos ambientais, causados pela produção e consumo de energia.

2.2 REGULAMENTAÇÃO

O Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C (BRASIL, 2009) aprovado pela Portaria Inmetro nº 163 de 08 de junho de 2009, especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para a classificação de edifícios quanto à eficiência energética. O texto da regulamentação foi desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) para a Eletrobrás no âmbito do programa Procel EDIFICA (LAMBERTS *et al.*, 2007b).

O RTQ-C trata somente de edifícios comerciais, de serviços e públicos não observando edificações residenciais. A concessão da etiqueta de eficiência, aos moldes da etiqueta Procel de eletrodomésticos, pode ser realizada nas diferentes fases do empreendimento. Para uma edificação existente, classifica a mesma e dá condições às possibilidades de melhoria e adaptações, mostrando os pontos que deverão ser melhorados. Para edificação a ser executada ou projeto de nova edificação, a regulamentação classifica o projeto e norteia as partes do mesmo que deverão sofrer intervenções para se adequar à legislação possibilitando, assim, sua total adequação à regulamentação e futura etiquetagem. O objetivo é criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos.

O RTQ-C aplica-se a edifícios com área total útil mínima de 500 m². Edifícios de uso misto, tanto de uso residencial e comercial como de uso residencial e de serviços ou de uso residencial e público, deve ter suas parcelas não residenciais avaliadas separadamente caso estas, exclusivamente, ultrapassem os 500 m². Também se aplica aos edifícios com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV (subgrupos tarifários A1, A2, A3, A3a, A4 e AS), incluindo edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados (BRASIL, 2009; COPEL, 2005).

A etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória, à eficiência da potência instalada do sistema de iluminação e à eficiência do sistema de condicionamento do ar. Além destes, há uma opção alternativa de classificação através da simulação computacional do desempenho termoenergético de um modelo do edifício proposto

para ser etiquetado, que é o caso principalmente dos edifícios em projeto. Partes dos edifícios podem também ter classificação parcial do nível de eficiência referente a cada sistema individual (envoltória⁷, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar), avaliados, porém separadamente.

Nestes casos, as parcelas a serem classificadas devem ser:

- para classificação da envoltória, o nível de eficiência energética deve ser estabelecido para a edificação completa;
- para classificação do sistema de iluminação, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas;
- para classificação do sistema de condicionamento de ar, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas.

Na primeira versão do regulamento, somente a edificação composta pelos três itens (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) poderia ser etiquetada. Uma nova versão foi editada em 2009 e novos regulamentos foram estabelecidos, permitindo a etiquetagem parcial de cada sistema.

Para obter a classificação geral do edifício, as classificações por requisitos devem ser avaliadas, resultando numa classificação final. Devem-se avaliar os três itens e, a partir destes, uma avaliação do edifício será efetuada.

Para isso, pesos são atribuídos para cada requisito e, de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação que também varia de **A** (mais eficiente) a **E** (menos eficiente) apresentada na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) (Figura 1).

⁷ A **Envoltória** compreende os planos externos da edificação, compostos por fachadas, empenas, cobertura, brises, marquises, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem (BRASIL, 2009). Alguns textos ainda se referem à envoltória como envelope como no texto inicial do RTQ-C, sendo também comum em alguns textos internacionais como Chung *et al.* (2009), Lee, (2008), Chlela *et al.* (2009), Hong (2009) e Erhorn *et al.* (2008).

utilizados para avaliação do edifício como um todo e gerará uma pontuação semelhante.

Tabela 2 – Equivalentes numéricos para níveis de eficiência.

Níveis	Equivalentes Numéricos
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Brasil (2009).

No caso de edifícios que possuam áreas não condicionadas, deve-se observar o seguinte para a análise do requisito da envoltória dessas áreas:

- áreas de curta permanência, tais como circulação, depósitos, banheiros: não são consideradas para a análise da envoltória pelo RTQ-C, porém foram abordados neste trabalho pela quantidade de usuários nas escolas;
- áreas de permanência prolongada, tais como lojas, escritórios, áreas de trabalho: é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas.

A classificação geral do edifício é calculada de acordo com a pontuação de cada requisito e a distribuição dos pesos através da equação 1.

$$PT = 0,30 \left\{ \left(EqNumEnv. \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30 \cdot (EqNumDPI) + \\ + 0,40 \left\{ \left(EqNumCA. \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b_0^1$$

Eq 1

Onde:

PT é a pontuação obtida;

EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI é o equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, Densidade de Potência de Iluminação;

EqNumCA é o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

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

APT é a área de piso dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC é a área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;

AC é a área de piso dos ambientes condicionados;

AU é a área útil;

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

Os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada requisito são obtidos na Tabela 2. O número de pontos obtido na equação 1 irá definir a classificação geral da edificação, mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação Geral.

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

Fonte: Brasil (2009)

As classificações parciais e a final são apresentadas na ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Somente um edifício com classificações “A” nos três requisitos parciais: envoltória, iluminação e condicionamento de ar está em condições de obter o Selo Procel, não impedindo de receber a etiqueta (ENCE) com sua classificação.

Permite-se, ainda, bonificação para iniciativas que aumentem a eficiência da edificação, para tanto, essas iniciativas deverão ser justificadas, e a economia gerada deve ser comprovada. Essas bonificações podem ser:

- sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água tais como economizadores de torneira, sanitários com sensores, aproveitamento de água pluvial que devem proporcionar uma economia mínima de 20% no consumo anual de água do edifício, considerando práticas correntes de dimensionamento;
- edifícios com atividades como restaurantes, hotéis, hospitais e outros que tenham demanda de água quente em suas instalações e que utilizarem aquecimento solar de água devem provar atendimento com uma fração de uso de energia solar igual ou superior a 60%;
- energia eólica ou painéis fotovoltaicos devem proporcionar uma economia mínima de 10% no consumo anual de energia elétrica do edifício;
- sistemas de cogeração devem proporcionar uma economia mínima de 30% no consumo anual de energia elétrica do edifício;
- inovações técnicas ou de sistemas que comprovadamente aumentem a eficiência energética da edificação, proporcionando uma economia mínima de 30% do consumo anual de energia elétrica.

As escolas não atenderam nenhum destes requisitos, porém estes só seriam abordados e considerados quando da aplicação da etiquetagem completa.

Gonçalves e Duarte (2006) chamam isto de indicadores de sustentabilidade com critérios de desempenho e complexidade. Como exemplo, indicadores de sustentabilidade foram utilizadas no edital do concurso de arquitetura do centro de pesquisas da Petrobrás, em 2004, no Rio de Janeiro e chamadas de ecoeficiência com caráter eliminatório no edital, dado sua importância.

Economias de mais de um item, menores que os mínimos exigidos, podem ser combinados. Com isto objetivam-se alcançar, proporcionalmente, os percentuais exigidos para obtenção da bonificação.

Além dos requisitos descritos no RTQ-C, para o edifício ser elegível à etiquetagem, devem-se cumprir as seguintes condições mínimas:

- possuir circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final: iluminação, sistema de condicionamento de ar e outros. Caso este item não seja atendido, o nível de eficiência do edifício será no máximo C. Hotéis, desde que possuam desligamento automático para os quartos, edificações com múltiplas unidades autônomas de consumo e edificações construídas anteriormente à publicação do RTQ-C são consideradas exceções.

Para o edifício atingir uma classificação “A” alguns requisitos mínimos devem ser cumpridos:

- se houver demanda para uso de sistema de água quente, deve-se utilizar aquecimento solar de água com coletor e reservatório térmico com classificação “A”, segundo regulamento específico do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE/INMETRO, ou utilizar bomba de calor ou aquecimento por reuso de calor ou ainda utilizar aquecedores a gás individuais com classificação “A”, segundo regulamento específico do PBE/INMETRO;
- quando usar aquecimento solar de água, deve-se utilizar o máximo aproveitamento dentro da área de coleta possível;
- caso o edifício possua mais de um elevador, dever-se-á utilizar, obrigatoriamente, controle inteligente de tráfego para elevadores de uma mesma finalidade em um mesmo *hall*;
- bombas de água centrífugas, quando utilizadas, devem fazer parte do PBE/INMETRO.

Além dos pré-requisitos gerais - Envoltória, Iluminação, Condicionamento de Ar e Simulação; há pré-requisitos específicos que devem ser atendidos de acordo com os critérios de cada item. Caso nenhum dos pré-requisitos seja atendido no seu respectivo item, o equivalente numérico deverá seguir a seguinte classificação do nível de eficiência, podendo ser apenas:

- Envoltória: somente “E”;
- Iluminação: máximo “D”;
- Condicionamento de ar: máximo “B”;
- Simulação: não poderá ser efetuada.

No caso de uso do item Simulação, depois de atendido o item e encontrada a eficiência, os seguintes pré-requisitos devem ser cumpridos no edifício:

- pré-requisitos gerais;
- pré-requisitos específicos de iluminação de acordo com o nível de eficiência alcançado; e
- pré-requisito específico de condicionamento de ar.

2.2.1 Envoltória

A envoltória, pela análise do RTQ-C, tem relação direta com a parte de conforto e da sustentabilidade da edificação. Pelos critérios de restrição aos primeiros quatro níveis (“A”; “B”; “C”; “D”), por relação direta com a absorvância, torna-se extremamente relevante o estudo de tal informação. Levantamento de dados e verificação de absorvância e transmitância devem ser, portanto, considerados.

Para Carlo (2009), as características da envoltória que podem influenciar nos ganhos de calor são as cores de fechamentos horizontais e verticais. Também as propriedades térmicas de materiais e componentes como vidros, paredes e coberturas têm relação direta com esta influência. A exposição ao ambiente externo, a ausência de sombreamento ou o contato de grandes superfícies do edifício com o exterior, também são relevantes e deverão ser observadas.

Nogueira e Nogueira (2003) complementam que quando se faz um projeto para construção de uma edificação deve-se atentar para o tipo de material empregado, seja nos pisos, paredes, revestimentos, coberturas ou outras aplicações dos materiais. Baseando-se nesses materiais e num estudo detalhado do conforto térmico, segundo eles, será possível conseguir uma edificação com perfeitas condições de conforto ambiental para os futuros usuários que venham a utilizá-la.

Para Lamberts *et al.* (2007a) o emprego de padrões arquitetônicos adequados, a especificação de produtos e materiais energeticamente eficientes e a adequação de critérios de projetos racionais permitem reduções significativas no consumo de energia. Observam ainda que estas soluções eficientes quando

combinadas com o uso de equipamentos eficientes podem gerar diferentes níveis de eficiência.

Não é possível maximizar os quatro confortos (térmico, lumínico, acústico e funcional) e sim encontrar um conjunto de soluções. Técnicas que possam ser utilizadas para prover uma melhor eficiência o uso dos equipamentos e instalações e que reduzam a necessidade do uso contínuo de condicionamento artificial. Estudo realizado em escolas da rede estadual de São Paulo demonstra que a análise dos parâmetros de conforto ambiental deve ser mais abrangente para aplicação nos projetos (GRAÇA e KOWALTOWSKI, 2004; LOUREIRO, 2003).

O Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C (BRASIL, 2009) avalia as transmitâncias térmicas, a absorptância, sombreamentos e as aberturas. Dados relativos a estas avaliações são utilizados para caracterizar as necessidades a serem atendidas para a eficiência da edificação, o que demonstra que as propriedades dos materiais e técnicas aplicadas à construção são relevantes à eficiência.

Ainda, observa-se que nas aberturas, o aumento de proteções, resulta em bloqueio de luminosidade natural e, portanto, aumenta a necessidade de iluminação artificial, elevando o consumo de energia elétrica. Este aumento está vinculado aos padrões tecnológicos e de eficiência energética de arquitetura, clima local, atividade e característica desta edificação. Edificações estas influenciadas pela densidade de usuários necessitando, portanto, de ventilação e condicionamento de ar artificial o que agrava os gastos de energia e aumenta o aquecimento interno (COSTA, 2007; FONSECA; COSTA; KRÜGER, 2008; COPEL, 2006).

Para Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) grandes aberturas podem não promover eficiência energética em ambientes condicionados artificialmente. A garantia da vista exterior deve ser avaliada em função de outras informações e atributos da edificação tais como profundidade, geometria e até latitude e localização geográfica da edificação. Em seu trabalho, foi concluído que ambientes de menor profundidade para aproveitamento de luz natural não são energeticamente eficientes, quando artificialmente condicionadas e com integração da iluminação natural com a artificial. Ambientes de maior profundidade tem melhor resposta às condições de eficiência nestes casos.

Como observado, várias são as informações necessárias para avaliação correta de uma edificação, não sendo diferente no regulamento para definição do nível de eficiência energética da envoltória. Para classificação do nível de eficiência da envoltória, além do exigido, deverão ser atendidos certos requisitos nas edificações. Para os níveis de eficiência leva-se em consideração a transmitância térmica referenciando-se ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro⁸, bem como a absorvância de paredes e coberturas.

Para o nível de eficiência “A” para qualquer Zona Bioclimática, a transmitância térmica da cobertura de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar 1,0 W/m²K, e para ambientes não condicionados, não deve ultrapassar 2,0 W/m²K. Para as paredes externas a transmitância térmica não deve ultrapassar os limites estabelecidos na Tabela 4, de acordo com sua Zona Bioclimática. A transmitância térmica a ser considerada é a média ponderada das transmitâncias de cada parcela, de cobertura, e de paredes externas, pelas áreas que ocupam.

Tabela 4 – Limites de transmitância e capacidade térmica das paredes externas.

Zonas Bioclimáticas	Transmitância Térmica Máxima	Capacidade Térmica das Paredes
	[W/(m ² .K)]	[kJ/(m ² .K)]
1 a 6	3,7	---
7 e 8	2,5	≤ 80
	3,7	> 80

Fonte: Brasil (2009)

A observação das zonas bioclimáticas, também é considerada em outros países como na China, Taiwan, França, Grécia e Hong Kong, aliando este zoneamento a temperaturas e fatores climáticos regionais e ainda ao georeferenciamento (HONG, 2009; LEE, 2008; SANTAMOURIS *et al.*, 2007; CHUNG; HUI, 2009; PEDRINI; SZOKOLAY, 2005).

O RTQ-C (BRASIL, 2009), ainda apresenta exceções ao item de superfícies opacas (paredes vazadas, pórticos ou placas perfuradas) à frente de aberturas envidraçadas nas fachadas (paralelas aos planos de vidro), formando

⁸ Zoneamento Bioclimático Brasileiro ou Zona Bioclimática é estabelecido na NBR 15220 - Parte 3 (ABNT, 2005)

elementos de sombreamento. Estas superfícies devem estar fisicamente conectadas ao edifício e a uma distância até o plano envidraçado inferior a uma vez a altura de seu maior vão. Este afastamento entre os planos deve possuir proteção solar horizontal como beiral ou marquise.

Quanto às cores e absorvância de superfícies, para as Zonas Bioclimáticas 2 a 8, deve-se utilizar materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa com α menor que 0,4 (cores claras). Para coberturas não aparentes, devem-se utilizar cor de absorvância solar baixa, com α também inferior a 0,4 ou telhas cerâmicas esmaltadas ou ainda teto jardim. A absorvância solar a ser considerada é a média das absorvâncias de cada parcela da fachada (ou cobertura) ponderadas pela área que ocupam.

No caso de existência de aberturas zenitais, a edificação deve atender ao fator solar máximo do vidro ou do sistema de abertura para os respectivos Percentuais de Abertura Zenital (PAZ) de acordo com a Tabela 5. Para as edificações com percentuais de abertura zenital maiores que 5%, pretendendo alcançar classificação “A” no edifício completo, deve-se utilizar simulação computacional. Não é feita referência quanto às aberturas zenitais para obtenção dos demais níveis de eficiência.

Tabela 5 – Limites de fator solar e de percentual de abertura zenital para coberturas.

PAZ	0 a 2%	2,1 a 3%	3,1 a 4%	4,1 a 5%
FS	0,87	0,67	0,52	0,30

Fonte: Brasil (2009)

Para o nível de eficiência energética para etiquetagem “B” para qualquer Zona Bioclimática, a transmitância térmica da cobertura de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar 1,5 W/m²K e para ambientes não condicionados, não deve ultrapassar 2,0 W/m²K. A transmitância térmica das paredes externas, também em relação ao zoneamento bioclimático, deve atender aos limites da Tabela 4. A exceção também é válida com as superfícies opacas à frente de aberturas envidraçadas nas fachadas (paralelas aos planos de vidro), formando elementos de sombreamento que devem estar fisicamente conectadas ao edifício e a uma distância até o plano envidraçado inferior a uma vez a altura de seu

maior vão. Este afastamento entre os planos deve possuir proteção solar horizontal como beiral ou marquise.

Quanto à absorvância de superfícies e cores são obrigatórios os mesmos pré-requisitos para as Zonas Bioclimáticas 2 a 8 que os referidos no nível de eficiência “A”. Utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa, com α inferior a 0,4 (cores claras). Em coberturas não aparentes, devem-se utilizar cor de absorvância solar baixa, também com α inferior a 0,4 ou telhas cerâmicas esmaltadas ou ainda teto jardim. A absorvância solar a ser considerada é a média das absorvâncias de cada parcela da fachada (ou cobertura) ponderadas pela área que ocupam.

Com relação aos níveis “C” e “D” os componentes opacos (paredes e coberturas) devem possuir transmitâncias térmicas máximas de 2,0 W/m²K para qualquer ambiente ou Zona Bioclimática. A transmitância térmica das paredes externas deve atender à Tabela 4 para as respectivas zonas bioclimáticas. Também a exceção é válida quanto às superfícies opacas (paredes vazadas, pórticos ou placas perfuradas) à frente de aberturas envidraçadas nas fachadas (paralelas aos planos de vidro), formando elementos de sombreamento que devem estar fisicamente conectadas ao edifício e a uma distância até o plano envidraçado inferior a uma vez a altura de seu maior vão. Este afastamento entre os planos também deve possuir proteção solar horizontal como beiral ou marquise.

2.2.2 Procedimento de Determinação da Eficiência

Este método de classificação de eficiência da envoltória se baseia em um indicador de consumo obtido através de equações específicas para este indicador. O RTQ-C (BRASIL, 2009) estabelece duas equações por Zona Bioclimática, uma representando edifícios com área de projeção (A_{pe}) menor que 500 m², e a segunda para edifícios com área de projeção maior que 500 m². No desenvolvimento das equações do indicador de consumo, algumas zonas bioclimáticas (ZB) foram agrupadas, sendo representadas pela mesma equação. São elas ZB2 e ZB3; ZB4 e ZB5; ZB6 e ZB8.

As equações para Ape maiores de 500 m² são válidas para um Fator de Forma mínimo permitido (A_{env}/V_{tot}). As equações para Ape menor que 500 m² são válidas para um Fator de Forma máximo permitido (A_{env}/V_{tot}). Acima ou abaixo desses, deve-se utilizar os valores limites.

Os ângulos de sombreamento devem ser usados com valor máximo de 45°, sendo que proteções solares cujos Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) e Ângulos Horizontais de Sombreamento (AHS) são superiores a este limite, adotar 45°. Esta exigência não determina o dimensionamento das proteções solares. Elas devem ser projetadas para evitar o sobreaquecimento dos ambientes internos, considerando as necessidades de sombreamento específicas do edifício, as condições sazonais do clima local (trajetória solar e temperaturas) e a orientação de cada fachada. Pedrini e Szokolay (2005) e Atem e Basso (2005) tratam do assunto como recomendação em simulações de projetos e na eficiência das proteções já projetadas e executadas.

O Indicador de Consumo referente à envoltória do edifício proposto deve ser calculado com as equações de acordo com a cidade e Zona Bioclimática onde o edifício está inserido. A partir das informações retiradas do zoneamento bioclimático brasileiro - parte 3, Apucarana e Arapongas pertencem ao zoneamento bioclimático 3.

Alguns autores como Carlo, Ghisi e Lamberts, 2003; Carlo, 2009; Pedrini e Lamberts, 2003; Signor; Westphal e Lamberts, 2001, fazem referência quanto aos sombreamentos e interferências destes, sem referência direta às edificações vizinhas. Somente há consideração para utilização no RTQ-C (BRASIL, 2009) em simulação e quando for para verificação do nível de eficiência no edifício real.

Para a zona bioclimática 2 e 3 considera-se que edificações com mais de 500m² de área construída, que é o caso de todas as edificações em estudo, deverão ter indicador de consumo avaliado a partir da equação 2.

$$IC_{env} = -14,14 FA - 113,94 FF + 50,82 PAF_T + 4,86 FS - 0,32 AVS + 0,26 AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54 PAF_T AHS + 277,98$$

Eq 2

Onde as variáveis são:

IC: Indicador de Consumo (adimensional);

Ape: Área de projeção do edifício (m²);

Atot: Área total de piso (m²);

Aenv: Área da envoltória (m²);

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento, entre 0 e 45° (graus);

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento, entre 0 e 45° (graus);

FF: (Aenv/ Vtot), Fator de Forma (m²/m³);

FA: (Ape/ Atot), Fator Altura (adimensional);

FS: Fator Solar (adimensional);

PAF_T: Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional, para uso na equação);

Vtot: Volume total da edificação (m³).

Na equação, o Percentual de Área de Abertura na Fachada total (PAF_T) corresponde a um valor médio representativo do percentual de aberturas de todas as fachadas. Para o uso deste valor, primeiramente deve-se realizar o cálculo da Porcentagem de Abertura da Fachada oeste (PAF_o) e do PAF_T. Se o PAF_o for pelo menos 20% maior que o PAF_T, deve-se adotar o PAF da fachada oeste na equação.

O indicador de consumo obtido deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos. Quanto menor o indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação. A escala numérica da classificação de eficiência é variável e deve ser determinada para cada volumetria de edifício através dos parâmetros Fator Altura e Fator de Forma, razão entre a área de projeção do edifício e a área total de piso (Ape/Atot) e razão entre a área da envoltória e o volume total (Aenv/Vtot). Os demais parâmetros da equação são fornecidos.

O procedimento para classificação do indicador de consumo da envoltória é dado por meio da equação IC_{env} (equação 2) com os dados do projeto do edifício. Calcula-se o limite máximo do indicador de consumo para aquela volumetria, IC_{máxD}, por meio da mesma equação, mas com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 6; 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. O limite mínimo IC_{mín} por meio da mesma

equação 2, utilizando como parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 7; o ICmín representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria.

Tabela 6 – Parâmetros do ICmáxD.

PAF _T	FS	AVS	AHS
0,6	0,61	0	0

Fonte: Brasil (2009)

Tabela 7 – Parâmetros do ICmín.

PAF _T	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Fonte: Brasil (2009)

Os limites ICmáxD e ICmín representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se refere a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão i do intervalo é calculada com a equação 3. Após calculado o intervalo, preenche-se a Tabela 8, obtendo os limites máximos e mínimos e os intervalos entre eles. Compara-se o ICenv, obtido, com os limites da Tabela 8 e identifica-se o nível de eficiência do projeto em questão

$$i = \frac{(ICmáxD - IC\ min)}{4}$$

Eq 3

Tabela 8 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Min	-	ICmaxD - 3i + 0,01	ICmaxD - 2i + 0,01	ICmaxD - i +0,01	ICmaxD + 0,01
Lim Max	ICmaxD - 3i	ICmaxD - 2i	ICmaxD - i	ICmaxD	-

Fonte: Brasil (2009)

2.3 ESCOLAS E CONFORTO

As edificações destinadas a instituições de ensino, sejam infantis, ensino médio ou até universidades, apresentam muita similaridade de projeto, no uso e na manutenção nos mais diversos países (ERHORN *et al.*, 2008). Em vários países, tais como Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Itália, Noruega, Polônia, Inglaterra, Estados Unidos da América, Irlanda do Norte, Bélgica, Hong Kong, Taiwan, Espanha e África do Sul, estudam-se edificações educacionais sob o enfoque de analisar as condições de eficiência energética (ERHORN *et al.*, 2008; HERNANDEZ; BURKE; LEWIS, 2008; CHLELA *et al.*, 2009; CHAN, YEUNG, 2005; CHUNG; HUI, 2009; LEE, 2008; MYSEN *et al.*, 2005; CORGNATI, CORRADO; FILIPPI, 2008; CASALS, 2006; SANTAMOURIS *et al.*, 2007; HONG, 2009; MASOSO; GROBLER, 2009). Tais estudos mostram-se relevantes tendo em vista que os prédios destinados a escolas, são tidos pelos autores como prédios públicos não residenciais e podem municiar estatísticas ou ainda simulações para comprovação de projetos a serem edificados.

Dados obtidos em levantamento de edificações existentes, como para Chlela *et al.* (2009) foram base para simulação de uma edificação escolar com 17 salas de aula e três pavimentos. Entende-se que trabalhos nesta área de edificações escolares podem contribuir e fornecer dados para facilitar investimentos em economia de energia, certificação e otimização de projetos e operação destes (ERHORN *et al.*, 2008; CORGNATI; CORRADO; FILIPPI, 2008).

Dentre esses fatores da escola que influenciam no desenvolvimento educacional pode-se destacar também o fator conforto ambiental. Daí ser necessário o estudo das edificações escolares, verificando a interferência do conforto ambiental no aproveitamento dos alunos em sala de aula (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2003).

Pesquisas realizadas na Califórnia mostram que cerca de 40% do consumo energético nas escolas pode ser atribuído simplesmente à iluminação elétrica (*Daylighting and Windows*, 2005) *apud* Gonzalo (2006). Gonzalo (2006) faz uma comparação entre estudos realizados sobre rendimento escolar, no qual foram

analisados os resultados de 21 mil estudantes, em mais de duas mil salas de aulas. Estes estudos mostram que aqueles que fazem provas em escolas com salas de aulas bem iluminadas e com maior iluminação natural têm um rendimento da ordem de 20% a 26% maior que os demais.

Para Bittencourt (2007), no caso de edificações de permanência diurna, como edifícios de pesquisa, escolas e escritórios, as tipologias arquitetônicas deveriam favorecer o aproveitamento da iluminação natural e dos ventos regionais, minimizando os gastos com energia. O fator de importância relaciona-se aos custos operacionais desses ambientes, pois, no caso dos edifícios públicos, a disponibilidade de recursos financeiros é reduzida.

Para o *United States Green Building Council* (2009) as chamadas *Green Schools* (escolas verdes) podem economizar muito, desde consumo de água (30 a 50%), consumo de energia (35%), poluir menos com menores descargas de gases efeito estufa (35%), entre outras contribuições. Só no ano de 2007 foram gastos 35 bilhões de dólares na construção e manutenção de escolas nos Estados Unidos, frisando que é o maior setor econômico da construção daquele país. Para tal economia, bastaram instalar iluminação eficiente, painéis solares, coberturas frias ou com revestimentos verdes (vegetação), aproveitamento de águas com economia da ordem de 50% dos gastos com sanitários.

A Figura 2 mostra uma imagem de uma das escolas modelo, certificadas pelo *United States Green Building Council* (Conselho Americano de Edificações Verdes). A escola *Fossil Ridge High School* está localizada em *Fort Collins, Columbia*, e tem atributos que seriam facilmente adaptados a realidade das edificações brasileiras.

Informações como estas se tornam relevantes, pois, como observado na equação 1, bônus são aplicados em edificações que comprovadamente tiverem ganho em reduções de consumo de energia e água. No caso de combinação de mais de um item de economia, estes deverão ser comprovados individualmente, recebendo pontuação e a somatória não poderá ser mais de um, para lançamento na equação 1.



Figura 2 - Escola Fossil Ridge High School - Fort Collins, CO.
Fonte: USGBC <usgbc.org>

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos trabalhos referenciados nesta revisão, procurou-se fazer uma abordagem a respeito da eficiência energética para se embasar esta dissertação. Pode-se perceber que em diversos países o assunto tem sido tratado com relevância, buscando o entendimento da envoltória como determinante no desempenho das edificações para estabelecer critérios de projeto de edificações com baixo consumo energético, bem como analisar as edificações já existentes. Esse trabalho, portanto, tem sua contribuição quanto à análise da envoltória de edificações públicas não residenciais destinadas a instituições de ensino.

A ausência de trabalhos que se referenciam à eficiência energética da envoltória e, principalmente, que correlacionem esta eficiência aos consumos de

água e energia elétrica foi notada. Esse trabalho então vem diminuir esta lacuna com a abordagem deste tema.

Outra contribuição desta revisão remete à regulamentação para fins de aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais de Serviços e Públicos. O detalhamento dos procedimentos de determinação da eficiência energética e os detalhes da envoltória são abordados.

Uma breve revisão de trabalhos referentes a escolas, conforto e eficiência energética também foi descrita na revisão. Nota-se que em países mais desenvolvidos, principalmente nos Estados Unidos da América, este assunto é relevante com escolas sendo construídas já com critérios de eficiência, economia de água, economia de energias, não só elétrica, e diminuição de emissão de gases poluentes.

3 METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

A metodologia adotada nesse trabalho, para que os objetivos sejam atingidos, consiste na análise da correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória e os consumos de água e energia elétrica de edificações escolares. Para tanto, é necessário o levantamento de dados referentes às edificações e dos consumos de água e energia elétrica.

Foram realizados levantamentos *in-loco*, tanto da estrutura física edificada, quanto da estrutura instalada, bem como hábitos de consumo nas escolas. A estrutura instalada e o hábito de consumo foram utilizados para nivelar as tipologias de utilização, pelos usuários, das edificações e das características das escolas, tornando-se como um critério de seleção entre elas. Também foram analisados os projetos e calculados os dados necessários, bem como catalogação de todas as informações necessárias e exigidas pela metodologia.

O presente trabalho teve como objeto de estudo, edificações destinadas ao ensino público do interior do estado do Paraná, mais precisamente Apucarana e Arapongas (Figura 3). Edificações, estas, em uso regular pela rede estadual de ensino.

Apucarana, município situado na região Norte Central Paranaense, possui altitude média de 840m e tem como referências geográficas 23°33'05 S e 51°27'41 O com 121.290 habitantes. Arapongas também situado na mesma região, com coordenadas geográficas 23°24'37 S e 51°26'08 O, com 103.025 habitantes, tem altitude média de 816m (LEE, 2008; IBGE, 2009)⁹.

⁹ IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Censo elaborado em 2008 - Fonte: www.ibge.gov.br. LEE (2008) referencia geograficamente a região de estudo.



Figura 3 – Localização das cidades de Arapongas (indicada em vermelho) e Apucarana (indicada em azul) no estado do Paraná.

O Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C (BRASIL, 2009) detalha os procedimentos para obtenção do nível de classificação da envoltória da edificação. Baseado neste procedimento foi elaborado o levantamento e obtenção dos dados e das informações necessárias para etiquetagem.

Como o trabalho trata, além da etiquetagem, de comparação entre esta e os consumos de água e energia elétrica, dados referentes a estes consumos foram obtidos junto às concessionárias e os órgãos responsáveis. Estes dados foram compilados a partir de informações cadastradas pelas escolas e pelos gestores públicos.

3.2 AMOSTRAGEM

As observações dos hábitos de consumo nas edificações educacionais dos municípios de Apucarana e Arapongas foram decisivas para a escolha destas edificações para estudo e prática adotada. Para chegar-se à relação de escolas, uma seleção foi necessária.

Tratando-se de um trabalho com ênfase em eficiência energética em instituições de ensino, primeiramente foram investigadas as escolas que tinham controle do consumo de energia elétrica. As edificações, destes dois municípios, que tinham controle disponível e dentro do período do trabalho foram selecionadas. Os dados de energia foram obtidos a partir do órgão responsável, dentro da secretaria de educação do estado do Paraná, pelo controle e transparência destes dados. Eles são obtidos por medições mensais efetuadas pela concessionária estadual (COPEL – Companhia Paranaense de Energia) e cadastrados pela Secretaria de Educação do Estado do Paraná (SEED).

A partir da primeira seleção foram observados os anos de referências completos para análise. O consumo das escolas foi analisado de janeiro de 2007 a dezembro de 2008. Esta informação de mais de dois anos de medição foi necessária, pois, a partir do levantamento de 2008 um pico foi localizado em todas as escolas nos meses de abril a junho. No ano de 2007 a mesma informação foi levantada e este fato não ocorreu, o que bastou para considerar, portanto, a amostragem de 2008 como uma sazonalidade.

Em um segundo momento foi observado o estado de conservação da escola, suas características construtivas e de utilização e uso de equipamentos específicos, que levaram à seleção acima referida. A partir desta observação, fez-se um levantamento das escolas que tinham controle de consumo de água para posterior correlação deste à eficiência energética da envoltória das escolas em estudo.

Por fim foram observadas as exigências do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2009) para cálculo e determinação do nível de eficiência energética da envoltória das edificações. As escolas deveriam ter as características necessárias ao cálculo do nível de eficiência energética da envoltória para possibilitar sua correlação aos consumos de energia elétrica e água.

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

3.3.1 Levantamento de Dados para Cálculo do Nível de Eficiência Energética da Envoltória

Os dados considerados necessários ao cálculo do nível de eficiência energética da envoltória, são exigências do RTQ-C. Todo o procedimento, portanto, segue tais determinações e um padrão para todas as escolas.

Primeiramente, foram solicitados à Secretaria de Estado da Educação (SEED) os projetos, em arquivo digital, das escolas selecionadas, para caracterização dos ambientes. O RTQ-C separa, nas edificações a serem estudadas, ambientes de permanência prolongada e áreas de permanência transitória para cálculo e análise de eficiência energética. No trabalho, estas áreas foram observadas no projeto, porém nas visitas *in loco* foram separadas por região de estudo. Este fato foi considerado, pois, em ambientes com grande área construída, como são as escolas vistoriadas, as áreas de permanência prolongada seriam as salas de aula e áreas transitórias seriam os banheiros. Outras áreas tinham situações variáveis e, portanto, uma divisão em mais ambientes foi necessária, como apresentado:

- área total construída da unidade;
- salas de aula, laboratórios e bibliotecas;
- cozinha, copa e área de serviço;
- administração (secretaria, direção, orientação pedagógica);
- pátios cobertos e refeitórios;
- ginásio de esportes;
- outras áreas (circulações, corredores, depósitos e banheiros).

Esta classificação foi necessária porque além de atender às exigências, faria com que as diferenças encontradas nas edificações quanto à tipologia de construção e os requisitos para cálculo do nível de eficiência energética da envoltória ficassem mais homogêneos. Ambientes e partes da construção, edificadas com materiais distintos seriam consideradas nesta divisão.

Com o projeto em mãos foi possível, com esta separação inicial, calcular as áreas de piso, pé direito, áreas de janelas e aberturas, área das paredes com face oeste e área das paredes externas totais. Estas áreas e observações seriam necessárias para o cálculo das exigências, necessárias para se chegar ao nível de eficiência energética da envoltória, tais como:

- área de projeção do edifício (A_{pe}) (m^2);
- área da envoltória – incluídas as aberturas (A_{env}) (m^2);
- área total de piso, fechadas por construção, medidas externamente às paredes (A_{tot}) (m^2);
- porcentagem de área de abertura total (PA_{ft});
- porcentagem de abertura das fachadas com orientação oeste (PA_{fo});
- volume total da edificação (V_{tot}) (m^3).

De posse do projeto e em visita às edificações, os sombreamentos proporcionados por partes da edificação, tanto horizontal como vertical foram observados e medidos. Estes sombreamentos poderiam ser beirais, brises, proteções de iluminação solar direta, entre outros, que não constavam em projeto ou que no projeto estivessem mal detalhados e não fosse possível levantar os dados necessários (Figura 4). Estas partes das edificações, muitas vezes não visíveis no projeto, são necessárias para obtenção dos ângulos verticais (AVS) e horizontais de sombreamento (AHS), medidos de 0 a 45°.

Consideram-se como ângulos de sombreamento, os ângulos que determinam o sombreamento gerado pela proteção solar nas aberturas. (Figuras 5 e 6). Releva-se nessa observação somente o sombreamento provocado por elementos incorporados à edificação, desconsiderando, construções ou sombreamentos de edificações vizinhas ou partes não ligadas a esta fisicamente. Este fato se dá por não estar sendo considerada a simulação computacional, quando sombreamentos provocados por edificações vizinhas são utilizados.



Figura 4 – Beiral com sombreamento nas aberturas do Colégio Estadual Walfredo S. Correa em Arapongas.

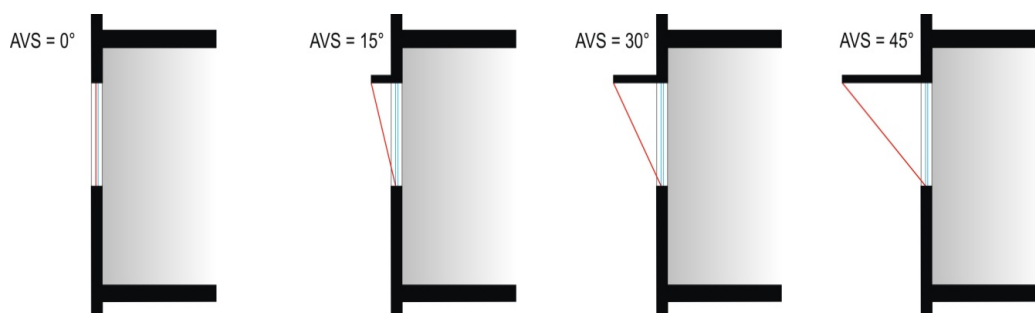


Figura 5 – Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS).
Fonte: Brasil (2009b).

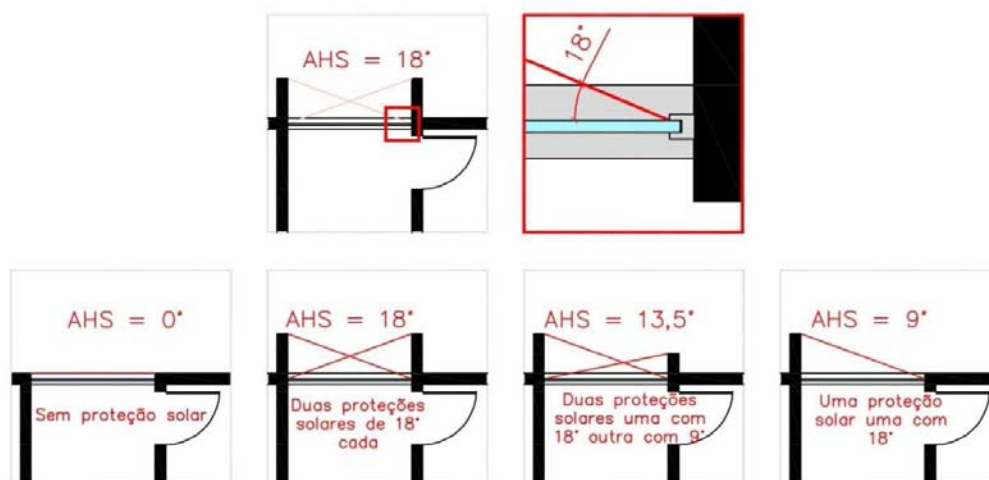


Figura 6 – Ângulos Horizontais de Sombreamento (AHS).
Fonte: Brasil (2009b).

Foram observados, ainda, os tipos de construção quanto ao material empregado nas paredes, coberturas e acabamento de pintura e coloração, tanto interno quanto externo. Estas observações foram necessárias para determinação de transmitância, tanto de paredes e coberturas quanto da absorvância das superfícies.

3.3.2 Determinação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória

A determinação do nível de eficiência da envoltória segue a recomendação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2009). Este descreve a metodologia que deverá ser adotada para a classificação do nível de eficiência da envoltória.

3.3.2.1 Indicador de consumo da envoltória

Um indicador de consumo da envoltória (IC_{env}), dado pela equação 2 indica, dentro de intervalos calculados como máximo e mínimo, a primeira informação para a definição do nível de eficiência da envoltória da edificação. As variáveis constantes na equação são obtidas através dos dados levantados nas edificações, seja nos projetos ou levantamento *in loco*.

$$IC_{env} = -14,14FA - 113,94FF + 50,82PAF_T + 4,86FS - 0,32AVS + 0,26AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54PAF_T AHS + 277,98$$

Eq 2

A partir das recomendações do regulamento faz-se necessário o levantamento dos dados das edificações:

- Ape
área de projeção do edifício (m²);
- Acob
área de projeção da cobertura do edifício (m²);
- Aenv
área da envoltória (m²) – incluídas as aberturas;
- Atot
área total de piso (m²) (externamente);
- Vtot
volume total da edificação (m³);
- AVS
ângulo vertical de sombreamento (entre 0 e 45°);
- AHS
ângulo horizontal de sombreamento (entre 0 e 45°);
- PAF_T
porcentagem de área de abertura total;
- PAF_o
porcentagem de abertura face oeste;
- Vtot
volume total da edificação (m³).

A área de projeção do edifício (Ape), dada em m², foi levantada a partir dos dados dos projetos, disponibilizados em arquivos digitais. Verificou-se a área das edificações, levando em conta todos os ambientes, sendo que as medições foram efetuadas externamente. No caso de edificações com mais de um pavimento e sendo o superior sem avanços ou marquise externa ao pavimento inferior sendo de mesma área considerou-se a projeção do edifício. Sendo o edifício em formato irregular foi considerada a média dos pavimentos. Além do levantamento desta área retirada do projeto, nas visitas foram verificadas possíveis alterações, ampliações e reformas que alterariam tal informação, sendo, pois, corrigidas. Vale salientar que áreas de subsolos devem ser excluídas. A área de cobertura (Acob) corresponde à

projeção horizontal da cobertura da edificação, sendo igual à área de projeção (Ape) nos edifícios com projetos em formato regular.

A área total de piso (Atot) é dada em m². Ela foi levantada, também, por meio dos arquivos digitais. Somatória dos pavimentos no caso de edificações com mais de um pavimento ou área semelhante à anterior. A medida desta área total deverá ser externa às paredes no caso de possuir fechamento.

A área da envoltória (Aenv), dada pela soma das áreas das fachadas, os oitões e da área da cobertura, incluídas as aberturas, também dada em m². Seu cálculo se deu a partir dos projetos, porém como os dados de projeto se restringiam somente às plantas baixas, sem detalhes de cortes e fachadas, foi necessária a complementação das informações. No levantamento *in loco* foram medidos os oitões, os fechamentos laterais e a altura do pé direito das edificações em todas as suas variantes.

O volume total da edificação (Vtot), dado em m³, foi calculado a partir da área de projeção e da altura das fachadas externas a que esta área se referia. No caso de empenas e oitões a altura média compõe o cálculo de volume.

As áreas das fachadas foram levantadas *in loco*. Foram verificadas todas as paredes, oitões e fechamentos externos, considerando este dado como área de fachada total. Posteriormente, foram verificadas as fachadas que tinham orientação oeste, considerando este dado como área de fachada oeste.

A porcentagem de área de abertura na fachada total (PAFt) foi verificada *in loco*, sendo calculadas todas as aberturas de janelas, de vão de portas e vãos para áreas externas à edificação e pátios internos descobertos. Calculada pela razão entre a área de fechamento transparente ou translúcido e a área das fachadas das edificações.

A porcentagem de abertura na fachada oeste (PAFo) seguiu a mesma metodologia da PAFt, porém foram só consideradas as aberturas que têm incidência para face oeste. Neste caso, ainda, as faces oeste consideradas foram as fachadas ou superfícies que tinham ângulo de $\pm 45^\circ$ em relação à orientação oeste na edificação.

Os resultados de PAFt e PAFo são dados em porcentagem e foram aplicadas na fórmula em forma de fração (variando de 0 a 1). Os ângulos vertical e horizontal de sombreamento (AVS, AHS), foram medidos entre 0 e 45° (graus), como mostrado nas Figuras 4 e 5. Foram obtidos a partir dos dados do projeto e da

verificação *in loco*. O Fator de Forma (FF) é dado pela razão entre a área da envoltória e o volume do edifício (A_{env}/V_{tot}), dados disponíveis pelos cálculos anteriormente elucidados. O fator de altura (FA) é dado pela razão entre a área de projeção da cobertura do edifício e a área total da mesma (A_{cob}/A_{tot}). Ao Fator Solar (FS) foi atribuído valor de 0,87 (vidro simples com 3mm de espessura), a partir da verificação do tipo e espessura dos vidros, para este trabalho.

Com os dados acima obtidos e calculados foi possível calcular o indicador de consumo da envoltória (IC_{env}) para cada edificação. Com este indicador foi feita uma comparação com os indicadores de consumo máximos e mínimos. Estes últimos foram obtidos com a mesma equação 2 porém utilizando os dados das Tabelas 6 e 7.

Com o cálculo dos limites mínimo e máximo do indicador de consumo da envoltória dados pela Tabela 8, foi possível classificar as edificações quanto ao indicador de consumo da envoltória, a partir de um intervalo calculado utilizando a equação 3. Este indicador de consumo ainda não representa o nível de eficiência energética da envoltória.

Para a definição do nível de eficiência energética da envoltória das edificações são necessárias as transmitâncias, absortâncias e porcentagens zenitais. Como existe variação de tipos de materiais e tecnologias construtivas, foram elaborados cálculos de média ponderada, como recomenda o RTQ-C.

3.3.2.2 Transmitância, absortância, porcentagem de abertura Zenital

Primeiramente foram levantadas, nas edificações, mediante visitas *in loco*, as tipologias dos materiais constituintes de cobertura, forro, paredes e fechamentos externos, suas composições e aspectos de acabamento, coloração e idade aparente. A NBR 15220 – parte 2 (ABNT, 2005) traz uma série de tabelas, e considerações de cálculo para, a partir das características das paredes, coberturas e materiais constituintes permitir o cálculo da transmitância, resistência térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar. A partir da relação de materiais constituintes e da consulta à NBR 15220 (ABNT 2005), utilizando as tabelas de

referência, foi possível caracterizar as edificações quanto à transmitância e absorvância e proceder às comparações.

Foram calculadas as transmitâncias médias para paredes e coberturas. As edificações que tinham coberturas diferentes no mesmo prédio, telha cerâmica e fibro-cimento, por exemplo, tiveram cálculos de áreas das coberturas individuais aplicadas as transmitâncias daquela característica. Na seqüência, por média ponderada, foi calculada a transmitância média.

Com relação aos materiais constituintes das paredes, tais como blocos e tijolos, por exemplo, também foram calculadas as áreas dos fechamentos individuais e aplicadas as transmitâncias daquelas características. Sequencialmente, por média ponderada, foi calculada a transmitância média das paredes desta edificação.

Para a transmitância, portanto, foi levada em consideração a média ponderada das áreas de cobertura e fechamentos externos, pelas transmitâncias de cada parcela. Os resultados, portanto, foram chamados de transmitância média de cobertura e transmitância média de paredes. Isto para todas as instituições de ensino, objetos deste estudo.

Consultou-se o zoneamento bioclimático brasileiro a partir da NBR 15220 – parte3 (ABNT, 2005), para se verificar o zoneamento de Apucarana e Arapongas, constatando que estas estavam inseridas na Zona Bioclimática 3. A partir desta informação, para as escolas em estudo, a transmitância térmica de paredes, pela Tabela 4 (pg39), conforme recomendado pelo RTQ-C (BRASIL, 2009) deve ser inferior a $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Desta maneira as 23 escolas em estudo foram calculadas e comparadas com a Tabela 4.

Para a transmitância da cobertura, a comparação é dada, pelo RTQ-C (BRASIL, 2009), a partir de existir área condicionada ou não. Como todas as escolas não são condicionadas, o RTQ-C (BRASIL, 2009) dá um limite de não se ultrapassar $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Foram comparadas as transmitância médias das coberturas de todas as escolas em relação à exigência.

Quanto às absorvâncias, o RTQ-C (BRASIL, 2009) exige que, para zonas 2 a 8 as edificações devem utilizar cores claras com absorvância solar inferior a 0,4. Foram catalogadas, no levantamento *in loco*, todas as características das

edificações e suas colorações. Por existir um grande número de paredes, fachadas, oitões e coberturas, foram verificadas as cores predominantes pelas áreas que ocupavam e chegou-se a uma coloração média, novamente utilizando média ponderada. A partir da comparação desta cor com tabelas referenciais de cores e absortâncias mostradas na NBR 15220 (ABNT 2005), foi verificada a absortância médias de cada edificação para as paredes e coberturas. Todas as escolas, objetos deste estudo, passaram por esta comparação e verificação.

Quanto ao fator solar foram verificados os vidros de todas as escolas. O tipo de vidro existente e considerado para este trabalho tem com fator solar 0,87 (vidro simples com 3mm de espessura). Esquadrias de banheiro que têm vidro fantasia colocado, por serem áreas pequenas foram desconsideradas, por não contribuírem na média ponderada.

O RTQ-C (BRASIL, 2009) traz, ainda, no caso da existência de aberturas zenitais, a verificação da porcentagem de abertura zenital. Os percentuais destas edificações devem se enquadrar, dependendo do Fator Solar. As escolas do estudo não possuem aberturas zenitais e, portanto, não foram verificadas neste quesito.

As edificações destinadas a instituições de ensino que não atendessem às determinações do nível "A" do RTQ-C (BRASIL, 2009): transmitância, absortância e porcentagem de abertura zenital seriam remetidas à análise do nível subsequente para verificação e comparações. Como efetuado para o nível "A", o mesmo se dá para o nível "B" e assim sucessivamente até o nível "D", quando a edificação é finalmente considerada com nível de eficiência energética da envoltória "E".

3.3.3 Levantamento de Dados dos Consumos de Energia Elétrica e de Água

O levantamento de dados de consumo de energia elétrica se deu a partir de uma pesquisa nas escolas estudadas. Primeiramente foram observadas as

unidades que tinham controle de energia elétrica. Algumas escolas não têm cópia das faturas de energia, emitida pela companhia responsável pela aferição, medição e cobrança (COPEL), visto serem pagas pelo próprio estado. Optou-se pela verificação diretamente na Secretaria de Educação do Estado do Paraná (SEED) que forneceu em seu sítio, na internet, tais dados. O levantamento foi positivo para dados referentes aos anos de 2007 e 2008. Os consumos de energia elétrica foram obtidos em kWh por mês de referência, tendo uma seqüência destes dois anos completos.

O levantamento de consumo de água das escolas seguiu o mesmo procedimento do consumo de energia, com dados obtidos na SEED, que também mantém estes registros para controle e transparência. O diferencial foi, porém, que as unidades escolares têm mais de uma entrada de fornecimento e em alguns casos foram consideradas como sendo todas para utilização do mesmo edifício e, portanto, somados os consumos.

As escolas Frei Graciano Droelesler de Araçongas e Coronel Luis José do Santos de Apucarana têm seu fornecimento de forma diferencial. A primeira por poço artesiano de abastecimento público e a segunda por fornecimento municipal, não tendo, portanto, controle no estado do consumo de água. Este consumo foi aferido por média anual e depois pela média dos alunos, tomando por referência as demais escolas. Isto foi necessário para aproveitamento dos dados referentes à energia elétrica e à envoltória e por entendimento da relevância destas escolas em estarem contempladas na comparação e correlação de nível de eficiência energética da edificação e consumo de água, mesmo que de forma aproximada.

3.4 CORRELAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA

Com a aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C

(BRASIL, 2009) e a partir do tratamento dos dados obtidos para as instituições de ensino, tanto de consumo de energia elétrica, quanto consumo de água, foram correlacionados com o nível de eficiência energética da envoltória da edificação. Estes dados compilados geraram tabelas e partir destas, gráficos de correlação para os anos de 2007 e 2008.

Os consumos de energia elétrica foram apresentados em kWh e kWh/m² ao ano. Já os consumos de água foram apresentados em m³, m³/m² ao ano e litros/aluno ao ano. Foram correlacionados com o nível de eficiência energética da envoltória da edificação. Estes dados levantados foram compilados para os dois anos de referência (2007 e 2008), para permitir a correlação e atender aos objetivos do trabalho.

Quanto à possibilidade de correlação foi utilizada a Tabela 2 que dá os equivalentes numéricos para níveis de eficiência proposta pelo RTQ-C (BRASIL, 2009). A correlação entre os níveis de eficiência energética da envoltória e os consumos de energia elétrica e água foram demonstrados em forma de gráficos de correlação com regressão linear.

4. RESULTADOS

4.1 INTRODUÇÃO

Os dados apresentados neste capítulo foram obtidos a partir da análise dos projetos disponibilizados pela SEED, e de visitas *in loco*, com levantamentos e medições nas edificações. Nas pesquisas de campo, foram levantados dados nas edificações, suas características construtivas, aferições de dados constantes nos projetos, bem como áreas e ambientes e a efetiva utilização das instalações.

As vinte e três escolas, escopo do trabalho, pertencem à rede estadual de ensino do Paraná, com a localização dos municípios, no estado, mostrados na Figura 3, sendo onze escolas em Apucarana e doze escolas em Araçongas. A Tabela 9 mostra a relação das escolas, com seu nome, número de alunos e quantidade de turmas, bem como início de ocupação. Estas informações foram obtidas junto à secretaria da educação do estado do Paraná (SEED). O edifício hoje ocupado pelo CEEBJA teve sua conclusão em 1959, porém trata-se de um edifício alugado com início das atividades deste colégio, neste local, em 1996. Nas Figuras 7 a 10 podem ser observadas suas fachadas atuais.

Tabela 9 – Relação das escolas de Apucarana e Arapongas com respectivo número de alunos e turmas e início de ocupação.

Escolas em Estudo	Número de Alunos	Número de Turmas	Início de Ocupação
Município de Apucarana			
C.E. Alberto Santos Dumont	1383	45	1949
E.E. Carlos Massaretto	432	15	1976
C.E.E.B.J.A. Prof. ^a Linda	2617	76	1959
C.E. Izidoro L. Cerávolo	1348	38	1963
E.E. Francisco A. Souza	343	10	1982
C.E. Heitor C. A. Furtado	967	32	1983
C.E. José de Anchieta	1150	33	1977
C.E. Cel. Luiz José dos Santos	388	14	1958
C.E. Osmar Guaracy Freire	306	12	1992
C.E. Polivalente de Apucarana	1251	36	1976
C.E. São Bartolomeu	469	15	1974
Município de Arapongas			
C.E. Marquês de Caravelas	1950	61	1949
C.E. Emílio de Menezes	1530	42	1983
C.E. Francisco Ferreira Bastos	721	23	1977
C.E. Antonio Garcez Novaes	1116	30	1967
E.E. Frei Graciano Droessler	58	4	1947
C.E. Ivanilde de Noronha	1117	31	1957
E.E. Julia Wanderley	594	20	1958
C.E. Julio Junqueira	391	15	1970
C.E. Nadir Mendes Montanha	822	21	1983
C.E. Antonio Racanello Sampaio	638	23	1955
C.E. Unidade Polo	1523	45	1974
C.E. Walfredo S. Correa	752	24	1976



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 7 – Fotografias das escolas: (a) Alberto Santos Dumont, (b) Carlos Massaretto, (c) CEEBJA Prof. Linda, (d) Izidoro L Cerávolo, (e) Francisco A Souza, (f) Heitor C. A. Furtado.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 8 – Fotografias das escolas: (a) José de Anchieta, (b) Cel. Luiz José dos Santos, (c) Osmar Guaracy Freire, (d) Polivalente, (e) São Bartolomeu, (f) Marquês de Caravelas.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 9 – Fotografias das escolas: (a) Emílio de Menezes, (b) Francisco Ferreira Bastos, (c) Antonio Garcez Novaes, (d) Frei Graciano Droessler, (e) Ivanilde de Noronha, (f) Julia Wanderlei.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 10 – Fotografias das escolas: (a) Julio Junqueira, (b) Nadir Mendes Montanha, (c) Antonio Racanelo Sampaio, (d) Unidade Polo, (e) Walfredo S. Correa.

4.2 ÁREAS DAS EDIFICAÇÕES E DOS AMBIENTES, ÁREAS DE PROJEÇÃO, FACHADAS E ABERTURAS E SOMBREAMENTOS DAS ESCOLAS

As informações constantes nas Tabelas 10 a 13 foram obtidas em levantamentos *in loco* e na análise dos projetos, e são dados necessários para cálculo do nível de eficiência energética da envoltória das edificações. A Tabela 10 mostra a área total de cada uma das edificações escolares, objeto deste estudo, localizadas nos municípios de Apucarana e de Arapongas, bem como as áreas por ambientes. Foi adotada esta divisão pela variação de sistemas construtivos adotados nas edificações educacionais estudadas e da utilização destes ambientes, bem como sombreamentos e que poderiam ser fundamentais para o cálculo da envoltória ou de dados necessários à continuidade do trabalho. Salienta-se que alguns ambientes, tais como ginásio de esporte, refeitório ou as áreas construídas destinadas a salas de aula, cozinhas e administração variam muito de uma escola para outra, não só em área construída, mas em percentual da área total edificada.

Tabela 10 – Área total das edificações e área dos ambientes.

Escolas em Estudo	Área Edificada (m ²)						
	Total	Sala	Cozinha	Admin.	Pátios	Ginásio	Outras
Alberto Santos Dumont	3541,72	1235,67	152,66	247,18	485,51	655,60	765,10
Carlos Massaretto	1448,91	320,01	48,53	56,94	151,33	684,14	187,96
CEEBJA Prof. ^a Linda	1055,59	595,20	71,88	180,38	101,67	n/e	106,46
Izidoro L. Cerávolo	3487,51	1682,29	180,28	241,57	314,36	800,64	268,37
Francisco A. Souza	623,45	248,50	63,95	38,20	112,70	n/e	160,10
Heitor C. A. Furtado	1825,38	854,35	77,30	85,56	297,89	n/e	510,28
José de Anchieta	3330,01	1154,98	156,85	222,29	364,32	n/e	1431,57
Cel. Luiz José dos Santos	1383,80	570,75	74,85	68,76	261,43	n/e	408,01
Osmar Guaracy Freire	759,42	363,42	66,70	61,80	116,00	n/e	151,50
Polivalente de Apucarana	4177,44	1314,80	149,22	246,98	443,32	n/e	2023,12
São Bartolomeu	1737,11	406,70	95,04	85,66	n/e	n/e	1149,71
Marquês de Caravelas	4185,55	1430,51	136,98	290,00	297,80	923,6	1106,65
Emílio de Menezes	3565,30	800,25	126,45	181,08	391,91	894,99	1170,63
Francisco Ferreira Bastos	1642,16	759,63	76,48	245,96	177,44	n/e	382,65
Antonio Garcez Novaes	2737,35	849,59	41,44	186,85	296,21	917,19	446,08
Frei Graciano Droessler	1092,24	374,65	31,03	117,87	191,31	n/e	377,38
Ivanilde de Noronha	1714,22	874,54	29,32	157,10	326,85	n/e	326,41
Julia Wanderley	831,20	408,76	26,82	69,62	67,12	n/e	258,88
Julio Junqueira	829,70	323,51	76,60	69,34	157,20	n/e	203,04
Nadir Mendes Montanha	860,54	485,42	64,28	124,01	38,28	n/e	148,54
Antonio Racanello Sampaio	1315,58	557,14	60,68	77,85	231,06	n/e	388,86
Unidade Pólo	2588,24	1341,12	117,06	258,69	313,34	n/e	558,04
Walfredo S. Correa	2355,78	881,19	50,22	79,11	273,41	827,45	244,41

LEGENDA

Total:	área total construída da unidade;
Sala:	salas de aula, laboratórios e bibliotecas;
Cozinha:	cozinha, copa e área de serviço;
Admin.:	administração (secretaria, direção, orientação pedagógica);
Pátios:	pátios cobertos e refeitórios;
Ginásio:	ginásio de esportes;
Outras:	outras áreas (circulações, corredores, depósitos e banheiros);
n/e	inexistente ou somente quadra coberta sem fechamento vertical.

A Tabela 11 mostra as áreas de projeção da edificação ou de projeção média dos pavimentos, excluindo os subsolos, utilizados como depósitos, com pequenas áreas, como recomenda o RTQ-C (BRASIL, 2009). Somente três escolas têm mais de um pavimento, considerados neste estudo, o Colégio Estadual Alberto Santos Dumont e o Colégio Estadual Izidoro Luís Cerávolo para o município de Apucarana e o Colégio Estadual Marquês de Caravelas para Arapongas. Portanto a área de projeção (APe) coincide com a área total da Tabela 10 nos demais casos.

Tabela 11 – Área de projeção das escolas em estudo (APe).

Escolas em Estudo	Área de Projeção (m ²)
Alberto Santos Dumont	1770,86
Carlos Massaretto	1448,91
CEEBJA Prof. ^a Linda	1055,59
Izidoro L. Cerávolo	1644,31
Francisco A. Souza	623,45
Heitor C. A. Furtado	1825,38
José de Anchieta	3330,01
Cel. Luiz José dos Santos	1383,80
Osmar Guaracy Freire	759,42
Polivalente de Apucarana	4177,44
São Bartolomeu	1737,11
Marquês de Caravelas	2092,78
Emílio de Menezes	3565,30
Francisco Ferreira Bastos	1642,16
Antonio Garcez Novaes	2737,35
Frei Graciano Droessler	1092,24
Ivanilde de Noronha	1714,22
Julia Wanderley	831,20
Julio Junqueira	829,70
Nadir Mendes Montanha	860,54
Antonio Racanello Sampaio	1315,58
Unidade Pólo	2588,24
Walfredo S. Correa	2355,78

A Tabela 12 apresenta o levantamento das áreas de fachadas (paredes externas) tanto do prédio como um todo, como das áreas de parede das fachadas com orientação oeste, bem como das aberturas destas fachadas. Isto é necessário para posterior cálculo do indicador de consumo da envoltória, em que o percentual de áreas de abertura das fachadas é solicitado. Se a porcentagem de abertura da fachada oeste for maior que a porcentagem de abertura da fachada total, acima de 20%, deverá ser considerada, para o cálculo do índice, a porcentagem de abertura da fachada oeste.

Tabela 12 – Áreas de paredes das fachadas e áreas de aberturas

Escolas em Estudo	Área de Parede da Fachada Total	Área de Parede da Fachada Oeste	Área de Aberturas da Fachada Total	Área de Aberturas da Fachada Oeste
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)
Alberto Santos Dumont	2712,65	835,35	395,20	106,48
Carlos Massaretto	1189,80	272,25	75,60	32,40
CEEBJA Prof. ^a Linda	568,30	284,50	72,60	51,60
Izidoro L. Cerávolo	2711,20	1505,85	230,20	142,10
Francisco A. Souza	480,12	210,56	55,80	23,40
Heitor C. A. Furtado	917,80	452,10	122,40	57,60
José de Anchieta	1147,90	435,73	189,50	88,20
Cel. Luiz José dos Santos	544,35	282,30	77,40	39,60
Osmar Guaracy Freire	388,28	204,93	68,40	28,40
Polivalente de Apucarana	1421,40	557,40	153,25	67,30
São Bartolomeu	772,50	409,50	91,80	37,80
Marquês de Caravelas	2855,01	1446,31	182,10	128,30
Emílio de Menezes	2838,01	1266,71	651,80	306,72
Francisco Ferreira Bastos	1046,61	636,27	147,00	66,00
Antonio Garcez Novaes	2096,74	1110,06	154,10	97,20
Frei Graciano Droessler	822,20	409,35	141,00	48,00
Ivanilde de Noronha	922,25	444,85	180,10	45,10
Julia Wanderley	659,54	316,82	122,40	84,00
Julio Junqueira	658,28	334,34	74,40	24,00
Nadir Mendes Montanha	706,20	351,75	121,30	63,00
Antonio Racanello Sampaio	779,96	446,72	145,20	82,50
Unidade Pólo	1167,34	582,22	255,40	121,52
Walfredo S. Correa	1750,95	887,22	175,10	72,50

Os ângulos verticais de sombreamento (AVS) e ângulos horizontais de sombreamento (AHS), a que se refere a Tabela 13, foram obtidos a partir da análise de projeto e verificação de consistência de informações dos mesmos *in loco*. Estes ângulos foram obtidos por medição dos beirais no caso de AVS e de brises nos casos de AHS, em todas as fachadas. As escolas, ainda por declividade do terreno, possuem diferenças de níveis entre os blocos e entre os ambientes. Tais declives provocam sombreamento de alguns blocos de construção sobre os outros, porém não foram considerados.

Tabela 13 – Ângulos verticais e horizontais de sombreamento.

Escolas em Estudo	Ângulo Vertical de Sombreamento	Ângulo Horizontal de Sombreamento
	AVS	AHS
Alberto Santos Dumont	16,2	—
Carlos Massaretto	31,0	—
CEEBJA Prof. ^a Linda	26,0	43,0
Izidoro L. Cerávolo	22,1	—
Francisco A. Souza	32,0	—
Heitor C. A. Furtado	26,0	—
José de Anchieta	28,0	—
Cel. Luiz José dos Santos	25,0	—
Osmar Guaracy Freire	33,0	—
Polivalente de Apucarana	31,0	—
São Bartolomeu	27,0	—
Marquês de Caravelas	28,0	—
Emílio de Menezes	38,0	—
Francisco Ferreira Bastos	33,0	17,0
Antonio Garcez Novaes	32,0	—
Frei Graciano Droessler	31,0	—
Ivanilde de Noronha	14,0	—
Julia Wanderley	25,0	—
Julio Junqueira	34,0	—
Nadir Mendes Montanha	31,0	—
Antonio Racanello Sampaio	30,0	—
Unidade Pólo	17,0	—
Walfredo S. Correa	22,0	—

4.3 NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA

4.3.1 Determinação das Variáveis do Nível de Eficiência Energética da Envoltória

Para se efetivar o cálculo da eficiência energética da envoltória são necessários vários levantamentos específicos que serão demonstrados a seguir. A partir das tabelas de áreas da edificação (totais e por ambientes), áreas de fachadas

(total e oeste), e também das áreas de aberturas das fachadas são calculadas as porcentagens, e a relação entre elas.

4.3.1.1 Porcentagem de abertura nas fachadas totais e oeste e definição dos valores de Paft ePafo para cálculo do nível de eficiência energética da envoltória

Nas Tabelas 14 e 15, as áreas de fachadas e aberturas geraram uma informação para uso no cálculo do indicador de consumo da envoltória e na relação entre a área de abertura total e a área de abertura oeste. Os Colégios Estaduais Carlos Massareto, CEEBJA e José de Anchieta em Apucarana (Tabela 14 - hachuriado) tiveram valores de relação de porcentagem maior em 20% da área de abertura da fachada oeste quando comparado à porcentagem de abertura da fachada total. Já em Arapongas isto ocorreu no Colégio Estadual Marquês de Caravelas e Escola Estadual Julia Wanderlei (Tabela 15 - hachuriado). Como indicado no RTQ-C (BRASIL, 2009) a porcentagem de abertura da fachada oeste passa a prevalecer sobre a porcentagem de abertura da fachada total para o cálculo do ICenv. Nos colégios em que a relação é menor, as porcentagens das áreas de abertura da fachada total é que são utilizadas.

Observa-se que das vinte e três edificações constantes nas Tabelas 14 e 15, somente cinco apresentaram porcentagens de abertura na fachada oeste que ultrapassam o limite de 20% quando relacionadas às porcentagens das aberturas das fachadas totais. Este fato demonstra a preocupação com a orientação dos edifícios para uma correta insolação, em períodos de utilização de alguns ambientes, principalmente salas de aula e laboratórios. Vale salientar que duas edificações com projetos originais idênticos, o Colégio Alberto Santos Dumont de Apucarana e o Colégio Marquês de Caravelas de Arapongas, construídos no final da década de 40, foram implantados com orientações bem próximas. Ampliações das décadas de 70 e 80 alteraram estas implantações com o segundo colégio passando a sofrer uma maior incidência de insolação pelas aberturas nas fachadas oeste.

Tabela 14 – Percentagens de Abertura nas Fachadas total e oeste (PAFt, PAFo) e relação entre PAFo e PAFt para as escolas de Apucarana.

Escolas em Estudo	Porcentagem de Abertura na Fachada Total (PAFt)	Porcentagem de Abertura na Fachada Oeste (PAFo)	Relação entre PAFo e PAFt
	(%)	(%)	(%)
Alberto Santos Dumont	14,57	12,75	87,49
Carlos Massaretto	6,35	11,90	187,30
CEEBJA Prof.ª Linda	12,77	18,14	141,97
Izidoro L. Cerávolo	8,49	9,44	111,14
Francisco A. Souza	11,62	11,11	95,62
Heitor C. A. Furtado	13,34	12,74	95,53
José de Anchieta	16,51	20,24	122,62
Cel. Luiz José dos Santos	14,22	14,03	98,66
Osmar Guaracy Freire	17,62	13,86	78,67
Polivalente de Apucarana	10,78	12,07	111,99
São Bartolomeu	11,88	9,23	77,68

Tabela 15 – Percentagens de Abertura nas Fachadas total e oeste (PAFt, PAFo) e relação entre PAFo e PAFt para as escolas de Arapongas.

Escolas em Estudo	Porcentagem de Abertura na Fachada Total (PAFt)	Porcentagem de Abertura na Fachada Oeste (PAFo)	Relação entre PAFo e PAFt
	(%)	(%)	(%)
Marquês de Caravelas	6,38%	8,87%	139,08%
Emílio de Menezes	22,97%	24,21%	105,43%
Francisco Ferreira Bastos	14,05%	10,37%	73,85%
Antonio Garcez Novaes	7,35%	8,76%	119,14%
Frei Graciano Droessler	17,15%	11,73%	68,38%
Ivanilde de Noronha	19,53%	10,14%	51,92%
Julia Wanderley	18,56%	26,51%	142,87%
Julio Junqueira	11,30%	7,18%	63,51%
Nadir Mendes Montanha	17,18%	17,91%	104,27%
Antonio Racanello Sampaio	18,62%	18,47%	99,20%
Unidade Pólo	21,88%	20,87%	95,40%
Walfredo S. Correa	10,00%	8,17%	81,71%

4.3.1.2 Cálculo das transmitâncias médias, demonstrativo de dados para cálculo do fator de forma, fator altura e fator solar.

As Tabelas 16 a 21 mostram os resultados dos cálculos das transmitâncias médias, sendo que ainda se observa a separação por ambientes, com variações de tipos de paredes e coberturas. Para os ginásios se têm transmitâncias bem diferentes, quando comparadas às demais áreas construídas, principalmente nas coberturas em chapas metálicas sem proteção inferior. O RTQ-C (BRASIL, 2009) em seu item de envoltória trata da transmitância de paredes e cobertura, que determina o primeiro pré-requisito para o nível de eficiência energética da envoltória. Os valores de transmitância foram definidos por cálculo dos materiais constituintes, tanto nas paredes como nas coberturas, o que pode provocar uma imprecisão de $\pm 10\%$.

As Tabelas 22 e 23 mostram o volume da edificação, a área da envoltória, o resultado do cálculo da transmitância média das edificações a serem aplicadas no cálculo do índice de consumo da envoltória. As indicações de absorvância das paredes e coberturas foram adotadas conforme o estabelecido na NBR15220 – parte 2 (ABNT, 2005).

Tabela 16 – Áreas de paredes, tipologias com suas respectivas transmitâncias e resultado de cálculo de transmitância média de paredes para as escolas de Apucarana

Escolas em Estudo	Áreas de Parede da Fachada Total	Áreas de Parede Tipo 1	Áreas de Parede Tipo 2	Áreas de Parede Ginásio	Transmitância Tipo 1	Transmitância Tipo 2	Transmitância Paredes do Ginásio	Transmitância Média de Paredes
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
Alberto Santos Dumont	2712,65	2219,17	---	493,48	2,25	---	2,28	2,26
Carlos Massaretto	1189,80	785,10	---	404,70	3,70	---	2,48	3,29
CEEBJA Prof. ^a Linda	568,30	568,30	---	---	2,25	---	---	2,25
Izidoro L. Cerávolo	2711,20	2086,42	---	624,78	2,25	---	2,28	2,26
Francisco A. Souza	480,12	356,82	123,30	---	2,28	2,24	---	2,27
Heitor C. A. Furtado	917,80	488,23	429,57	---	2,25	2,28	---	2,26
José de Anchieta	1147,90	749,76	398,14	---	2,25	2,28	---	2,26
Cel. Luiz José dos Santos	544,35	323,15	221,20	---	2,28	2,25	---	2,27
Osmar Guaracy Freire	388,28	388,28	---	---	2,28	---	---	2,28
Polivalente de Apucarana	1421,40	1421,40	---	---	2,28	---	---	2,28
São Bartolomeu	772,50	772,50	---	---	2,25	---	---	2,25

Tabela 17 – Áreas de paredes, tipologias com suas respectivas transmitâncias e resultado de cálculo de transmitância média de paredes para as escolas de Arapongas

Escolas em Estudo	Áreas de Parede da Fachada Total	Áreas de Parede Tipo 1	Áreas de Parede Tipo 2	Áreas de Parede Ginásio	Transmitância Tipo 1	Transmitância Tipo 2	Transmitância Paredes do Ginásio	Transmitância Média de Paredes
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
Marquês de Caravelas	2855,01	1653,79	343,70	857,52	2,25	2,24	2,28	2,26
Emílio de Menezes	2838,01	1861,02	493,52	483,47	2,25	2,28	2,28	2,26
Francisco Ferreira Bastos	1046,61	1046,61	---	---	2,28	---	---	2,28
Antonio Garcez Novaes	2096,74	1164,36	91,64	840,74	2,25	2,28	2,28	2,26
Frei Graciano Drossler	822,20	455,40	366,80	---	2,28	2,24	---	2,26
Ivanilde de Noronha	922,25	922,25	---	---	2,28	---	---	2,28
Julia Wanderley	659,54	659,54	---	---	2,28	---	---	2,28
Julio Junqueira	658,28	452,75	205,53	---	2,28	2,25	---	2,27
Nadir Mendes Montanha	706,20	706,20	---	---	2,28	---	---	2,28
Antonio Racanello Sampaio	779,96	779,96	---	---	2,28	---	---	2,28
Unidade Pólo	1167,34	1058,31	109,03	---	2,28	2,24	---	2,28
Walfredo S. Correa	1750,95	1052,70	52,80	645,45	3,70	2,24	2,28	3,13

Tabela 18 – Áreas de cobertura, tipologias com suas respectivas transmitâncias e resultado de cálculo de transmitância média de cobertura para as escolas de Apucarana.

Escolas em Estudo	Áreas de Cobertura Total	Áreas de Cobertura Tipo 1	Áreas de Cobertura Ginásio	Transmitância Tipo 1	Transmitância Cobertura do Ginásio	Transmitância Média de Cobertura
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
Alberto Santos Dumont	3413,03	2757,43	655,60	1,92	4,60	2,43
Carlos Massaretto	1448,91	764,77	684,14	2,00	4,60	3,23
CEEBJA Prof. ^a Linda	1055,59	1055,59	----	1,92	----	1,92
Izidorio L. Cerávolo	2868,00	2067,36	800,64	1,92	4,60	2,67
Francisco A. Souza	623,45	623,45	----	1,92	----	1,92
Heitor C. A. Furtado	1825,38	1825,38	----	1,93	----	1,93
José de Anchieta	3330,01	3330,01	----	1,92	----	1,92
Cel. Luiz José dos Santos	1383,80	1383,80	----	2,00	----	2,00
Osmar Guaracy Freire	759,42	759,42	----	2,00	----	2,00
Polivalente de Apucarana	4177,44	4177,44	----	2,00	----	2,00
São Bartolomeu	1737,11	1737,11	----	1,92	----	1,92

Tabela 19 – Áreas de cobertura, tipologias com suas respectivas transmitâncias e resultado de cálculo de transmitância média de cobertura para as escolas de Arapongas.

Escolas em Estudo	Áreas de Cobertura Total	Áreas de Cobertura Tipo 1	Áreas de Cobertura Tipo 2	Áreas de Projeção Ginásio	Transmitância Tipo 1	Transmitância Tipo 2	Transmitância Cobertura do Ginásio	Transmitância Média de Cobertura
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
Marquês de Caravelas	4056,86	3133,26	—	923,60	1,84	—	4,60	2,47
Emílio de Menezes	3565,30	2670,31	—	894,99	1,93	—	4,60	2,60
Francisco Ferreira Bastos	1642,16	1420,96	221,20	—	2,00	1,93	—	1,99
Antonio Garcez Novaes	2737,35	1820,16	—	917,19	2,00	—	4,60	2,87
Frei Graciano Droessler	1092,24	1092,24	—	—	2,00	—	—	2,00
Ivanilde de Noronha	1714,22	1714,22	—	—	2,00	—	—	2,00
Julia Wanderley	831,20	831,20	—	—	2,00	—	—	2,00
Julio Junqueira	829,70	829,70	—	—	2,00	—	—	2,00
Nadir Mendes Montanha	860,54	860,54	—	—	2,00	—	—	2,00
Antonio Racanello Sampaio	1315,58	1315,58	—	—	2,00	—	—	2,00
Unidade Pólo	2588,24	2588,24	—	—	2,00	—	—	2,00
Walfredo S. Correa	2355,78	1528,33	—	827,45	2,00	—	4,60	2,91

Tabela 20 – Áreas totais de parede e projeção, transmitância média das paredes e das coberturas e resultado de cálculo da transmitância média da envoltória da edificação para as escolas de Apucarana.

Escolas em Estudo	Áreas de Parede da Fachada Total	Áreas de Cobertura Total	Transmitância Média de Paredes	Transmitância Média de Cobertura	Transmitância Média da Envoltória da Edificação
	(m ²)	(m ²)	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
Alberto Santos Dumont	2712,65	3413,03	2,26	2,43	2,36
Carlos Massaretto	1189,80	1448,91	3,29	3,23	3,25
CEEBJA Prof. ^a Linda	568,30	1055,59	2,25	1,92	2,04
Izidoro L. Cerávolo	2711,20	2868,00	2,26	2,67	2,47
Francisco A. Souza	480,12	623,45	2,27	1,92	2,07
Heitor C. A. Furtado	917,80	1825,38	2,26	1,93	2,04
José de Anchieta	1147,90	3330,01	2,26	1,92	2,01
Cel. Luiz José dos Santos	544,35	1383,80	2,27	2,00	2,08
Osmar Guaracy Freire	388,28	759,42	2,28	2,00	2,09
Polivalente de Apucarana	1421,40	4177,44	2,28	2,00	2,07
São Bartolomeu	772,50	1737,11	2,25	1,92	2,02

Tabela 21 – Áreas totais de parede e projeção, transmitância média das paredes e das coberturas e resultado de cálculo da transmitância média da envoltória da edificação para as escolas de Arapongas.

Escolas em Estudo	Áreas de Parede da Fachada Total	Áreas de Cobertura Total	Transmitância Média de Paredes	Transmitância Média de Cobertura	Transmitância Média da Envoltória da Edificação
	(m ²)	(m ²)	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
Marquês de Caravelas	2855,01	4056,86	2,26	2,47	2,38
Emílio de Menezes	2838,01	3565,30	2,26	2,60	2,45
Francisco Ferreira Bastos	1046,61	1642,16	2,28	1,99	2,10
Antonio Garcez Novaes	2096,74	2737,35	2,26	2,87	2,61
Frei Graciano Droessler	822,2	1092,24	2,26	2,00	2,11
Ivanilde de Noronha	922,25	1714,22	2,28	2,00	2,10
Julia Wanderley	659,54	831,20	2,28	2,00	2,12
Julio Junqueira	658,28	829,70	2,27	2,00	2,12
Nadir Mendes Montanha	706,2	860,54	2,28	2,00	2,13
Antonio Racanello Sampaio	779,96	1315,58	2,28	2,00	2,10
Unidade Pólo	1167,34	2588,24	2,28	2,00	2,09
Walfredo S. Correa	1750,95	2355,78	3,13	2,91	3,01

Tabela 22 – Volume, área da envoltória, transmitância média e absorptâncias médias para as escolas de Apucarana.

Escolas em Estudo	Volume do Edifício Total	Área da Envoltória do Edifício	Transmitância Média da Envoltória da Edificação	Absortância Média das Paredes	Absortância Média das Coberturas	Absortância Média da Envoltória da Edificação
	(Vtot) (m ³)	(Aenv) (m ²)	(Umédia) (W / (m ² * K))	(α)	(α)	(α)
Alberto Santos Dumont	13221,93	6125,65	2,36	0,40	0,65	0,54
Carlos Massaretto	4664,61	2638,71	3,25	0,74	0,70	0,72
CEEBJA Prof. ^a Linda	3061,21	1623,89	2,04	0,40	0,75	0,63
Izidoro L. Cerávolo	12384,51	5579,20	2,47	0,40	0,65	0,53
Francisco A. Souza	1683,32	1103,57	2,07	0,40	0,73	0,59
Heitor C. A. Furtado	5019,80	2743,18	2,04	0,45	0,75	0,65
José de Anchieta	9157,53	4477,91	2,01	0,45	0,72	0,65
Cel. Luiz José dos Santos	4151,40	1928,15	2,08	0,52	0,77	0,70
Osmar Guaracy Freire	2202,32	1147,70	2,09	0,45	0,73	0,64
Polivalente de Apucarana	13367,81	5598,84	2,07	0,40	0,75	0,66
São Bartolomeu	5906,17	2509,61	2,02	0,52	0,72	0,66

Tabela 23 – Volume, área da envoltória, transmitância média e absorptâncias médias para as escolas de Arapongas.

Escolas em Estudo	Volume do Edifício Total	Área da Envoltória do Edifício	Transmitância Média da Envoltória da Edificação	Absortância Média das Paredes	Absortância Média das Coberturas	Absortância Média da Envoltória da Edificação
	(Vtot) (m ³)	(Aenv) (m ²)	(Umédia) (W / (m ² * K))	(α) —	(α) —	(α) —
Marquês de Caravelas	14926,20	6911,87	2,38	0,52	0,65	0,60
Emílio de Menezes	12799,86	6403,31	2,45	0,47	0,65	0,57
Francisco Ferreira Bastos	5090,70	2688,77	2,10	0,38	0,71	0,58
Antonio Garcez Novaes	10232,00	4834,09	2,61	0,40	0,77	0,61
Frei Graciano Droessler	3458,27	1914,44	2,11	0,40	0,80	0,63
Ivanilde de Noronha	5314,08	2636,47	2,10	0,40	0,71	0,60
Julia Wanderley	2327,36	1490,74	2,12	0,45	0,75	0,62
Julio Junqueira	2572,07	1487,98	2,12	0,45	0,77	0,63
Nadir Mendes Montanha	2581,62	1566,74	2,13	0,40	0,73	0,58
Antonio Racanello Sampaio	4209,86	2095,54	2,10	0,40	0,65	0,56
Unidade Pólo	7764,72	3755,58	2,09	0,45	0,71	0,63
Walfredo S. Correa	8830,30	4106,73	3,01	0,74	0,70	0,72

Nas Tabelas 24 e 25 observa-se os resultados dos cálculos dos fatores de forma (FF), fatores de altura (FA) e fatores solares (FS) com base nas informações dadas de cálculos nas Tabelas 16 a 23. Estes dados são necessários para efetivação do cálculo do índice de consumo da envoltória, índice de consumo de envoltória máximo e índice de consumo de envoltória mínimo.

Tabela 24 – Fator de Forma, Fator Altura e Fator Solar para as escolas de Apucarana.

Escolas em Estudo	Fator de Forma	Fator Altura	Fator Solar
	FF	FA	FS
	(Aenv / Vtot)	(Ape/Atot)	%
Alberto Santos Dumont	0,46	0,96	0,87
Carlos Massaretto	0,57	1,00	0,87
CEEBJA Prof. ^a Linda	0,53	1,00	0,87
Izidoro L. Cerávolo	0,45	0,82	0,87
Francisco A. Souza	0,66	1,00	0,87
Heitor C. A. Furtado	0,55	1,00	0,87
José de Anchieta	0,49	1,00	0,87
Cel. Luiz José dos Santos	0,46	1,00	0,87
Osmar Guaracy Freire	0,52	1,00	0,87
Polivalente de Apucarana	0,42	1,00	0,87
São Bartolomeu	0,42	1,00	0,87

Tabela 25 – Fator de Forma, Fator Altura e Fator Solar para as escolas de Arapongas.

Escolas em Estudo	Fator de Forma	Fator Altura	Fator Solar
	FF	FA	FS
Marquês de Caravelas	0,46	0,97	0,87
Emílio de Menezes	0,50	1,00	0,87
Francisco Ferreira Bastos	0,53	1,00	0,87
Antonio Garcez Novaes	0,47	1,00	0,87
Frei Graciano Droessler	0,55	1,00	0,87
Ivanilde de Noronha	0,50	1,00	0,87
Julia Wanderley	0,64	1,00	0,87
Julio Junqueira	0,58	1,00	0,87
Nadir Mendes Montanha	0,61	1,00	0,87
Antonio Racanello Sampaio	0,50	1,00	0,87
Unidade Polo	0,48	1,00	0,87
Walfredo S. Correa	0,47	1,00	0,87

As diferenças observadas nas edificações escolares quanto à tipologia de construção e consequente demonstração nos resultados de cálculo da transmitância média comprovam que a escolha do material e do método construtivo influencia diretamente nas características da edificação. Escolas que têm coberturas em fibro-cimento sem tratamento ou ainda cobertura em telhas metálicas sem forro como é o caso dos Colégios Alberto Santos Dumont e Carlos Massareto, se não tivessem no cálculo da transmitância média a transmitância das coberturas dos ginásios teriam transmitância média abaixo de $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Isto demonstra que o conforto nestas escolas, pode ser melhorado com reformas e adaptações.

Quanto a absorvância foi observado que Colégios como Walfredo Correa e Carlos Massareto, que têm construções em blocos cerâmicos aparentes, têm valores altos e consequentemente sua absorvância média também o será. Pinturas claras sobre tais blocos aliviarão sobremaneira a carga térmica imposta a estas edificações.

4.3.2 Indicadores de Consumo

A equação 2, dada pelo RTQ-C (BRASIL, 2009), permitiu calcular o indicador de consumo da envoltória (IC_{env}), dado este necessário para estabelecer o nível de eficiência energética estabelecido para a envoltória. O indicador de consumo da envoltória é calculado a partir de dados como: fator de forma, fator de altura, fator solar, porcentagens de aberturas nas fachadas e ângulos de sombreamento.

Os dados calculados e apresentados para as escolas de Apucarana (Tabela 26) e Arapongas (Tabela 27), permitem calcular utilizando-se da equação 2, o indicador de consumo da envoltória. Os indicadores de consumo informados com ressalva (hachurado) para os Colégios Carlos Massareto, CEEBJA e José de Anchieta na Tabela 26 e na Tabela 27 para o Colégio Marquês de Caravelas e Escola Estadual Julia Wanderley foram calculados com o percentual de abertura da fachada oeste, como apresentado anteriormente. Estes dados comprovam que valores de transmitâncias altos como para as coberturas do Colégio Marquês de Caravelas, absorvâncias altas para as paredes do Colégio Carlos Massareto

resultam em valores para os índices de consumo da envoltória altos. Quando as fachadas oeste, ainda não são bem orientadas na implantação ou não recebem algum tipo de proteção este problema se agrava como os Colégios José de Anchieta, Julia Wanderlei e CEEBJA.

Tabela 26 – Indicadores de consumo da envoltória e intervalo para as escolas de Apucarana.

Escolas em Estudo	Indicador de Consumo de Envoltória	Indicador de Cons. da Envoltória (lim. max.)	Indicador de Cons. da Envoltória (lim. min.)	Intervalo
	ICenv	ICmax	ICmin	
Alberto Santos Dumont	140,85	167,86	141,17	6,67
Carlos Massaretto	136,54	169,64	142,96	6,67
CEEBJA Prof. ^a Linda	148,10	169,46	142,77	6,67
Izidoro L. Cerávolo	137,14	169,12	142,43	6,67
Francisco A. Souza	134,51	168,07	141,38	6,67
Heitor C. A. Furtado	138,84	169,61	142,92	6,67
José de Anchieta	140,57	168,47	141,78	6,67
Cel. Luiz José dos Santos	137,40	167,40	140,72	6,67
Osmar Guaracy Freire	138,48	169,32	142,63	6,67
Polivalente de Apucarana	130,55	164,22	137,53	6,67
São Bartolomeu	132,92	164,75	138,06	6,67

Tabela 27 – Indicadores de consumo da envoltória e intervalo para as escolas de Arapongas.

Escolas em Estudo	Indicador de Consumo de Envoltória	Indicador de Cons. da Envoltória (lim. max.)	Indicador de Cons. da Envoltória (lim. min.)	Intervalo
	ICenv	ICmax	ICmin	
Marquês de Caravelas	134,09	167,77	141,08	6,67
Emílio de Menezes	139,12	168,83	142,15	6,67
Francisco Ferreira Bastos	139,91	169,43	142,74	6,67
Antonio Garcez Novaes	132,06	167,80	141,11	6,67
Frei Graciano Droessler	139,21	169,64	142,95	6,67
Ivanilde de Noronha	144,93	168,71	142,02	6,67
Julia Wanderley	144,75	168,50	141,81	6,67
Julio Junqueira	135,22	169,58	142,90	6,67
Nadir Mendes Montanha	138,82	169,24	142,55	6,67
Antonio Racanello Sampaio	139,39	168,76	142,07	6,67
Unidade Polo	144,72	168,27	141,59	6,67
Walfredo S. Correa	136,25	167,44	140,75	6,67

Nas Tabelas 28 e 29 é possível observar o nível do indicador de consumo da envoltória de cada uma das instituições de ensino baseadas nos limites máximos e mínimos de cálculo. Salienta-se que este nível nada tem a ver com o nível de Eficiência Energética da Envoltória da Edificação, representando somente o primeiro item de ponderação a ser observado quando da aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

O indicador de consumo da envoltória representa a análise das características da edificação. Fatores como altura, volume, percentual de abertura e materiais são impactantes neste indicador. Nas edificações educacionais estudadas foi possível perceber que as coberturas, ou seja, transmitâncias médias de cobertura do tipo cerâmica predominantes nas edificações tiveram influência positiva neste cálculo.

Tabela 28 - Indicadores de consumo de envoltória com limites e nível estabelecido para as escolas de Apucarana.

Alberto Santos Dumont	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	147,85	154,52	161,20	167,87
	limite máximo	147,84	154,51	161,19	167,86	----
	Icenv	140,85	nível estabelecido			A
Carlos Massaretto	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	149,64	156,31	162,98	169,65
	limite máximo	149,63	156,30	162,97	169,64	----
	Icenv	136,54	nível estabelecido			A
CEEBJA Prof.ª Linda	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	149,46	156,13	162,80	169,47
	limite máximo	149,45	156,12	162,79	169,46	----
	Icenv	148,10	nível estabelecido			A
Izidoro L. Cerávolo	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	149,12	155,79	162,46	169,13
	limite máximo	149,11	155,78	162,45	169,12	----
	Icenv	137,14	nível estabelecido			A
Francisco A. Souza	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	148,06	154,73	161,41	168,08
	limite máximo	148,05	154,72	161,40	168,07	----
	Icenv	134,51	nível estabelecido			A
Heitor C. A. Furtado	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	149,61	156,28	162,95	169,62
	limite máximo	149,60	156,27	162,94	169,61	----
	Icenv	138,84	nível estabelecido			A
José de Anchieta	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	148,47	155,14	161,81	168,48
	limite máximo	148,46	155,13	161,80	168,47	----
	Icenv	140,57	nível estabelecido			A
Cel. Luiz José dos Santos	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	147,40	154,07	160,74	167,41
	limite máximo	147,39	154,06	160,73	167,40	----
	Icenv	137,40	nível estabelecido			A
Osmar Guaracy Freire	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	149,31	155,98	162,66	169,33
	limite máximo	149,30	155,97	162,65	169,32	----
	Icenv	138,48	nível estabelecido			A
Polivalente de Apucarana	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	144,21	150,88	157,56	164,23
	limite máximo	144,20	150,87	157,55	164,22	----
	Icenv	130,55	nível estabelecido			A
São Bartolomeu	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	144,74	151,41	158,09	164,76
	limite máximo	144,73	151,40	158,08	164,75	----
	Icenv	132,92	nível estabelecido			A

Tabela 29 - Indicadores de consumo de envoltória com limites e nível estabelecido para as escolas de Araçongas.

	eficiência	A	B	C	D	E
Marquês de Caravelas	limite mínimo	----	147,76	154,43	161,11	167,78
	limite máximo	147,75	154,42	161,10	167,77	----
	Icenv	134,09	nível estabelecido			A
Emílio de Menezes	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	148,83	155,50	162,17	168,84
	limite máximo	148,82	155,49	162,16	168,83	----
	Icenv	139,12	nível estabelecido			A
Francisco Ferreira Bastos	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	149,42	156,10	162,77	169,44
	limite máximo	149,41	156,09	162,76	169,43	----
	Icenv	139,91	nível estabelecido			A
Antonio Garcez Novaes	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	147,79	154,46	161,13	167,81
	limite máximo	147,78	154,45	161,12	167,80	----
	Icenv	132,06	nível estabelecido			A
Frei Graciano Droessler	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	149,64	156,31	162,98	169,65
	limite máximo	149,63	156,30	162,97	169,64	----
	Icenv	139,21	nível estabelecido			A
Ivanilde de Noronha	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	148,70	155,38	162,05	168,72
	limite máximo	148,69	155,37	162,04	168,71	----
	Icenv	144,93	nível estabelecido			A
Julia Wanderley	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	148,50	155,17	161,84	168,51
	limite máximo	148,49	155,16	161,83	168,50	----
	Icenv	144,75	nível estabelecido			A
Julio Junqueira	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	149,58	156,25	162,92	169,59
	limite máximo	149,57	156,24	162,91	169,58	----
	Icenv	135,22	nível estabelecido			A
Nadir Mendes Montanha	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	149,24	155,91	162,58	169,25
	limite máximo	149,23	155,90	162,57	169,24	----
	Icenv	138,82	nível estabelecido			A
Antonio Racanello Sampaio	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	148,75	155,43	162,10	168,77
	limite máximo	148,74	155,42	162,09	168,76	----
	Icenv	139,39	nível estabelecido			A
Unidade Polo	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	148,27	154,94	161,61	168,28
	limite máximo	148,26	154,93	161,60	168,27	----
	Icenv	144,72	nível estabelecido			A
Walfredo S. Correa	eficiência	A	B	C	D	E
	limite mínimo	----	147,43	154,10	160,77	167,45
	limite máximo	147,42	154,09	160,76	167,44	----
	Icenv	136,25	nível estabelecido			A

Com os dados apresentados nas Tabelas 28 e 29 é possível observar que as vinte e três escolas apresentaram indicador “A” o que demonstra como a escolha de materiais, técnicas construtivas, implantação correta respeitando a orientação solar pode ser relevante aos indicadores de consumo de uma edificação. As porcentagens de abertura nas fachadas, o fator solar foram condicionantes favoráveis para que os níveis dos indicadores de consumo da envoltória tivessem tais níveis.

4.3.3 Determinação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória

Tomando por base os dados apresentados e o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), anexo da portaria Inmetro 163 de 08 de junho de 2009, pode-se chegar a algumas considerações. Quanto às escolas em estudo, foi possível uma classificação final por níveis de eficiência energética no quesito envoltória. Para as edificações destinadas às Instituições de Ensino, no município de Apucarana (Tabela 30) e para as do município de Arapongas (Tabela 31), têm-se:

Para se atingir a eficiência energética no nível “A” a edificação deve primeiramente, no cálculo do Indicador de Eficiência da Envoltória, receber pontuação para tal nível. Deve ainda respeitar a exigência do RTQ-C (BRASIL, 2009):

- para cobertura em ambientes condicionados com transmitância inferior a $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e em ambientes não condicionados inferior a $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Também a exigência da transmitância térmica de paredes externas nas zonas bioclimáticas 1 a 6 (região do estudo que pertence à zona bioclimática 3) ser inferior a $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- quanto à absorvância de superfícies para zonas bioclimáticas 2 a 8 e coberturas não aparentes ser inferior a 0,4 (cores claras).

Nestas exigências, as edificações que atenderam a todos os requisitos e exigências foram:

- em Apucarana a Escola Estadual Francisco A Souza e o Colégio Estadual Polivalente.
- em Arapongas um número maior de edificações passou por este crivo, sendo: Colégios Estaduais Francisco Ferreira Bastos, Ivanilde de Noronha, Nadir Mendes Montanha e Antonio Racanello Sampaio, além da Escola Estadual Frei Graciano Droessler.

Para se atingir nível “B” em eficiência energética a edificação deve atender as mesmas exigências do nível “A” com exceção da transmitância para cobertura em ambientes condicionados que, neste caso, tem um valor inferior, ou seja, $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Como nenhuma edificação do estudo tem ambiente condicionado, se a escola não foi contemplada com nível “A” também não será contemplada com nível “B”, neste estudo.

Para os níveis “C” e “D”, além do cálculo de Indicador de consumo da envoltória mostrar que a edificação tem “C” ou “D” de pontuação, esta deve atender outros requisitos do RTQ-C (BRASIL, 2009), tais como:

- possuir transmitância de cobertura inferior a $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e também que a transmitância de paredes externas nas zonas bioclimáticas 1 a 6 seja inferior a $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Como o RTQ-C é omissivo quanto a absorvância de superfícies externas, neste item, oito edificações que tinham índice de consumo da envoltória “A” se adequaram a este item, recebendo nível “C”, tendo em vista que no quesito absorvância, não puderam se adequar aos níveis “A” ou “B”.
- em Apucarana, foram essas edificações: Colégios Estaduais Heitor C. A. Furtado, José de Anchieta, Coronel Luiz Jose dos Santos, Osmar Guaracy Freire e São Bartolomeu. O CEEBJA Prof. Linda também se adequou ao nível “C”, em virtude de sua cobertura ser do tipo não aparente e a mesma apresentar valores de absorvância acima dos limites exigidos para obtenção dos níveis “A” e “B”.
- em Arapongas, a Escola Estadual Julia Wanderlei, e os Colégios Estaduais Júlio Junqueira e Unidade Pólo, apresentaram característica e cálculos compatíveis com este nível.

Para o nível “E”, os que não respeitaram ou não se enquadraram nos níveis anteriores, são imediatamente contemplados com este nível. Sete escolas obtiveram este nível de eficiência energética da envoltória:

- em Apucarana, os Colégios Alberto Santos Dumont, Carlos Massaretto e Izidoro Luiz Cerávolo e;
- em Arapongas, os Colégios Estaduais Marquês de Caravelas, Emilio de Menezes, Antonio Garcez Novaes e Walfredo S. Correa tiveram transmitância da cobertura acima de $3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ e, portanto, não puderam receber níveis maiores que este “E”.

Nas Tabelas 30 e 31 são mostrados os resumos com os níveis de Eficiência Energética da Envoltória para as Instituições de Ensino de Apucarana e Arapongas.

Tabela 30 – Níveis de Eficiência Energética da Envoltória para Instituições de Ensino do município de Apucarana.

<i>Escolas em Estudo</i>	<i>Classificação</i>
Alberto Santos Dumont	E
Carlos Massaretto	E
CEEBJA Prof. ^a Linda	C
Izidoro L. Cerávolo	E
Francisco A. Souza	A
Heitor C. A. Furtado	C
José de Anchieta	C
Cel. Luiz José dos Santos	C
Osmar Guaracy Freire	C
Polivalente de Apucarana	A
São Bartolomeu	C

Tabela 31 – Níveis de Eficiência Energética da Envoltória para Instituições de Ensino do município de Arapongas.

<i>Escolas em Estudo</i>	<i>Classificação</i>
Marquês de Caravelas	E
Emílio de Menezes	E
Francisco Ferreira Bastos	A
Antonio Garcez Novaes	E
Frei Graciano Droessler	A
Ivanilde de Noronha	A
Julia Wanderley	C
Julio Junqueira	C
Nadir Mendes Montanha	A
Antonio Racanello Sampaio	A
Unidade Pólo	C
Walfredo S. Correa	E

As edificações que receberam classificação “B” a “E” podem ser enquadradas ou melhoradas suas classificações se forem tratados algumas variáveis. No caso das coberturas telhas cerâmicas de cor clara diminuem a absorvância. No caso das paredes externas a pintura de paredes de tijolos aparentes ou paredes emboçadas por tintas com cores claras ($\alpha < 0,4$) faz também que as edificações tenham uma melhora na sua classificação. Aberturas em fachadas com orientação oeste devem ser evitadas. Coberturas ainda de pátios fechados cobertos e ginásios de esportes deverão ser trocados ou revestidos com forros e mantas para melhorar a transmitância.

O Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos permite a etiquetagem parcial, somente no caso do item envoltória. Se fosse o caso, de análise de edificações para etiquetagem, as edificações constantes nas Tabelas 30 e 31 poderiam receber a etiqueta (ENCE) (Figura 11). Salieta-se o fato de que, a etiqueta representada na Figura 11 é para uma edificação contemplada com o nível “A”. As demais edificações deveriam receber o nível de eficiência energética da envoltória (“B”, “C”,

4.4.1 Consumo de Energia Elétrica nas Escolas de Apucarana e Araçongas

As Figuras 12 e 13 mostram os consumos de energia elétrica nas escolas de Apucarana e Araçongas entre 2007 e 2008. A Figura 12 apresenta o consumo para as escolas do município de Apucarana. Os Colégios Izidoro L Cerávolo, José de Anchieta e Polivalente de Apucarana apresentam valores de consumo de energia elétrica que destoam e conseqüentemente chamam a atenção. Estes por serem colégios de grande porte e área construída e por conseqüência têm o maior consumo, porém o CEEBJA tem um baixo consumo, mesmo com o maior número de alunos. O que explica tal fato é a área construída ser a terceira menor ficando somente à frente, em área construída, do Osmar Guaracy Freire e do Francisco A Souza. Outra explicação é a de o CEEBJA trabalhar com jovens e adultos, com maior consciência e cuidado com desperdícios.

Já na Figura 13, para o município de Araçongas, os Colégios Marques de Caravelas, Antonio Garcez Novaes e Unidade Polo destoam em consumo e também em área. O Colégio Emílio de Menezes é o segundo em área e também fica aquém nos consumos com energia elétrica. Para o ano de 2008 o consumo foi equivalente, porém, um pico foi notado para os meses de março, abril e maio com ápice em abril, mostrados nas Figuras 12 e 13. Em questionamentos aos diretores dos colégios, e junto aos responsáveis da Secretaria de Educação foi considerado como sazonalidade e possível falha de medição por parte do órgão responsável, mas algumas informações salientam que jogos escolares, neste período, podem ter acarretado tal consumo excessivo.

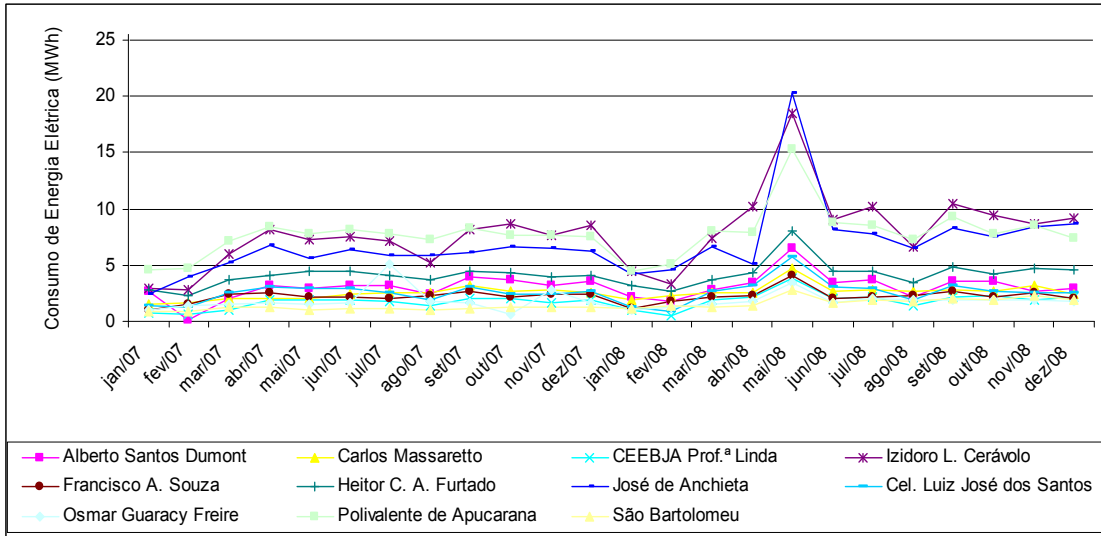


Figura 12 – Consumo mensal de energia elétrica para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

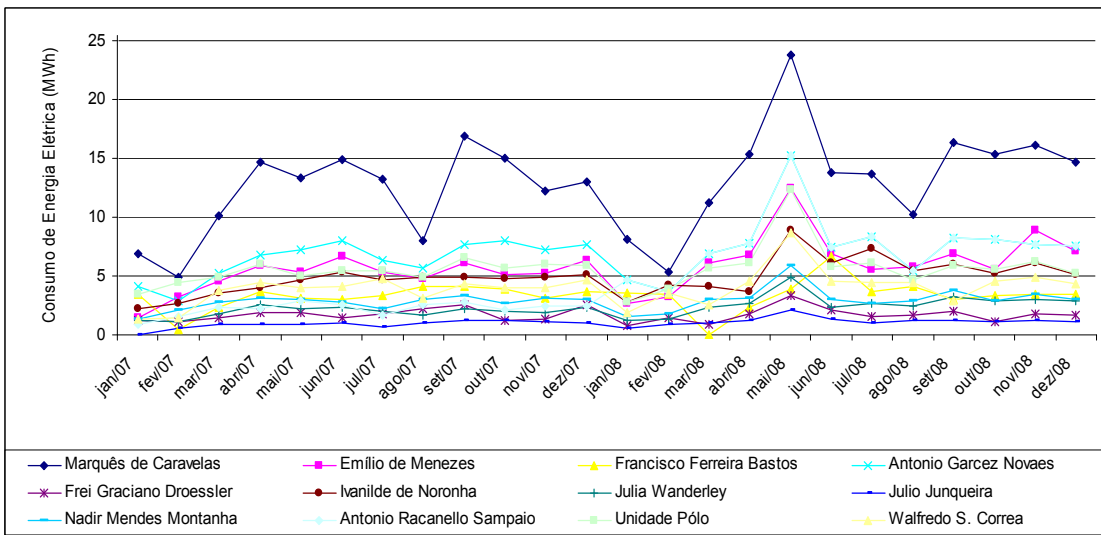


Figura 13 – Consumo mensal de energia elétrica para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

As Figuras 14 e 15 apresentam resultados de consumo de energia elétrica mensal por área. Pode-se observar que em Apucarana (Figura 14) o Colégio Francisco A. Souza, de pequeno porte, tem média de consumo anual por área, da ordem de 41,58 kWh/m² ao ano em 2007, e de 43,80 kWh/m² ao ano em 2008, bem superior aos colégios de maior porte. Já em Arapongas (Figura 15) aparecem situações semelhantes, com o colégio Nadir Montanha entre os três menores em área edificada, porém com o maior consumo de energia elétrica da ordem 37,71 kWh/m² ao ano em 2007 e do Colégio Antonio Racanello Sampaio da ordem de

69,42 kWh/m² ao ano em 2008. Este último sendo mais de 77% acima da média anual do maior colégio de Arapongas e tendo 31% da área. Estes fatos foram elucidados e mostraram que obras de reparos e melhoria no Francisco A. Souza com construção de sala de aula e no Racanello com construção de quadra de esportes com instalação de iluminação externa provocaram as variações. No Colégio Nadir a construção de casa do zelador também foi a justificativa para tal alteração.

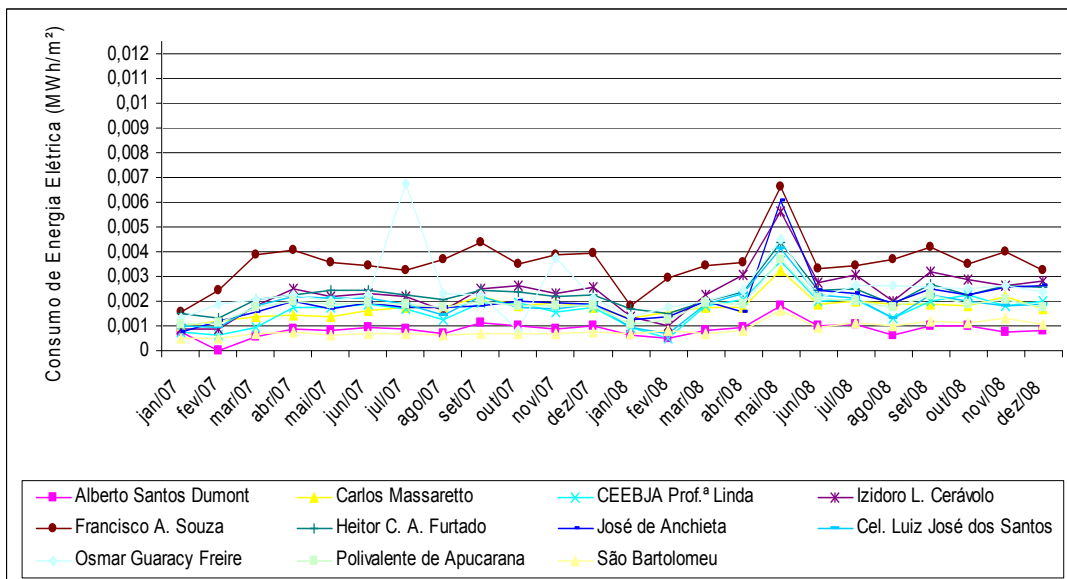


Figura 14 – Consumo mensal de energia elétrica por área para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

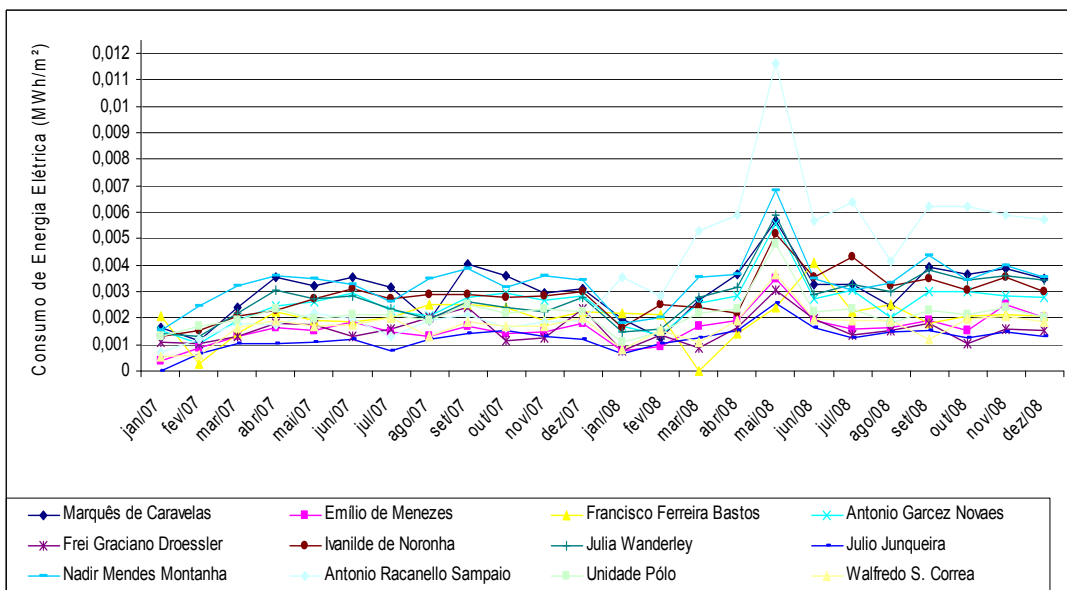


Figura 15 – Consumo mensal de energia elétrica por área para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

A Figura 16 mostra o consumo de energia elétrica para dois anos de referência, 2007 e 2008 em Apucarana. Neste gráfico é possível verificar que o consumo sofre pequena variação de 2007 para 2008 com pouco aumento no consumo na segunda série de referência. Justifica-se este aumento pela instalação de equipamentos de laboratórios e computadores nas escolas, por parte do governo estadual do Paraná, ficando, assim, dentro da normalidade, no entendimento deste trabalho e pelo levantamento dos equipamentos.

Somente a escola Osmar G. Freire teve diminuição em cerca de 1% do consumo de energia elétrica na relação com as demais escolas no período entre 2007 e 2008. Fato este, considerado normal por existir um controle da gestão escolar de gastos de energia elétrica com instalações de luminárias fluorescentes e controles de ambientes iluminados, sem efetivo uso. Ainda sobre a instalação de novos equipamentos, estes foram somente de informática e em número reduzido pelo tamanho da escola.

Em Arapongas o mesmo ocorreu como mostrado na Figura 17. As escolas em 2008 sofreram um aumento de consumo de energia. Uma escola chama a atenção com uma variação da ordem de 340% no aumento do consumo de energia elétrica. Este fato se deve além da instalação de novos equipamentos, pela construção de uma quadra e a instalação de refletores nesta escola. Porém merece um acompanhamento futuro de comportamento deste consumo e averiguação de possíveis variações.

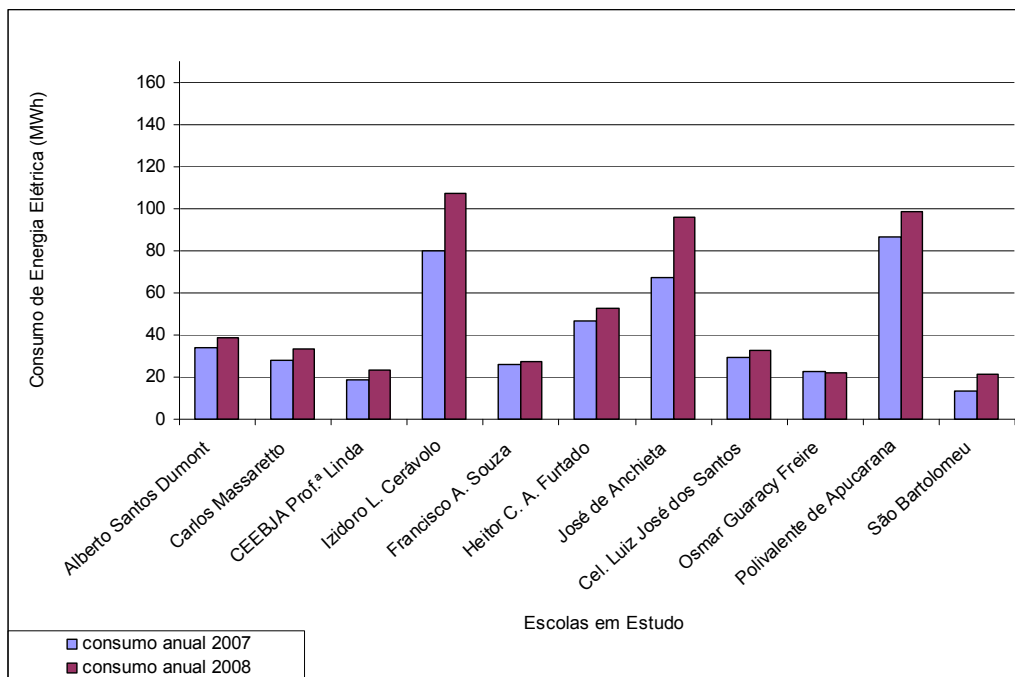


Figura 16 – Consumo anual de energia elétrica para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

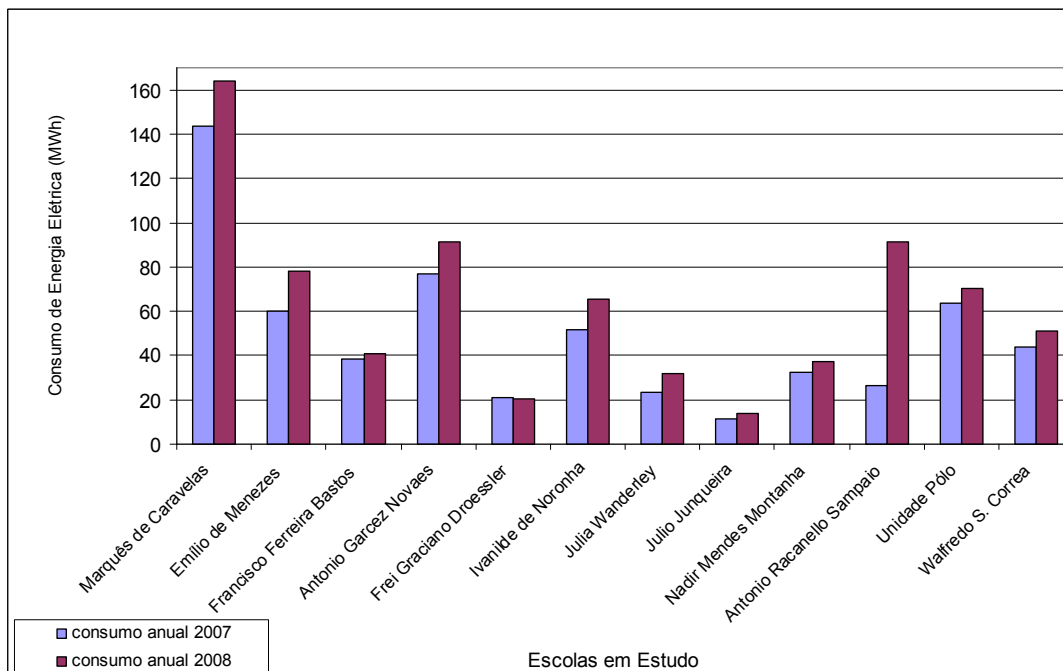


Figura 17 – Consumo anual de energia elétrica para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

Os dados foram transformados em consumo anual por área (Figuras 18 e 19) e algumas variações puderam ser notadas. O Colégio Estadual Antonio Racanello Sampaio teve um consumo de energia elétrica por área edificada da ordem de 237% acima da média das 23 edificações estudadas em 2008 e sendo somente 28% maior que a média da área edificada do mesmo lote estudado. A escola Francisco A. de Souza de Apucarana desponta como um consumo alto, frente à média das edificações e também é considerada uma escola pequena em relação às demais.

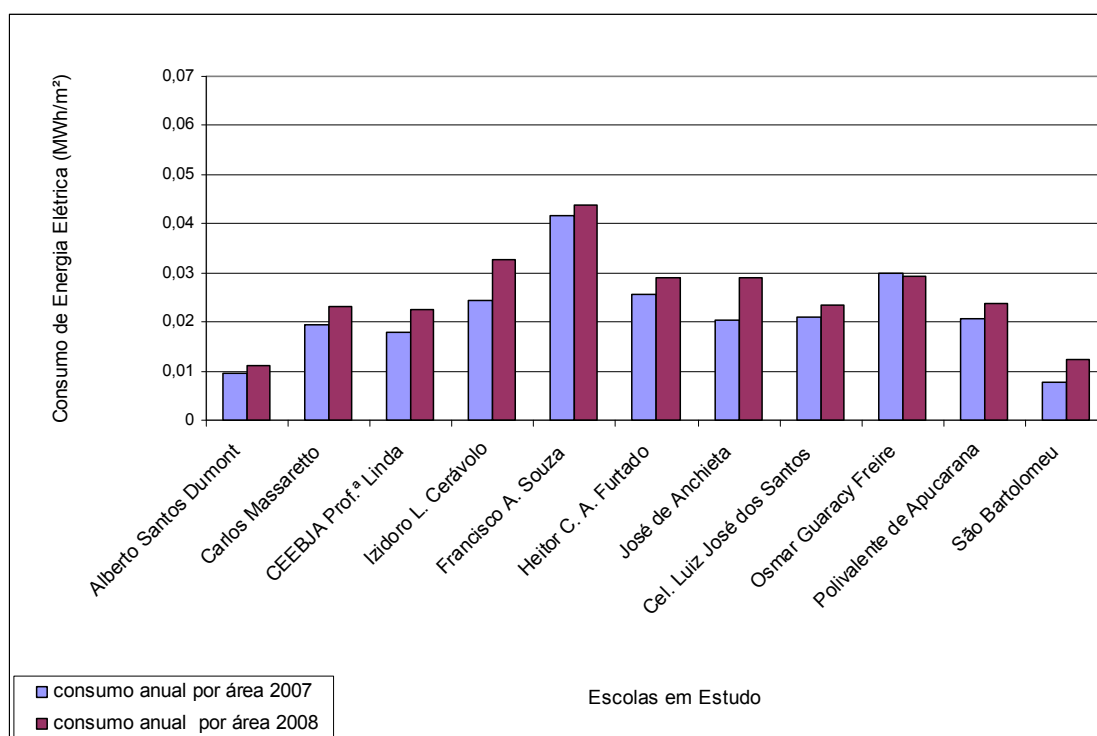


Figura 18 – Consumo anual de energia elétrica por área para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

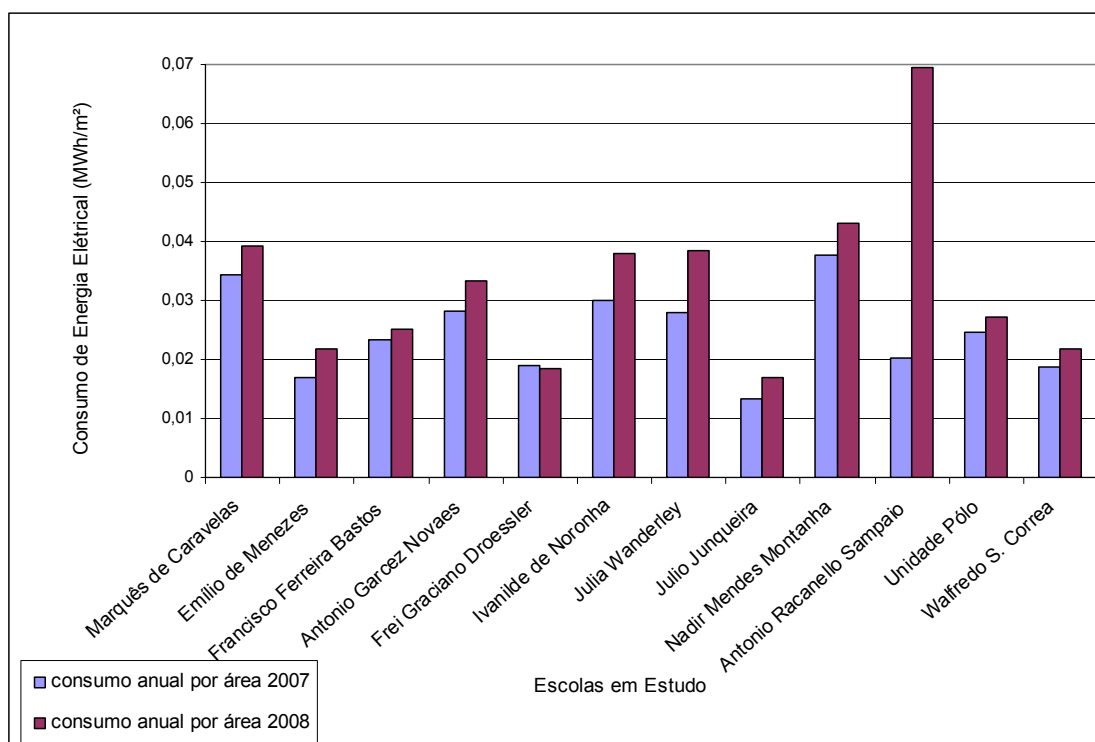


Figura 19 – Consumo anual de energia elétrica por área para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

A escola Antonio Racanelo Sampaio é a que desponta com aumento de consumo de energia elétrica por área maior em relação às vinte e três escolas estudadas. As obras neste colégio provocaram tal variação, nas informações dos gestores e do núcleo de educação do estado. Todas as escolas têm acréscimo de consumo de energia elétrica demandada pela instalação de novos equipamentos, seja de informática, televisores *pen drive*¹⁰ ou pelos equipamentos de iluminação de quadras esportivas. Este aumento da carga instalada é um dos motivos para se trabalhar a eficiência energética dentro dos estabelecimentos de ensino.

¹⁰ TV *Pen Drive* é um televisor instalado pelo estado do Paraná, nas salas de aula, que permite a conexão por meio de *pen drives* com aulas interativas e material didático obtido pelos professores diretamente no *site* do estado.

4.4.2 Consumo de Água nas Escolas de Apucarana e Arapongas

Na verificação de consumo de água nas escolas de Apucarana e Arapongas, mostrados em referências mensais nas Figuras 20 a 23, as informações a respeito de medições, aferições e lançamentos foram obtidas junto à secretaria estadual de educação do Paraná. O Colégio Estadual Coronel Luiz José dos Santos de Apucarana e Escola Estadual Frei Graciano Drooesler de Arapongas não tem informações quanto ao consumo de água. O primeiro está localizado em um distrito de Apucarana e tem seu consumo aferido pela prefeitura. O segundo está localizado em um distrito de Arapongas e tem fornecimento de água através de poço artesiano comunitário. Foram mantidos na listagem por estarem com consumo de energia elétrica, levantado e validado pelo critério de seleção inicial e ainda possuírem cálculos de nível de eficiência energética da envoltória. Estas duas escolas têm suas referências de consumo de água, a partir da média das demais escolas.

Nas Figuras 20 e 21 é possível observar que nas escolas, tanto de Apucarana como de Arapongas o consumo mensal em 2007 foi bastante variável entre os meses, o que já não ocorreu no ano de 2008. Outra observação é que em Apucarana (Figura 20), o colégio que em 2007 despontava como maior consumo por mês e tinha as maiores variações foi o José de Anchieta e que em 2008 teve seu consumo normalizado e ainda até com redução de consumo frente aos demais. Também em Arapongas (Figura 21) o colégio Garcez Novaes teve um pico de consumo no final de 2007 com consumo da ordem de 266% acima da média anual dos demais colégios.

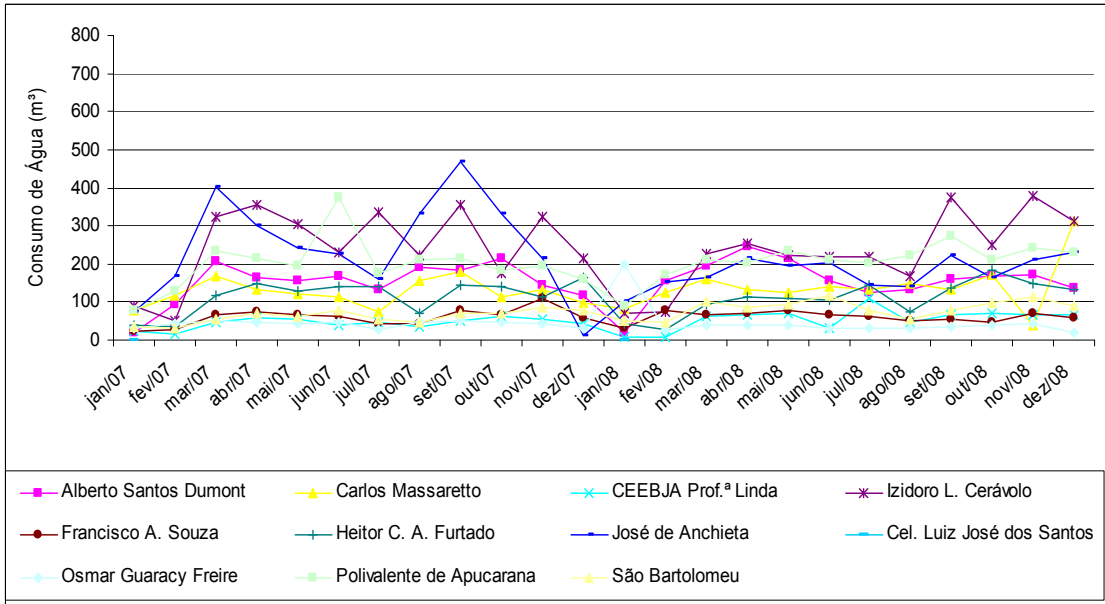


Figura 20 – Consumo mensal de água em m³ para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

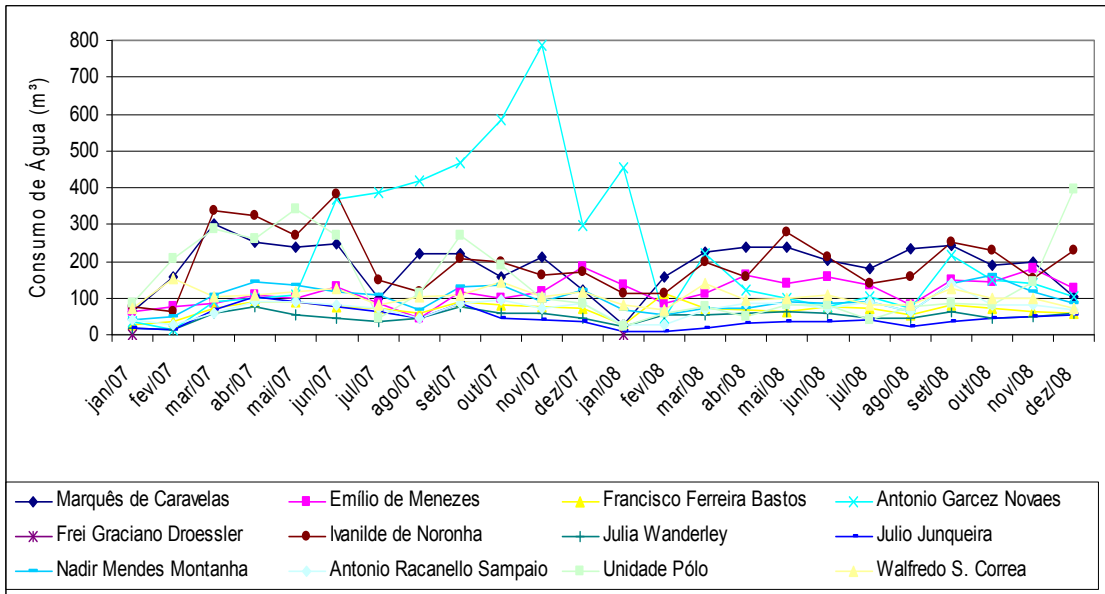


Figura 21 – Consumo mensal de água em m³ para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

Nas Figuras 22 e 23, consumos por aluno (litros/aluno) foram obtidos. Salienta-se o fato de que nos meses de janeiro de 2008 e dezembro do mesmo ano, picos de consumo foram observados em Apucarana (Figura 22). As escolas Osmar G. Freire e Carlos Massaretto tiveram consumo muito alto, o primeiro da ordem de 647 litros por aluno por mês e o segundo com consumo de 719 litros

por aluno por mês. Verificando com os gestores escolares e o núcleo regional de educação, foi alegado que vazamentos provocaram este consumo excessivo.

Quanto à Figura 23, para Arapongas, o colégio Garcez Novaes teve um pico de consumo no final de 2007 da ordem de 266% acima da média anual dos demais colégios, similar ao consumo por mês. Isto ocorreu, pois, a conversão de m³ por mês para litros/aluno ao mês houve uma coincidência de que a escola referência tinha cerca de 100 alunos. Este consumo de 704 litros por aluno por mês, provocado por problemas na instalação hidráulica do edifício, foi resolvido no começo do ano seguinte.

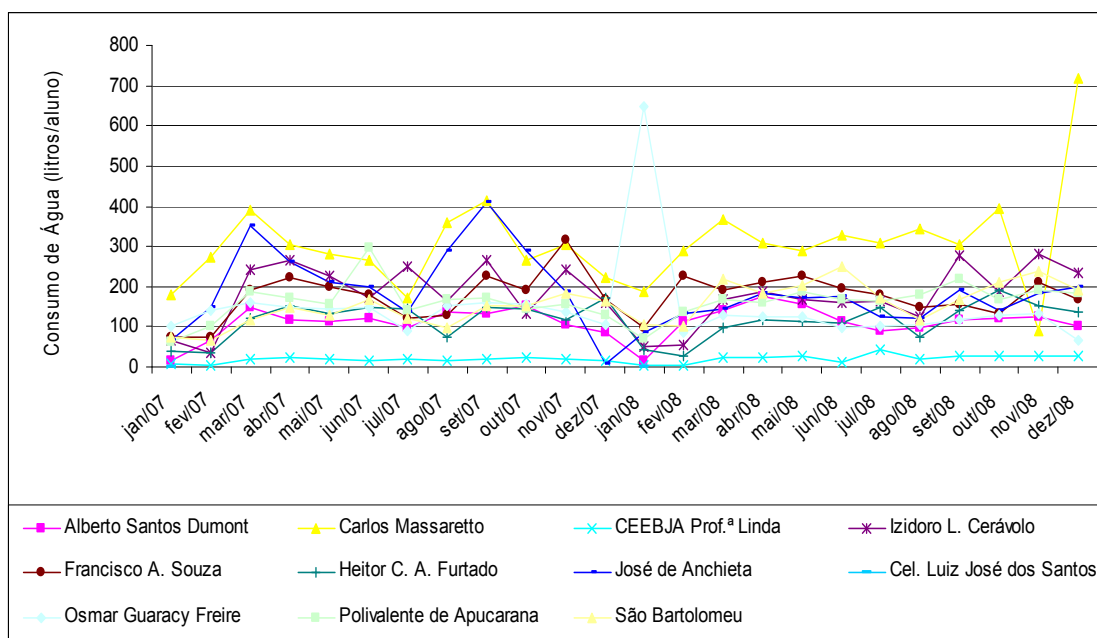


Figura 22 – Consumo mensal de água em litros/aluno para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

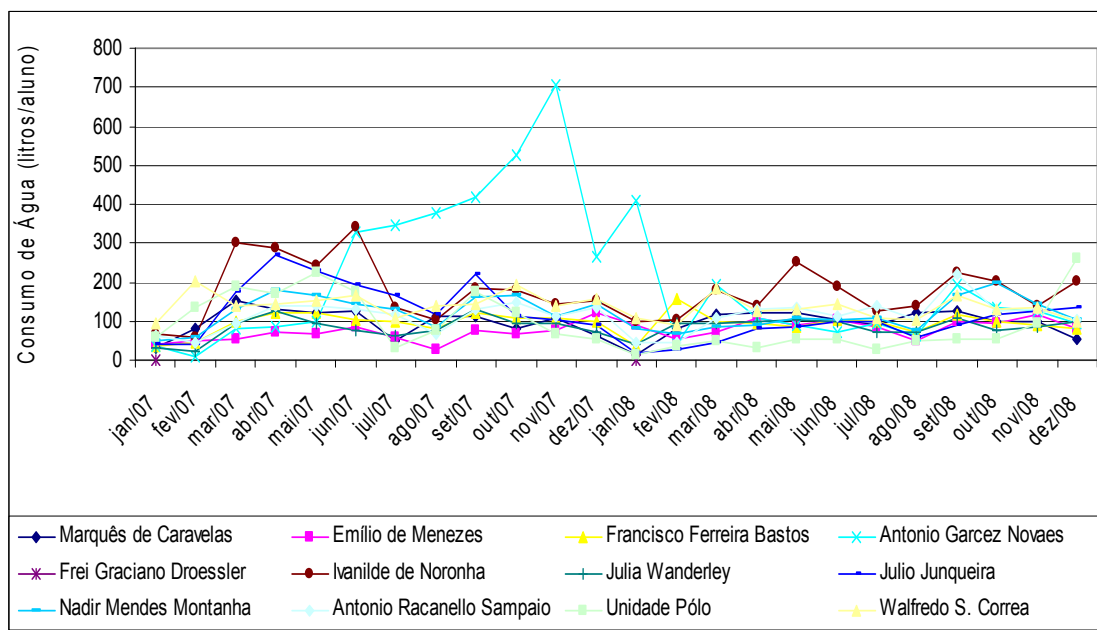


Figura 23 – Consumo mensal de água em litros/aluno para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

As Figuras 24 a 29 demonstram comparativos entre consumo de água das escolas anualmente. São apresentados consumos em m^3 , em m^3 por área e em litros por aluno.

Em Apucarana, três colégios tiveram consumo alto, quando comparados às demais escolas, com manutenção destes consumos, em 2008. Mostra-se tal fato na Figura 24, a menos do Colégio Estadual José Anchieta que teve 37% de redução do consumo de água a partir dos dados de 2007.

Em Arapongas, o colégio Antonio Garcez Novaes (Figura 25) teve um consumo de água muito alto em 2007, da ordem de $3600m^3$ baixando para $1800m^3$ em 2008. Alega-se, para tal, controle de gastos e alteração de partes hidráulicas da edificação com reformas.

Quando transformados os dados em consumo anual por área (m^3/m^2 ao ano), foi observado que as pequenas edificações, em relação às maiores, tiveram consumo alto pela área construída. Um exemplo, com o consumo de energia elétrica, pode ser visto em Apucarana com na escola Estadual Francisco Souza (Figura 26) e em Arapongas, na escola Estadual Nadir Montanha (Figura 27). Não foi possível verificar em consultas e *in loco* quaisquer irregularidades que permitissem comentários quanto a estes gastos.

Para tentar elucidar fatos de consumo por área foram elaboradas comparações de litros por aluno por ano. Estas comparações estão apresentadas nas Figuras 28 e 29. A escola Carlos Massaretto em Apucarana (Figura 28) tem um consumo *per capita* da ordem de 3500 litros/aluno no ano de 2007, aumentando para 3900 litros/aluno no ano de 2008. Este consumo exagerado foi objeto de observações e visitas *in loco*. Foram observados vazamentos em áreas de banheiros que foram posteriormente sanados.

Na Figura 29, em Arapongas, as escolas Antonio Garcez Novaes e Ivanilde de Noronha foram as que chamaram a atenção. Na primeira, como já referido, existia um vazamento em 2007 e início de 2008 e provocou aumento de consumo por aluno. Já a escola Ivanilde, após vistoria *in loco*, foi observada que a grande área descoberta, pela lavagem de piso, pode estar provocando este elevado consumo.

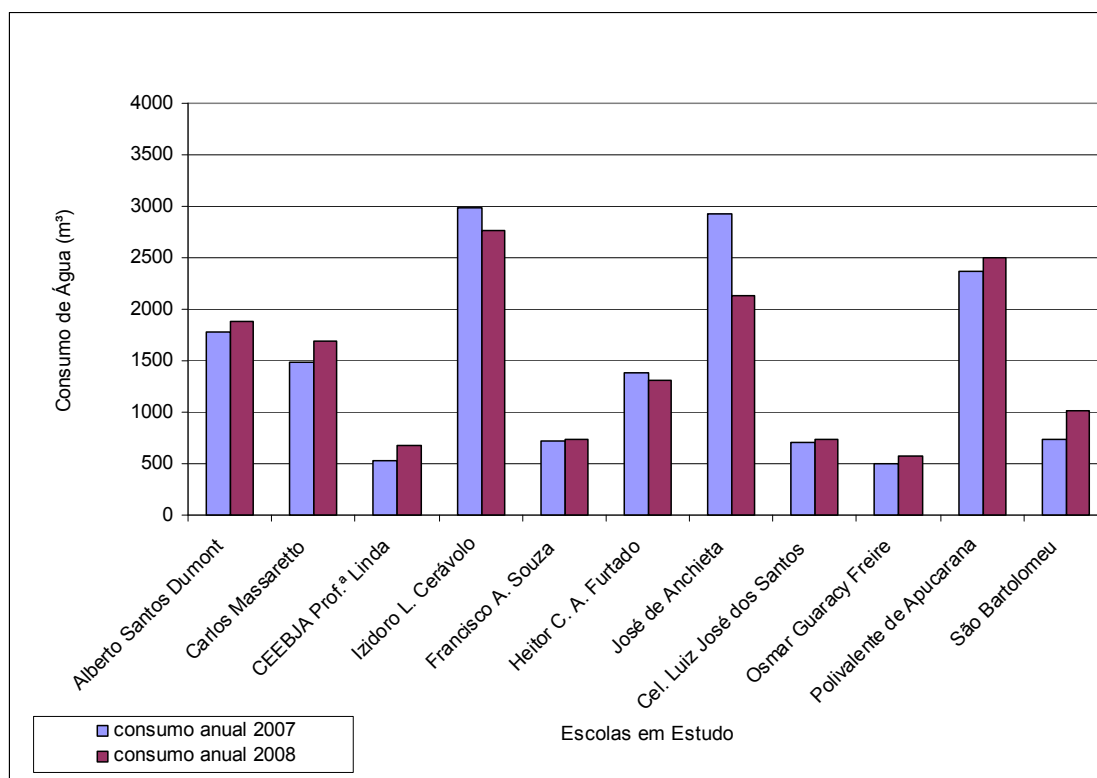


Figura 24 – Consumo anual de água para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

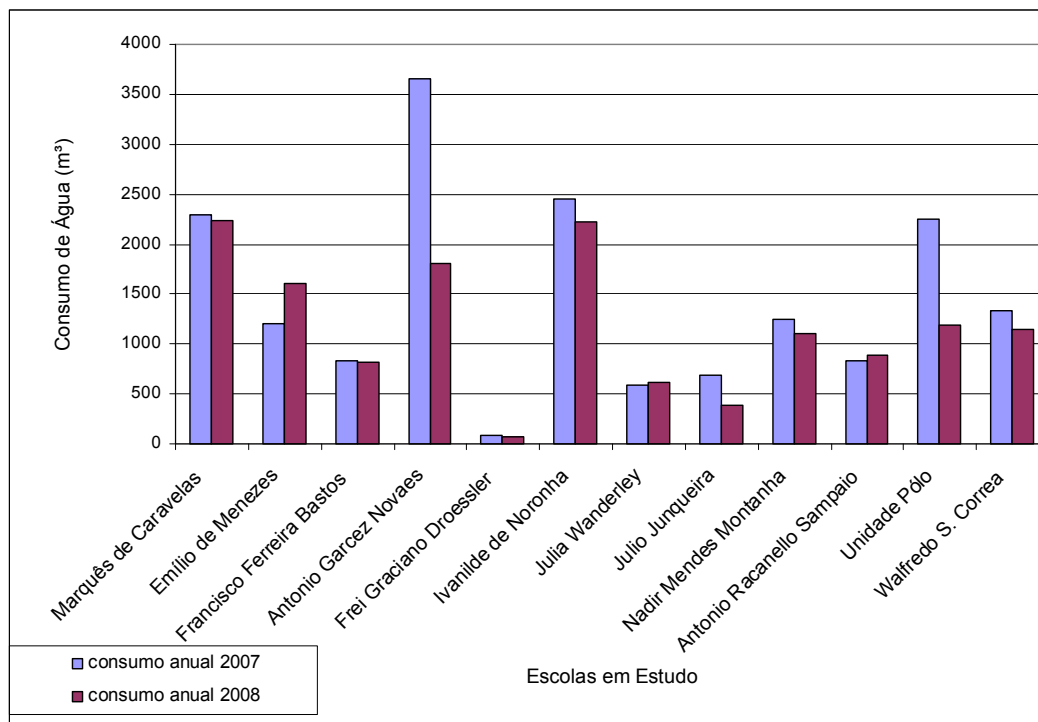


Figura 25 – Consumo anual de água para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

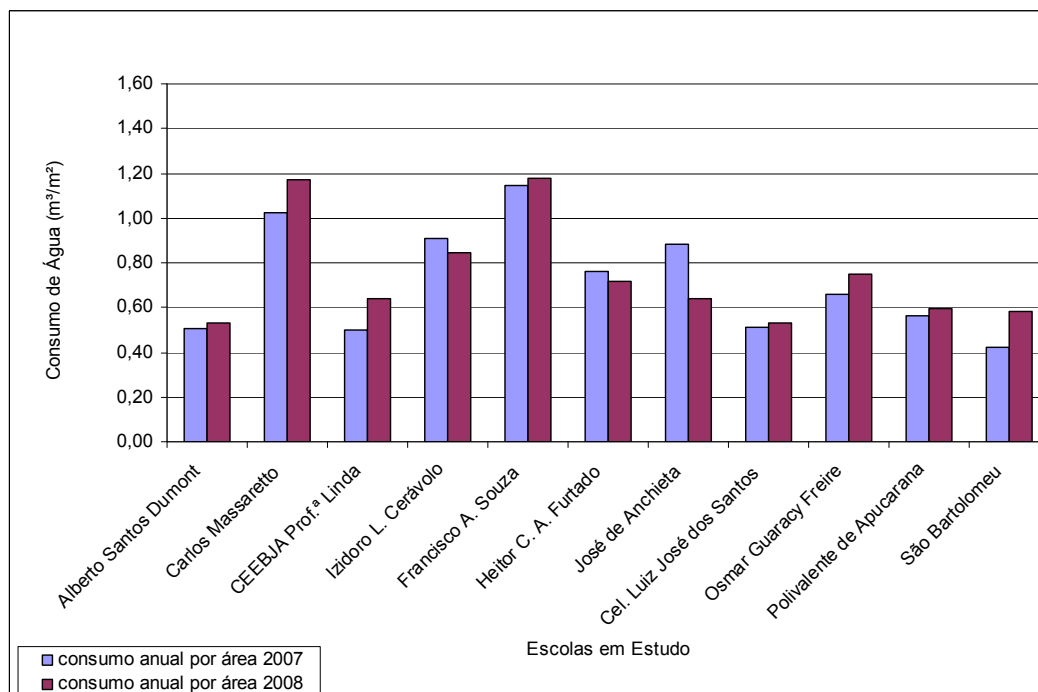


Figura 26 – Consumo anual de água por área para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

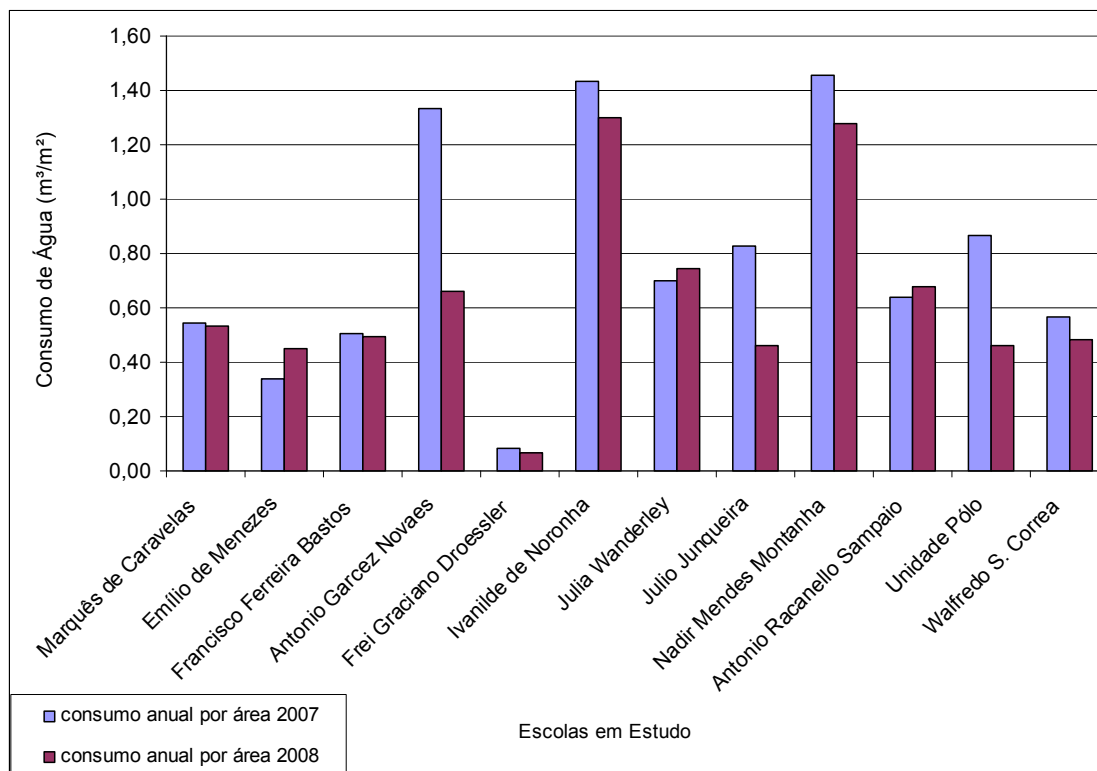


Figura 27 – Consumo anual de água por área para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

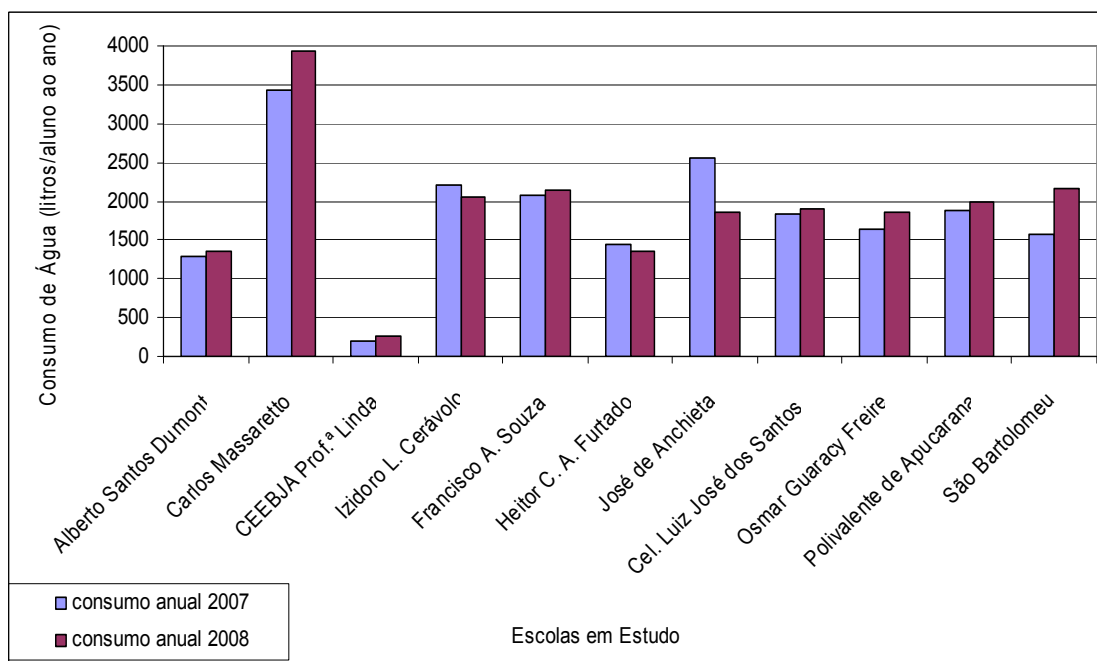


Figura 28 – Consumo anual de água em litros por aluno para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

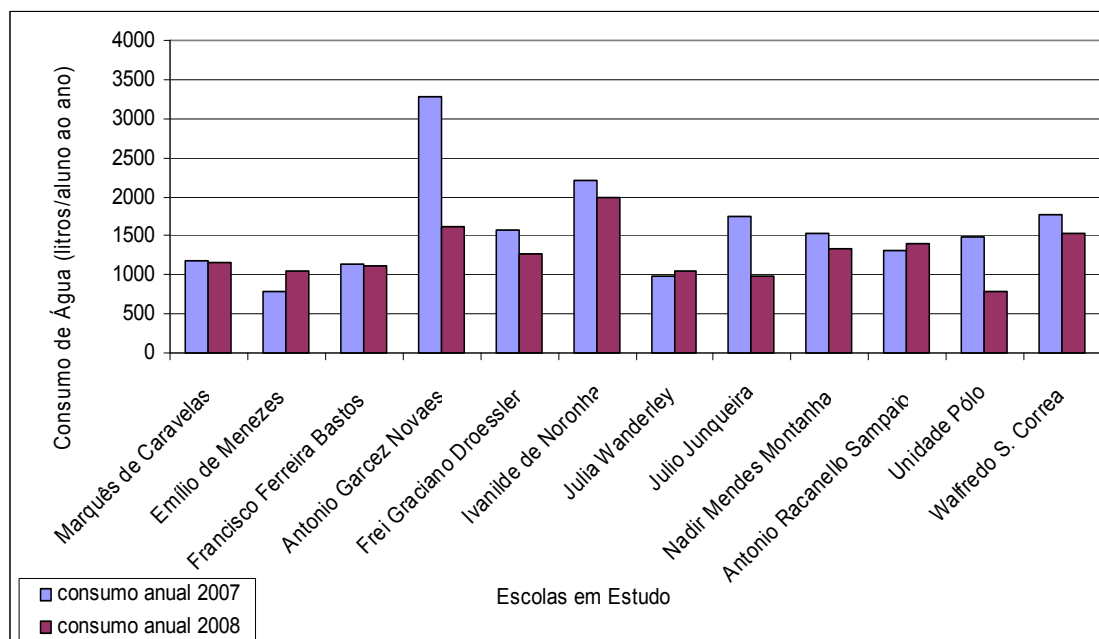


Figura 29 – Consumo anual de água em litros por aluno para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

A comparação entre as informações apresentadas nos gráficos (Figuras 24 a 29) demonstra que os consumos podem variar quando observadas as áreas das edificações e o número de usuários. A observação de consumo *per capita*, mostra que escolas menores podem ter consumo de água irrelevante, porém outras escolas consumos altos com áreas construídas similares. Isto comprova muitas vezes os desperdícios, falhas de utilização ou podem mostrar falhas no sistema hidráulico que podem orientar os gestores na tomada de decisão.

4.5 CORRELAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA E OS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA E ÁGUA

Quanto à correlação¹¹ do nível de Eficiência Energética da Envoltória com os consumos de energia elétrica e água há de se frisar o entendimento dos gráficos. Foram adotados equivalentes numéricos conforme a Tabela 2, obtida no RTQ-C. Posteriormente, estes equivalentes do nível de eficiência energética da envoltória foram comparados em forma de gráfico de correlação com as médias dos consumos de energia elétrica e água entre 2007 e 2008 (Figuras 30 a 35). Os gráficos de correlação com regressão linear mostram para as vinte e três Instituições de Ensino, o equivalente para o nível de eficiência da envoltória adimensional e os consumos médios entre 2007 e 2008 em kWh/m² (Figuras 30 e 31), m³/m² (Figuras 32 e 33) e ainda em litros/aluno (Figuras 34 e 35). A Figura 36 mostra, de forma complementar, a correlação entre o nível de eficiência energética e a idade das 23 edificações estudadas.

Na Figura 30 pode-se observar que o valor de R² é 0,38. A correlação entre o consumo de energia elétrica em kWh/m² para as escolas do município de Apucarana é fraca. Existe uma dispersão dos resultados de nível de eficiência energética da envoltória, principalmente nos níveis 1 e 5 (“A” e “E”) e seus respectivos consumos. Na Figura 31 que trata das mesmas variáveis, porém para as escolas de Arapongas, a correlação é ainda menor. O valor do R² é de 0,0805 e, portanto, demonstra que não há praticamente correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória e o consumo de energia elétrica em kWh/m². Observa-se na Figura 31, que os dados são bem dispersos em todos os níveis considerados (“A”, “C” e “E”).

Quanto à verificação das Figuras 32 e 33, são correlacionados os níveis de eficiência energética da envoltória das escolas de Apucarana e Arapongas (respectivamente) com os consumos de água em m³/m². Na Figura 32 o valor de R² ficou em 0,0152, ainda mais próximo de zero, e que demonstra pouca ou quase nenhuma correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória para as

¹¹ Os valores do coeficiente de correlação são dados entre -1 e +1. Um valor próximo de 1 indica que duas variáveis *x* e *y* estão perfeitamente relacionadas (ANDERSON *et al*, 2007; CALDEIRA *et al*, 2008)

escolas de Apucarana e seus respectivos consumos de água (m^3/m^2). Pode-se observar que os níveis 1 e 5 estão bem distantes da reta de regressão. Na Figura 33, para as escolas de Araçongas, mesmo com as discrepâncias apresentadas anteriormente houve uma maior correlação mesmo sendo muito fraca, com R^2 igual a 0,0463, melhor, portanto que as escolas de Apucarana.

As Figuras 34 e 35 mostram gráficos em que o nível de eficiência energética da envoltória é correlacionado com o consumo de água por pessoa em litros/aluno. Pode-se observar que, para as escolas de Apucarana (Figura 34), a correlação é baixa com R^2 igual a 0,0389, ou seja quase nenhuma correlação. Os consumos para as escolas do nível 1 (“E”) estão bem dispersos o que provoca uma diminuição da correlação. Para a Figura 35 a situação não é diferente sendo que o R^2 é 0,0012, estando, portanto, a correlação do nível de eficiência energética da envoltória e o consumo de água em litros/pessoa descartada.

Na Figura 36 pode ser observado que não existe correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória de edificações de instituições de ensino e a idade destes edifícios. Tal inexistência de correlação conota uma despreocupação com projetos e técnicas construtivas que tem origem a mais de seis décadas. A aplicação da regulamentação técnica de eficiência energética pode fazer com que novos projetos tenham um cuidado maior na escolha dos materiais, das técnicas construtivas visando a melhoria desta correlação.

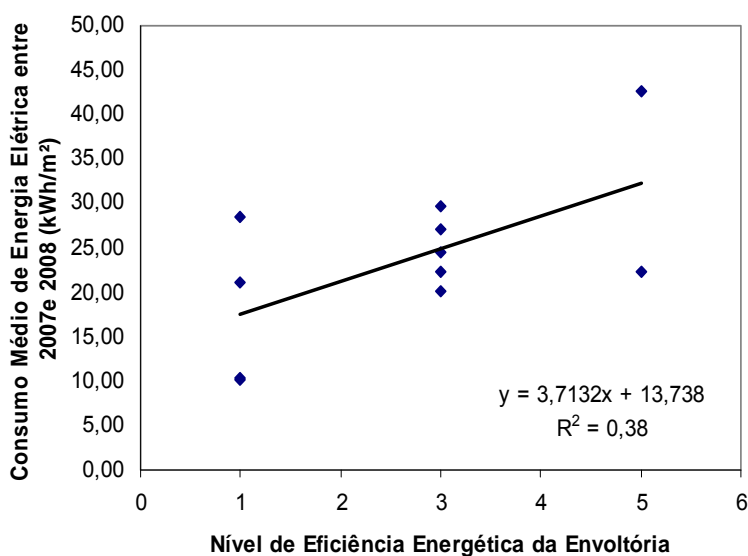


Figura 30 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Energia Elétrica em kWh/m^2 para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

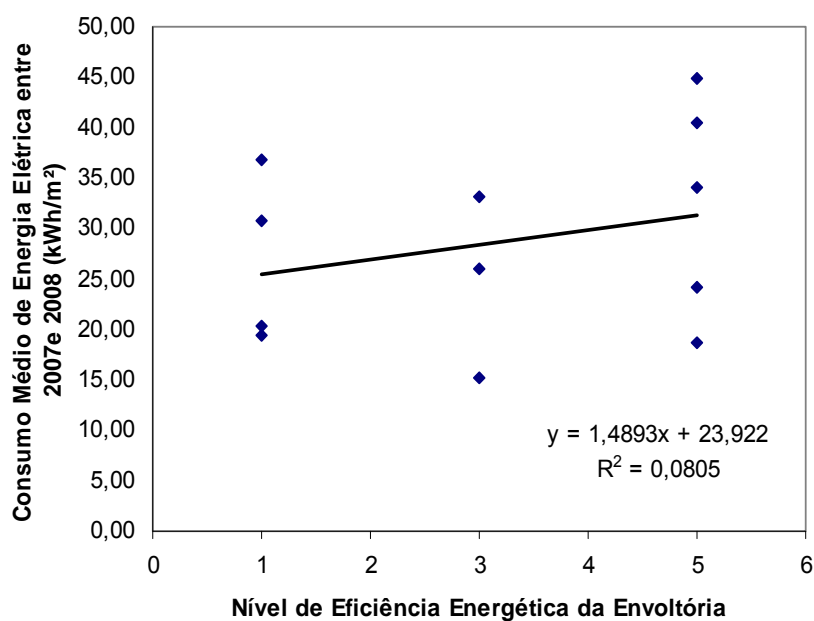


Figura 31 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Energia Elétrica em kWh/m² para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

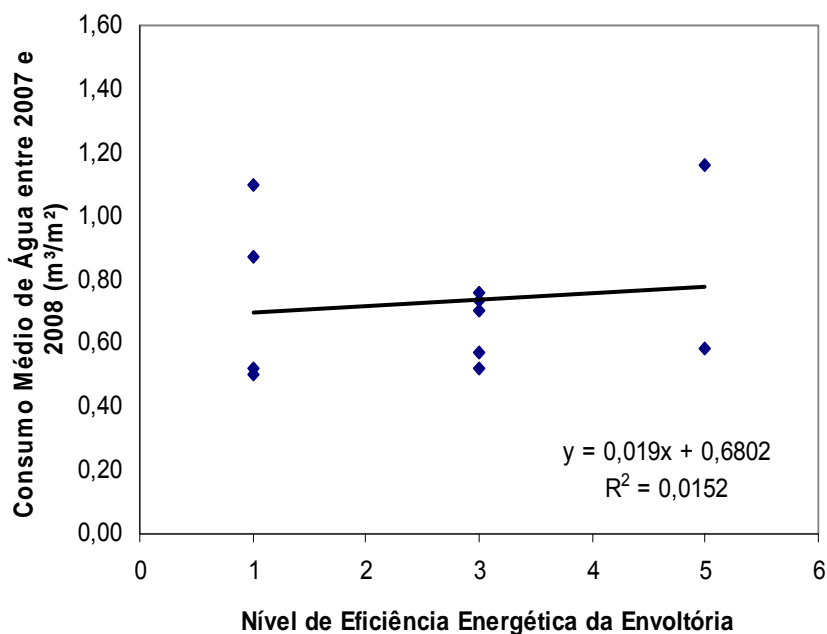


Figura 32 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Água em m³/m² para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

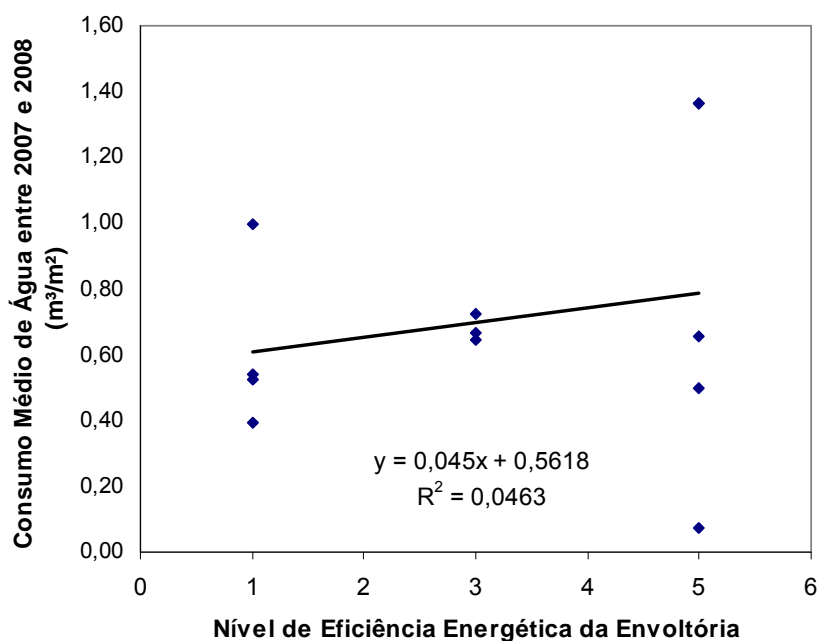


Figura 33 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Água em m³/m² para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

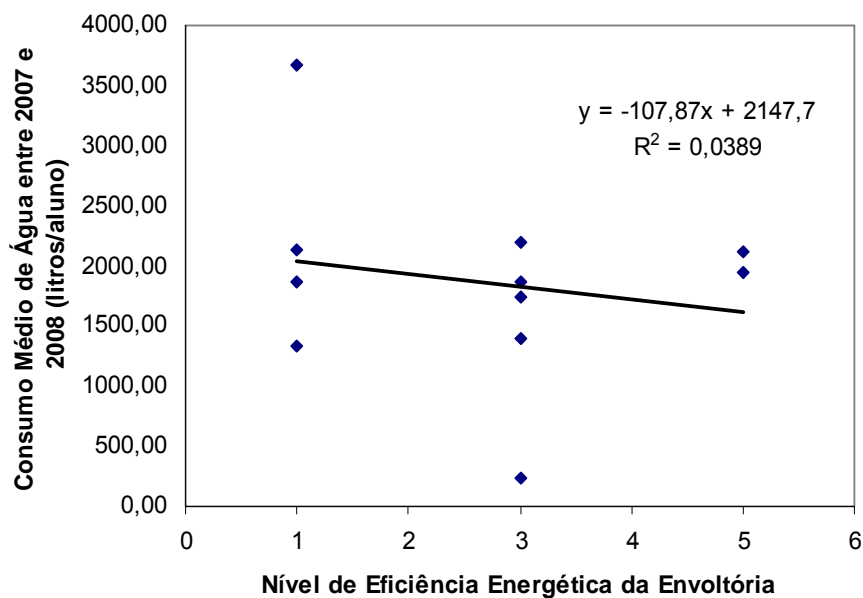


Figura 34 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Água em litros/aluno para as escolas de Apucarana entre 2007 e 2008.

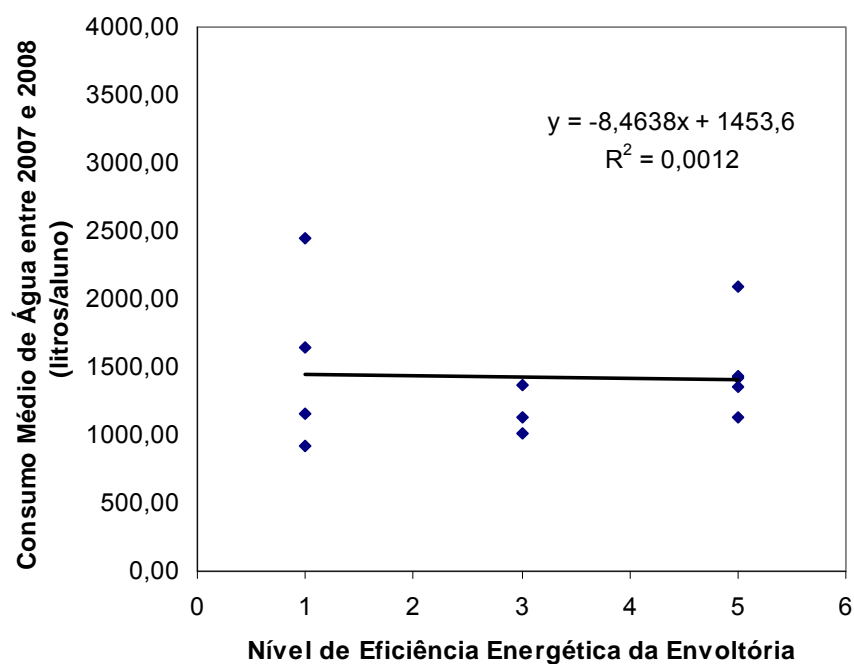


Figura 35 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e o Consumo médio de Água em litros/aluno para as escolas de Arapongas entre 2007 e 2008.

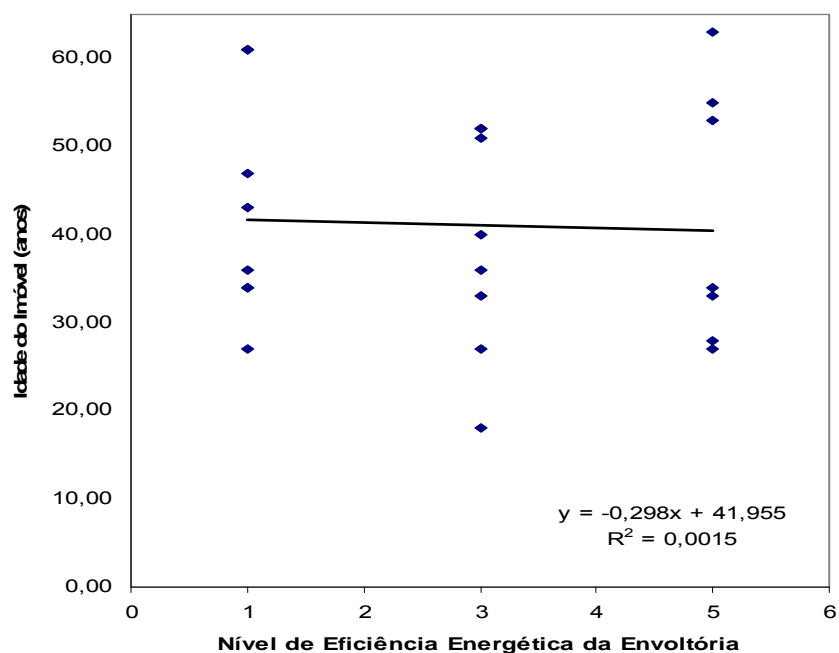


Figura 36 – Correlação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória e a Idade dos Imóveis para as escolas de Apucarana e Arapongas.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa resultou em uma amostra de vinte e três edificações, nas quais foi possível a leitura e coleta de dados referentes aos consumos de energia elétrica e consumos de água e ainda a indicação do nível de eficiência energética da envoltória. Um amplo espectro de informações foi coletado e estudado, com edificações construídas nos últimos cinquenta anos, seus projetos, seu estado de conservação e principalmente suas características construtivas.

Algumas Instituições de Ensino, objetos deste trabalho, haviam passado por processo de reforma e outras ainda receberiam recursos para tal e, portanto, podem variar os dados aqui apresentados da realidade atual. A relevância deste fato é que o nível de eficiência energética da envoltória de uma edificação pode passar por processos de mutação periódica. Portanto, quando se têm dados para atuação de profissionais, engenheiros, arquitetos, gestores públicos, dentro do escopo de reformas e adequações, o nível de eficiência, quando bom pode ser melhorado ou mantido. Se estes níveis estiverem aquém, dos anseios e necessidades da comunidade, a aplicação de recursos em pontos específicos poderá melhorá-lo, sendo de suma importância para a edificação e seus usuários.

Quanto às características construtivas, escolas que têm coberturas em fibro-cimento sem tratamento ou ainda cobertura em telhas metálicas sem forro obtiveram níveis baixos de eficiência energética da envoltória o que demonstra que, este nível poderá ser melhorado com reformas e adaptações. Ginásios de esportes fizeram com que os níveis de três escolas fossem menores se analisados os prédios principais, isto também comprova que as coberturas destas quadras de esportes, invariavelmente, não atendem aos requisitos para um bom nível de eficiência energética.

Quanto à absorvância foi observado que construções em blocos cerâmicos aparentes, têm valores altos e conseqüentemente sua absorvância média proporcionou baixos níveis de eficiência energética da envoltória. A aplicação de tintas com cores claras sobre tais blocos diminuiria esta absorvância, fazendo com que a mesma chegasse a patamares aceitáveis pelo RTQ-C e conseqüentemente a escola pudesse ser contemplada com níveis mais elevados.

Após a aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) as escolas receberam níveis de eficiência energética da envoltória. Das vinte e três escolas estudadas, 30,4% obtiveram nível “A”, 39,2 % obtiveram nível “C” e outros 30,4% obtiveram nível “E”. Esta divisão das escolas em níveis possibilitou as análises de sistemas construtivos, transmitância e absorvância.

Conclui-se que os aumentos no consumo de energia elétrica foram normais, mesmo com alguns picos, que são justificados com atividades extras dentro das escolas, reformas e ampliações. O consumo de energia elétrica para dois anos de referência, 2007 e 2008, aumenta do primeiro para o segundo ano pela instalação de equipamentos de laboratórios e computadores nas escolas, por parte do governo estadual do Paraná. Este aumento da carga instalada é um dos motivos para se trabalhar a eficiência energética dentro dos estabelecimentos de ensino. Somente uma escola teve diminuição, de cerca de 1% do consumo de energia elétrica na relação com demais escolas no período estudado. Quanto ao aumento uma escola chama a atenção com uma variação da ordem de 340% no aumento do consumo de energia elétrica. Este fato se deve além da instalação de novos equipamentos, pela construção de uma quadra e a instalação de refletores nesta escola.

Quanto ao consumo de água nas escolas de Apucarana e Arapongas, picos e consumos fora da média das escolas em estudo foram analisados e a conclusão a que se chega é que um trabalho de conscientização está sendo feito. A maioria das escolas tem consumos de água similares ou ainda apresentam reduções entre 2007 e 2008, mesmo havendo aumento de instalações.

Escolas que tiveram consumo de água da ordem de 3600m³ baixaram para 1800m³ em 2008, alegando controle de gastos e alteração de partes hidráulicas da edificação com reformas. Os consumos de água em litros por aluno por ano, apresentaram valores que chamaram a atenção, exigindo uma investigação mais apurada, concluindo que vazamentos em áreas de banheiros eram os responsáveis pelos aumentos destes consumos de água, fora das médias das demais escolas. Outra observação é que grandes áreas, com limpeza de piso, provocaram elevação dos consumos quando utilizado água para tal tarefa.

Quanto à correlação pode-se observar para as escolas do município de Apucarana, bem como do município de Arapongas é fraca. Existe uma dispersão

dos resultados de nível de eficiência energética da envoltória, principalmente nos níveis 1 e 5 (“A” e “E”) e seus respectivos consumos. Portanto, demonstra-se que não há praticamente correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória e o consumo de energia elétrica em kWh/m². Observa-se que os dados são bem dispersos em todos os níveis considerados (“A”, “C” e “E”).

Quanto à verificação do nível de eficiência energética da envoltória aos consumos de água em m³/m², este demonstra pouca ou quase nenhuma correlação para as escolas de Apucarana e Arapongas. Pode-se observar que os níveis 1 e 5 estão bem distantes da reta de regressão.

O nível de eficiência energética da envoltória quando correlacionado com o consumo de água por pessoa em litros/aluno observa-se que, para as escolas de Apucarana, a correlação é baixa. Os consumos para as escolas do nível 1 (“E”) estão bem dispersos o que provoca uma diminuição da correlação. Para as escolas de Arapongas a situação não é diferente sendo que a correlação do nível de eficiência energética da envoltória e o consumo de água em litros/pessoa podem ser descartados.

Considerando que em todos os gráficos os valores de R² ficam baixos, pode-se verificar que existe pouca ou nenhuma correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória e os consumos de energia elétrica e de água nas instituições de ensino estudadas. Existe, porém uma tendência maior da correlação do consumo de energia elétrica com o nível de eficiência energética da envoltória do que os consumos de água.

Pode-se concluir que ambientes de climatização natural não se aplica diretamente a relação desempenho térmico da envoltória versus consumo de energia visto a energia elétrica não ter vínculo direto com a envoltória das edificações estudadas nesta pesquisa. Somente tem vínculo com a iluminação e equipamentos, não considerados na forma prescritiva de análise da envoltória, adotada nesse trabalho.

5.1 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES DO TRABALHO

Como o trabalho foi desenvolvido a partir das determinações e exigências do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (BRASIL, 2009), e considerando que o mesmo não é de fácil entendimento, alguns resultados podem ser imprecisos.

Outra limitação consiste na pouca quantidade de trabalhos, que tratem da análise de eficiência energética com dados levantados *in loco* o que dificultou o início dos trabalhos, levando até ao descarte de parte dos dados e necessidade de retorno para complementações de outros.

Outra limitação é a respeito dos projetos de edificações mais antigas não estarem atualizados, na maioria das vezes. Isto demanda um bom tempo de análise e complementações de informações.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados aqui apresentados, sugerem-se os seguintes trabalhos que poderão ser desenvolvidos:

- Realizar trabalhos quanto às variáveis necessárias para etiquetagem das edificações com análise de pós-ocupação;
- Realizar estudos referentes aos consumos de energia elétrica e água com hábitos de usuários, números de estudantes, período de utilização da edificação, idade dos usuários, atividades desenvolvidas, entre outros;
- Estudos de referências quanto ao período de insolação e controle de iluminação dos ambientes com referência ao tipo de trabalho desenvolvido;
- Estudos de sombreamentos por edificações vizinhas, áreas verdes ou outras formas de anteparos naturais e de entorno, que

na observação deste trabalho teriam impacto positivo nas fachadas oeste, não acatada pelo RTQ-C (BRASIL, 2009).

- Aprofundamento da correlação entre nível de eficiência energética, não só da envoltória, e os consumos de energia elétrica, água, gás, e principalmente conforto do usuário.
- Correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória e o consumo de água e energia elétrica em edificações de instituições de ensino condicionadas artificialmente.

REFERÊNCIAS

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENER. Disponível em: <<http://www2.ademe.fr>>. Acesso em: 11 abr. 2009.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2009. Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1687>. Acesso em: 13 maio 2009.

ALVES, Arone; BALTORÉ, Alexandre; PIMENTA, João. Análise computacional da demanda energética de climatização de edifício. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE AR CONDICIONADO, CALEFAÇÃO E REFRIGERAÇÃO – CIAR, 8., 2005, Montevidéo. **Anais...** Montevidéo, 2005. Disponível em: <http://www.laar.unb.br/Publicacoes_LaAR_arquivos/ARTIGO_CIAR_Edificio.pdf>. Acesso em: 13 maio 2009.

ANDERSON, David R. SWEENEY, Dennis J. WILLIAMS. **Estatística Aplicada à Administração e Economia**. 2ed. São Paulo: Cengage Learning Edições, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ATEM, Camila; BASSO, Admir. Apropriação e eficiência do brise-soleil: o caso de Londrina (PR.). **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 29-45, out./dez. 2005

BARBOSA, Miriam Jerônimo. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BARBOSA, Miriam Jerônimo; LAMBERTS, Roberto. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina-PR. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 15-28, jan./mar. 2002.

BIAZIN, Damares T.; SCALCO, Thais F. **Normas da ABNT e padronização para trabalhos acadêmicos**. Londrina: Unifil, 2008.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar. **Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió /AL**. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

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. Disponível em:<<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/23/2001/4059.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2009.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 20 dez. 2001. Seção I-E.

_____. Ministério de Minas e Energia - MME. **Balanco Energético Nacional 2008:** ano base 2007. Rio de Janeiro: EPE, 2008.

_____. Ministério do Desenvolvimento. Industria e Comercio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia. Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro. Portaria 163, de 08 de junho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 mar. 2009. p. 134, seção 01.

_____. Ministério de Minas e Energia – MME. **Manual de Aplicação dos Regulamentos RTQ-C e RAC-C**. Rio de Janeiro, 2009b.

BROWN, Giuseppe Z.; DEKAY, Mark. **Sol, Vento e Luz:** estratégias para o projeto de arquitetura. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CALDEIRA, André Machado, *et al*, MEDEIROS, Valeria Zuma (coordenação). **Métodos Quantitativos com Excel**. São Paulo, Cengage Learning Edições, 2008.

CALIFÓRNIA ENERGY COMISSION. Division of the State Architect. **Title 24, part 2:** California Building Standards Code. Disponível em: <<http://www.bsc.ca.gov>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

CARLO, Joyce C.; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. The use of computer simulation to establish energy efficiency parameters for a building code of a city in Brazil. In: ENGLISH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 11-14 ago. 2003, Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: IBPSA. 2003. p. 131-138.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CASALS, Xavier García. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their Role, Limitations and differences. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 38, p. 381-392, 2006.

CHAN, Andy T.; YUNG, Victor C. H.. Implementing building energy codes in Hong Kong: energy savings, environmental impacts an cost. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 37, p. 631-642, 2005.

CHLELA, Fadi et al. A new methodology for the design of low energy buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 1, p. 982-990, 2009.

CHUNG, William; HUI, Y. V.. A study of energy efficiency of private office buildings in Hong Kong. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 41, p. 696-701, 2009.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Balanco Energético do Paraná. 2006**. Curitiba: COPEL, 2006. Disponível em: <<http://www.copel.com.>> Acesso em: 10 jul. 2009.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Manual de eficiência energética na indústria**. 2005. Disponível em: <<http://www.copel.com>>. Acesso em: 12 jul. 2009.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORGNATI, Stefano Paolo; CORRADO, Vincenzo; FILIPPI, Marco. A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 40, p. 801-809, 2008.

COSTA, Andréa de Souza. **Eficiência energética em iluminação de ambientes, em uma instituição pública de ensino**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

DEPARTMENT FOR ENVIRONNEMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS – DEFRA. Disponível em: <www.businesslink.gov.uk>. Acesso em: 10 ago 2009.

DORIGO, Adriano Lúcio. **Condições de luz natural em ambientes escolares estudo do projeto padrão 023 da rede pública de ensino do estado do Paraná**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ECEEE. Beyond Energy Efficiency: Ecee input paper for the new EU Energy Efficiency Action Plan. Disponível em: <<http://www.ecee.org>>. Acesso em: 10 ago. 2009.

ELETOBRÁS. **Regulamento de avaliação da conformidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviço e públicos: etiqueta nacional de conservação de energia**. (ENCE). Disponível em: <<http://www.eletobras.com/pci/main.asp?View>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Green Power Partnership. **Renewable Energy Certificates**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/greenpower/gpmarket/rec.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2009.

ERHORN, Hans et al. The energy concept adviser: a tool to improve energy efficiency in educational buildings. **Energy and buildings**, Lausanne, v. 40, p. 419-428, 2008.

FONSECA, Suzana Damico; COSTA, Andréa de Souza; KRÜGER, Eduardo Leite. Aplicação da regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética em salas de aula da UTFPR. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008. Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre, 2008. v. 1, p. 1-10.

FREIRE, Ian Felisberto. **Medição e verificação em eficiência energética: metodologia para determinação do baseline**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GHISI, Enedir. **Influência da precipitação pluviométrica, área de captação, número de moradores e demandas de água potável e pluvial no**

dimensionamento de reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto; RORIZ, Mauricio; PEREIRA, Fernando Oscar R.; SOUZA, Mauricy Cesar Rodrigues de et al. Normalização em conforto ambiental desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações. **Coletânea Habitare**, Porto Alegre, v. 3: Normalização e Certificação na Construção Habitacional, p. 16-41, 2003.

GHISI, Enedir; TINKER, John A.; IBRAHIM, Siti Halipah. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 81-93, out./dez. 2005.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; DUARTE, Denise Helena Souza. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n.4, p. 51-82, 2006.

GONZALO, Guillermo E. Iluminação natural: estudo realizado para salas de aula em Tucumán. **Revista Lume Arquitetura**, São Paulo, ed. 19, p. 86-91, 2006.

GOULART, Solange V. G.; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** 2. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GRAÇA, Valéria Azzi Collet da; KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornélie Knatz. Metodologia de Avaliação de Conforto Ambiental de Projetos Escolares Usando o conceito de Otimização Multicritério. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v4, n.3, p. 19-31, jul./set. 2004

GREEN Buildings and Energy Efficiency. **ENERGYSTAR**. Disponível em: <http://www.energystar.gov/index.cfm?c=green_buildings.green_buildings_index>. Acesso em: 20 jul. 2009.

GUIDELINES for energy management overview. **Energystar**. Disponível em: <http://www.energystar.gov/index.cfm?c=guidelines.guidelines_index>. Acesso em: 15 jun. 2009.

HERNANDEZ, Patxi; BURKE, Kevin; LEWIS, Owen. Development of energy performance benchmarks and building energy Ratings for non-domestic building: An example for Irish primary schools. **Energy and Buildings** Lausanne, v. 40, p. 249-254, 2008.

HONG, Tianzhen. A close look at the China desing standard for energy efficiency of public buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 41, p. 426-435, 2009.

LAMBERTS, Roberto et al. Regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais e públicos. In.. ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2007b. p.1019 -1028.

LAMBERTS, Roberto; CARLO, Joyce. Uma discussão sobre a regulamentação da eficiência energética em edificações. In CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO. Aquecimento e Ventilação do Mercossul, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba: MERCOFRIO, 2004.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, 1997, 188 p.

LAMBERTS, Roberto. GHISI, Eneid; ABREU, Ana Ligia Papst de; CARLO, Joyce C.; BATISTA Juliana Oliveira; MARINOSKI, Deivis Luis. **Desempenho Térmico de Edificações**: ECV 5161 – Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina., 2007^a. 182 p.

LARSEN, Silvana Flores; FILIPIN, Celina; BEASCOCHEA, Alicia. Eficiencia energética en un edificio no-residencial de uso intermitente y altas cargas internas en Argentina. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v8, n1, p. 37-48, 2008.

LEE, Wen-Shing. Benchmarking the energy efficiency of government buildings with data envelopment analysis. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 40, n. 5, p. 891-895, 2008.

LOUREIRO, Kelly Cristina Gonçalves. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MASOSO, O. T.; GROBLER, L. J. The dark side of occupant's behavior on building energy use. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 42, n. 2, p. 173-177, fev. 2010. (article in press)

MENKES, Mônica. **Instrumentos econômicos aplicados em programas de eficiência energética**. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/iv_en/mesa3/1.pdf>. acesso em: 13 ago 2009.

MÜLLER, Mary Stela; CORNELSEN, Julce Mary. **Normas e padrões para teses, dissertações e monografias**. 6. ed. Londrina: EDUEL, 2007.

MYSEN, Mads et al. Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 37, p. 1234-1240, 2005.

NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque; NOGUEIRA, José de Souza. Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Rio Grande, v. 10, p. 104-108, jan./jun. 2003.

PEDRINI, Aldomar; LAMBERTS, Roberto. Influência do tamanho e forma sobre o consumo de energia de edificações de escritório em clima quente. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003. p. 209-216.

PEDRINI, Aldomar; SZOKOLAY, Steven. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 39-54, 2005.

PEREIRA, Cláudia Donald. **A Influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PIZARRO, Paula Roberta; SOUZA, Léa Cristina Lucas de. Qualificação da iluminação natural em interiores: aplicação das redes neurais artificiais e 3DSkyView. **Revista Ambiente Construído**, v. 7, n. 1, p. 83-96. 2007.

SANOFF, Henry. **School Programing, design, and evaluation: a community university partnership**. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

SANTAMOURIS, Matheos; MIHALAKAKOU, G.; PATARGIAS, P.; GAITANI, N.; SFAKIANAKI, K.; PAPAGLASTRA, M.; PAVLOU, C.; DOUKAS, P.; PRIMIKIRI, E.; GEROS, V.; ASSIMAKOPOULOS, M.N.; MITOULA, R.; ZEREFOS, S. Using intelligent clustering techniques to classify the energy performance of school buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 39, n. 1, p. 45-51, 2007.

SCHILLER, S. EVANS J.M.; LABEUR, A.; DELBENE, C.; KOZAK., D. Relevância de proyectos demostrativos de bajo impacto ambiental y gran eficiencia energética. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.3, n.2, p. 21-35, abr./jun. 2003.

SCHORR, Jorge Eduardo Vasconcelos. **Modelo de projeto de eficiência energética para o setor industrial sob ponto de vista da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL**. 2006. Monografia (Dissertação em Eficiência Energética na Industria) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

SIGNOR, Regis. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. 1999. Mestrado (Dissertação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SIGNOR, Regis; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. Regression analysis of electric energy consumption and architectural variables of conditioned commercial buildings in 14 brazilian cities. In: SEVENTH INTERNACIONAL IBPSA CONFERENCE, BUILDING SIMULATION, 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: IBPSA, 2001. p. 1373-1379.

SOUZA, Antonio Carlos de; FIALHO, Francisco Antonio P.; OTANI, Nilo. **TCC: métodos e técnicas**. Florianópolis: Visual Books, 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Departamento de Informática e Estatística. **Reconhecimento de padrões**: programa da disciplina. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~patrec/agrupamentos.html>>. Acesso em: 28 mar. 2010.,

UNITED STATES GREEN BUILDIND COUNCIL - USGBC. **About Green Schools**
Disponível em: < <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1640> >.
Acesso em: 1 maio 2009.

ANEXOS

ANEXO A
Escolas de Apucarana

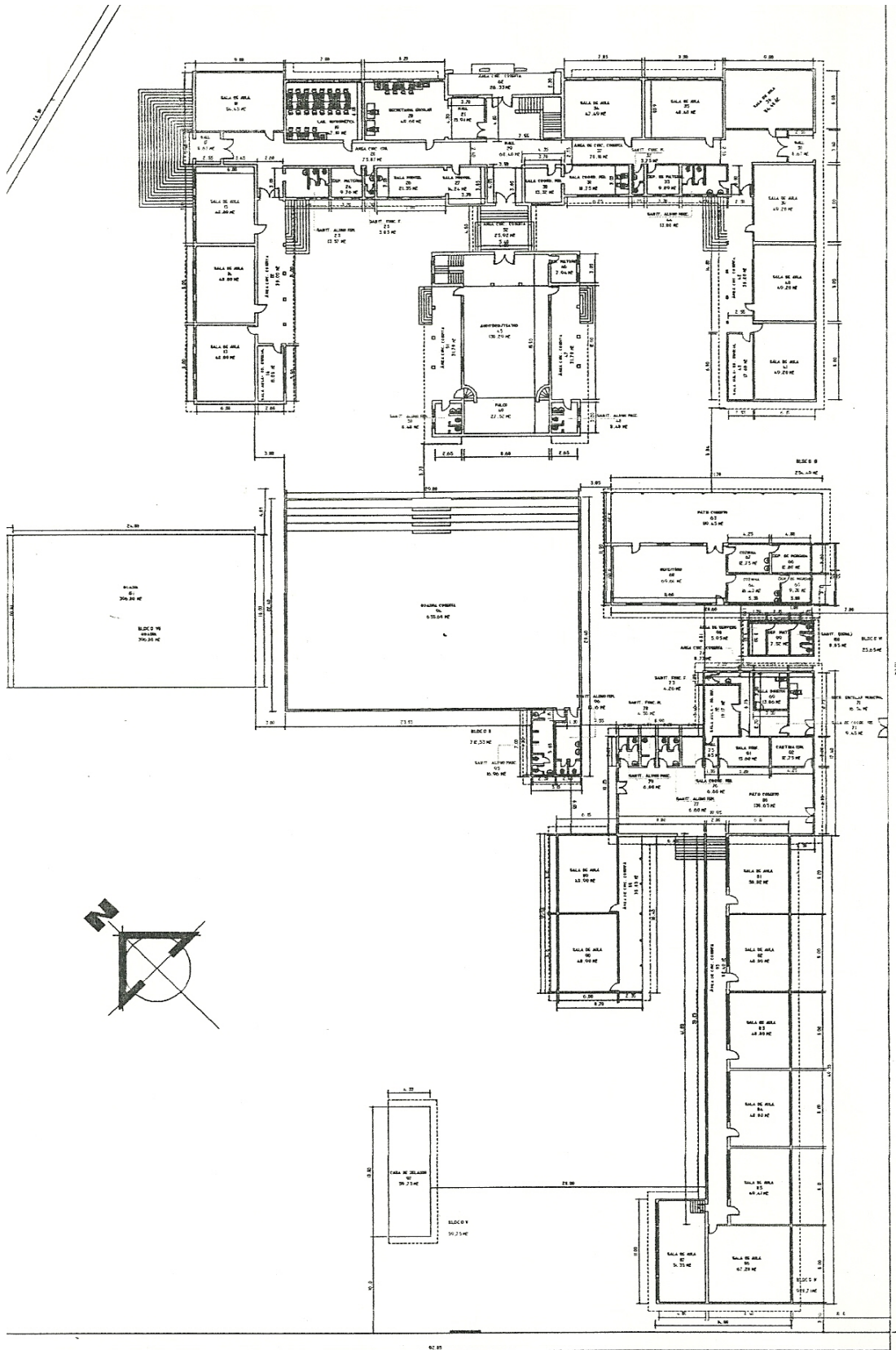


Figura A 01a – CET ALBERTO SANTOS DUMONT

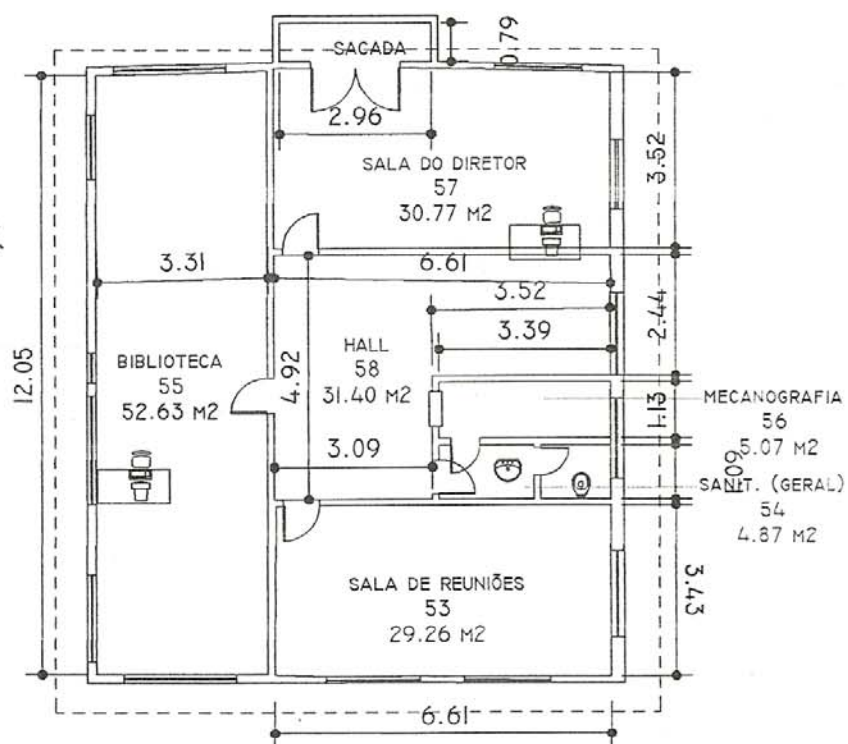


Figura A 01b – Cet Alberto Santos Dumont

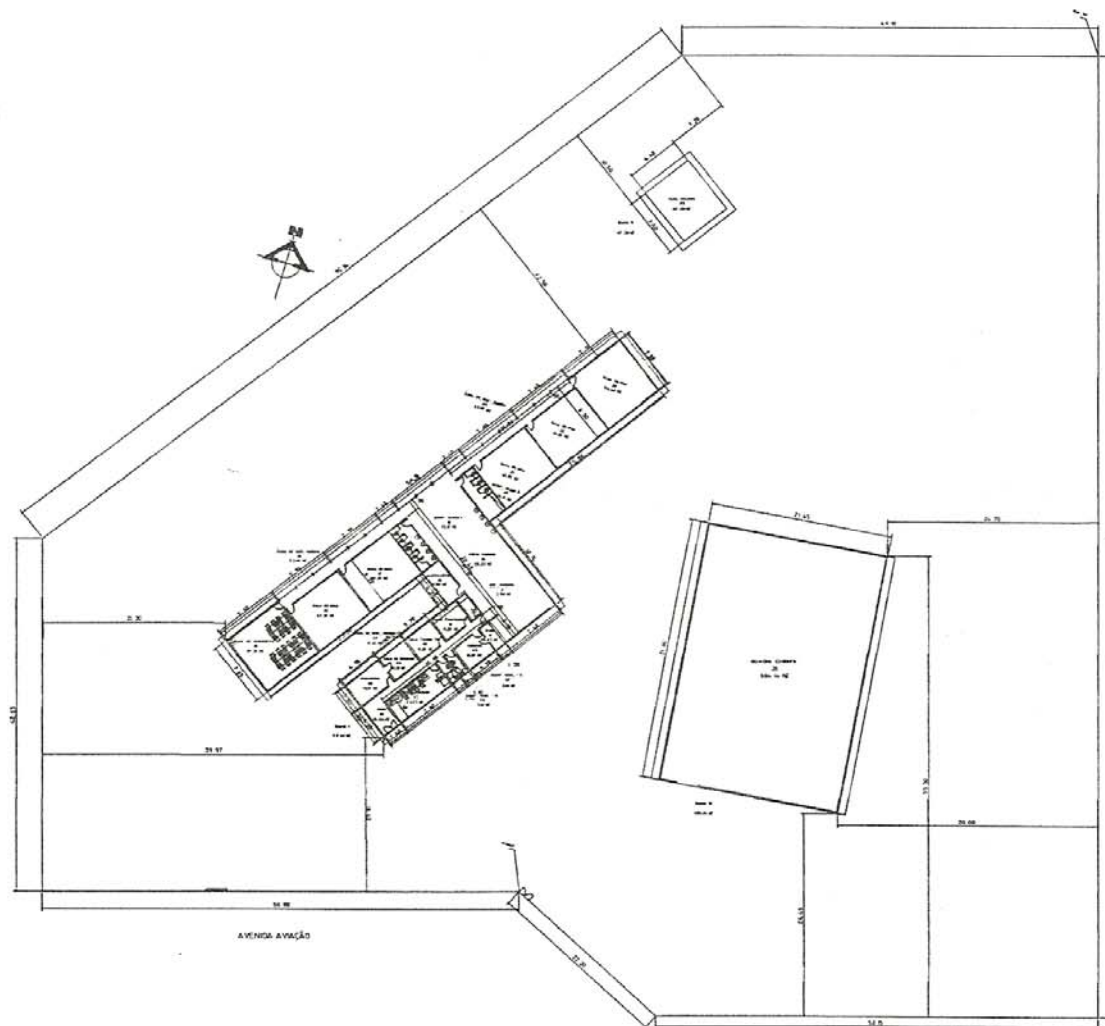


Figura A 02 – Cet Carlos Massareto

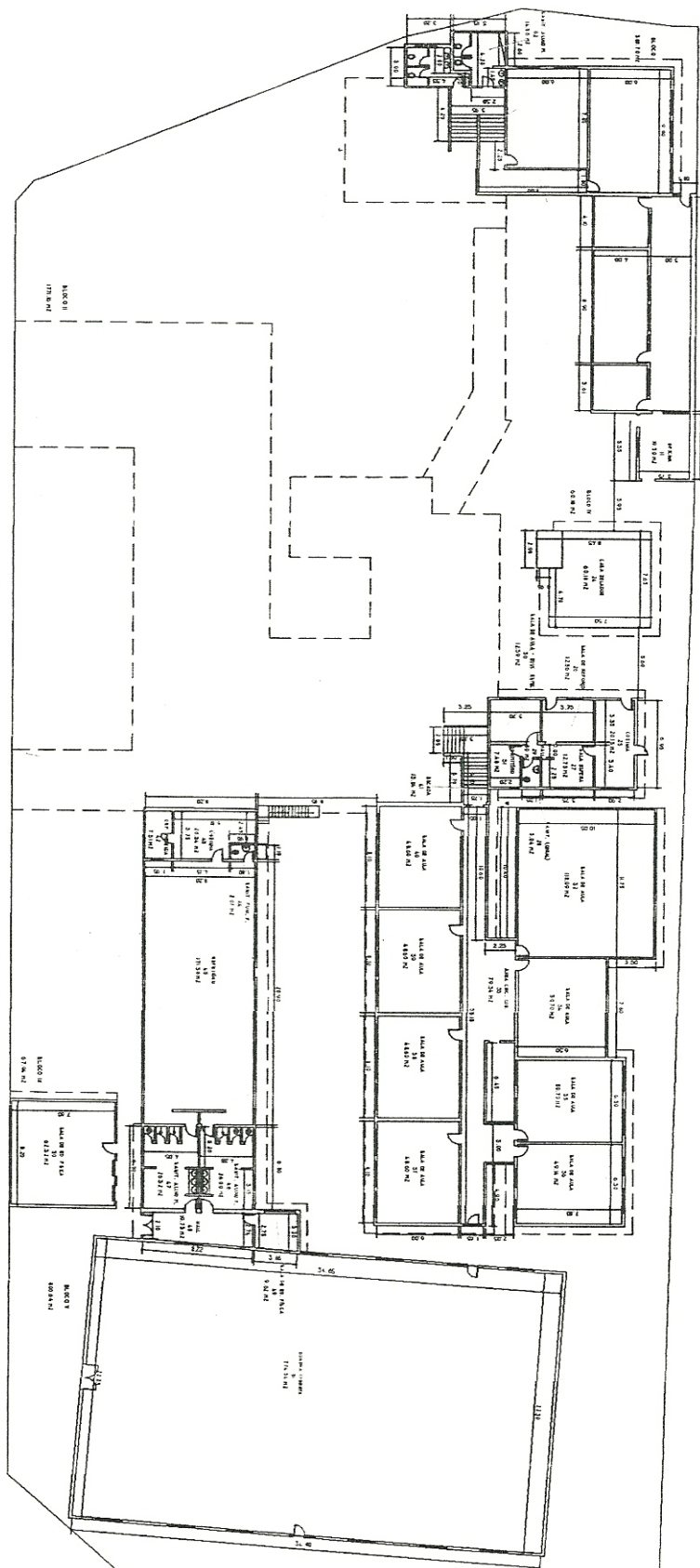


FIGURA A 04a – Cet Izidoro Luiz Cerávolo – Pavimento Térreo

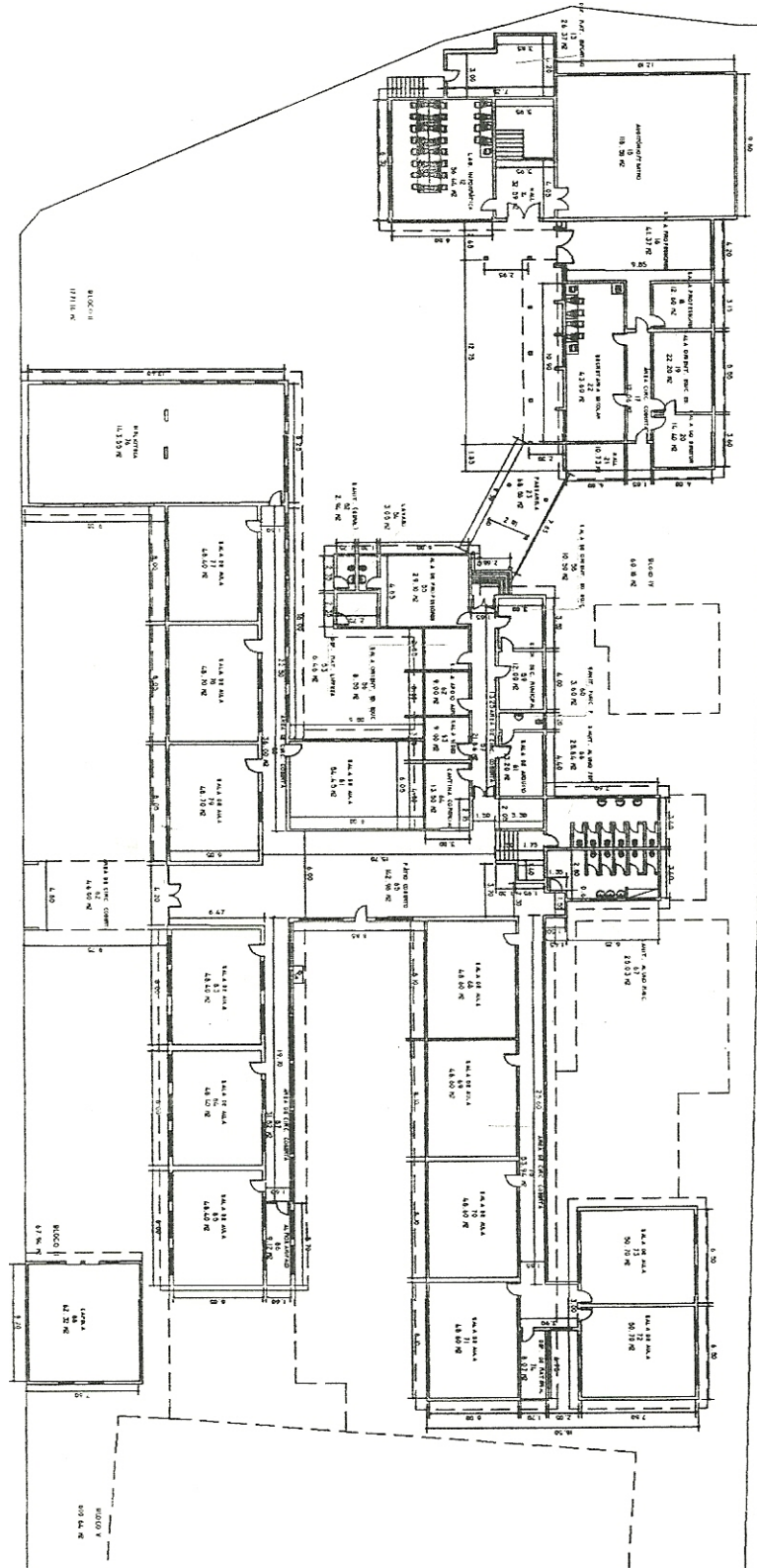


Figura A 04b – Cet Izidoro Luiz Cerávolo – 1º Pavimento

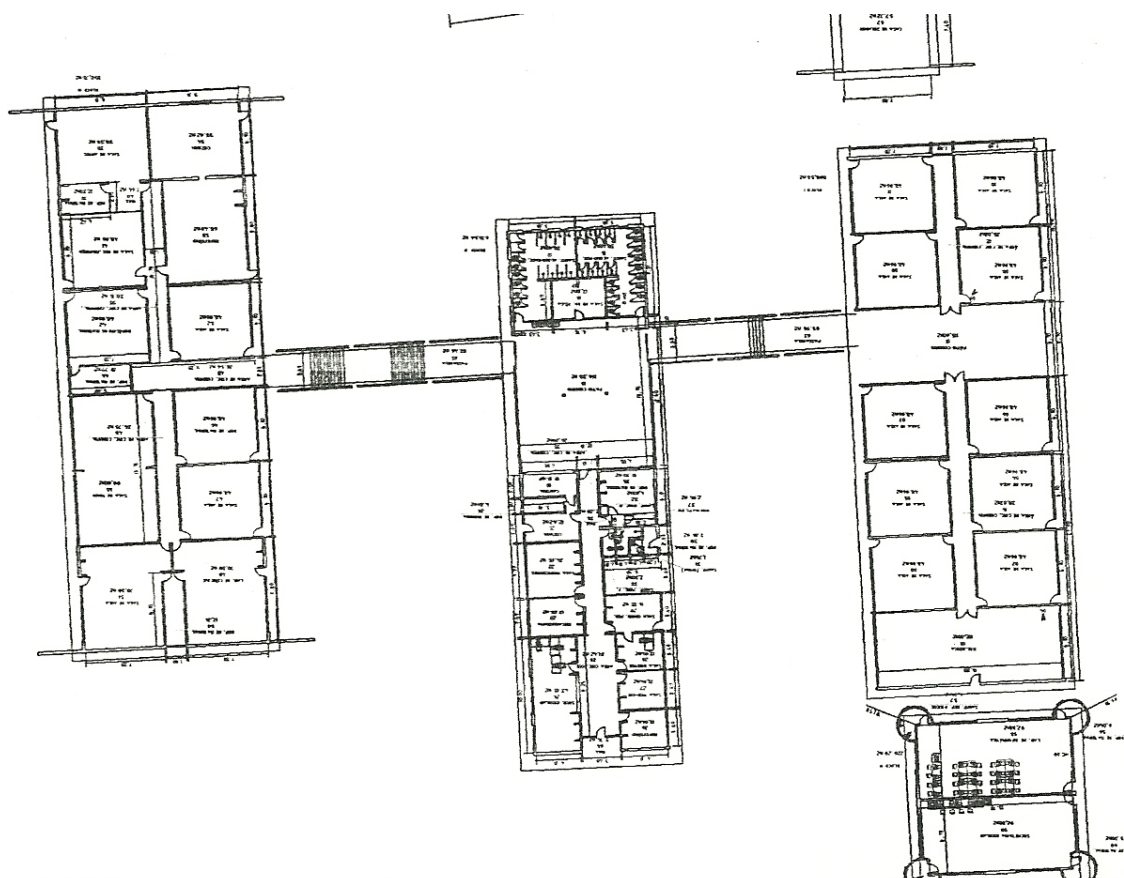


Figura A 07 – Cet José de Anchieta

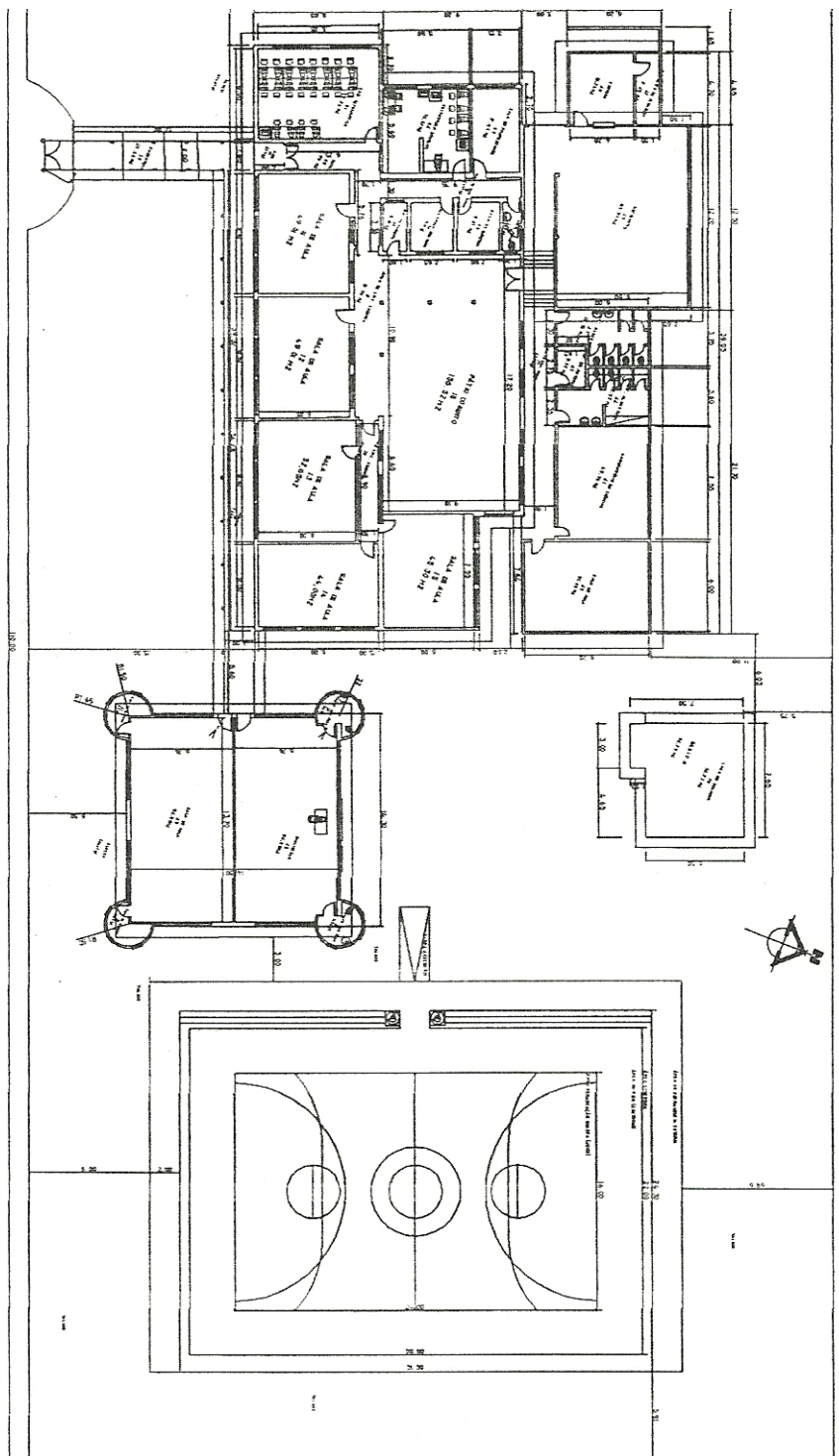


Figura A 08 – Cet Luiz José dos Santos

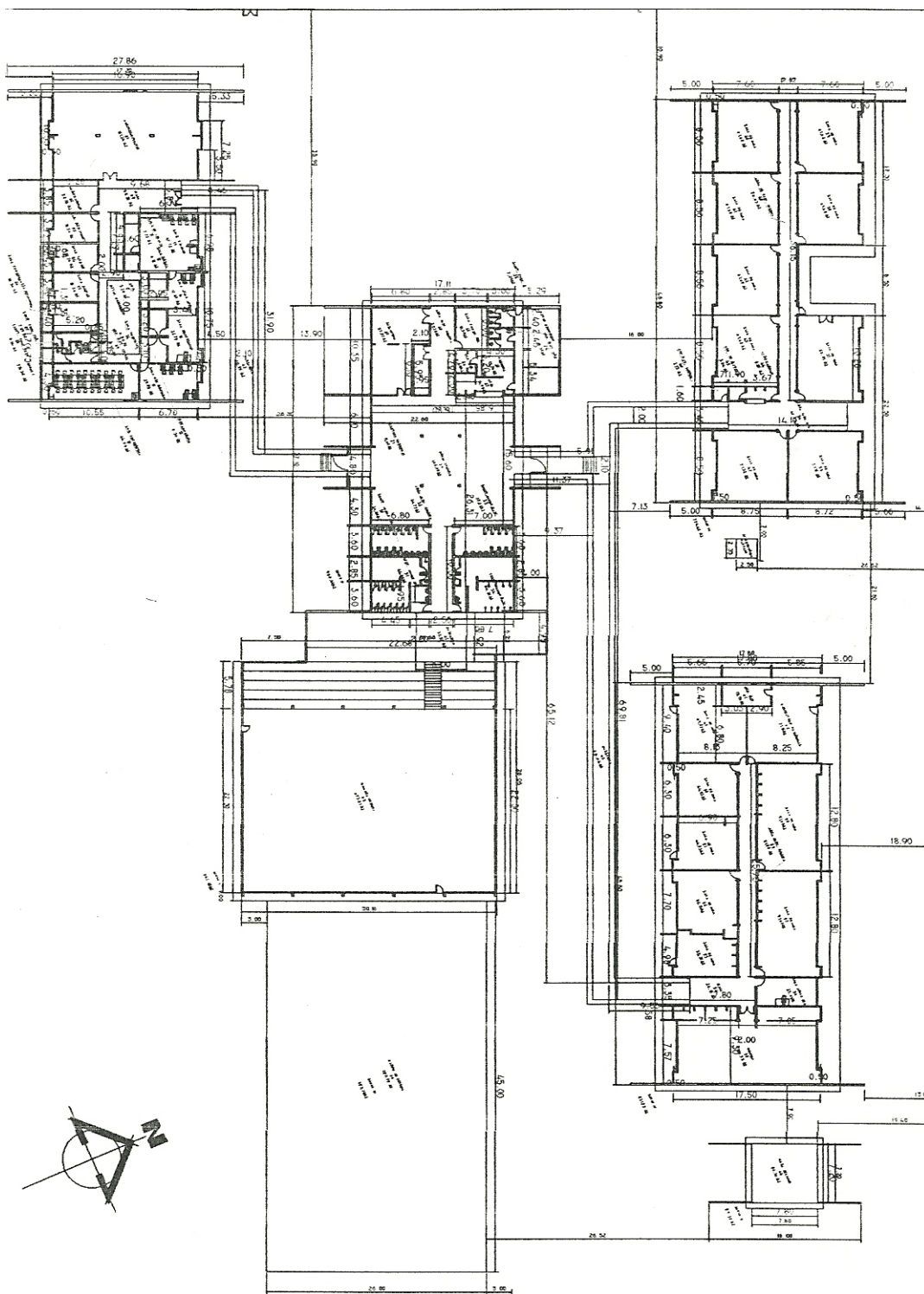


FIGURA A 10 – Cet Polivalente

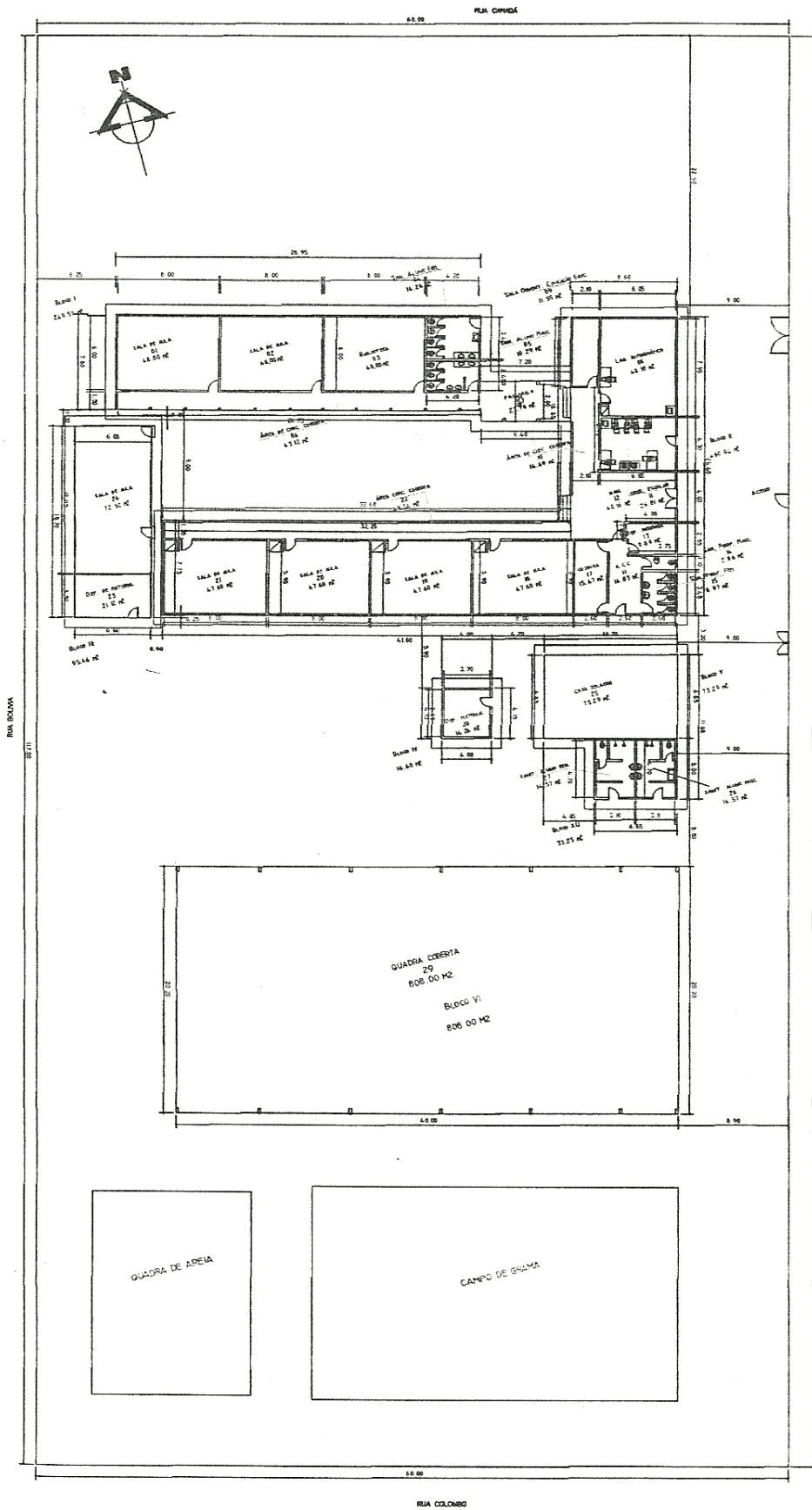


Figura A 11 – Cet São Bartolomeu

ANEXO B
Escolas de Arapongas

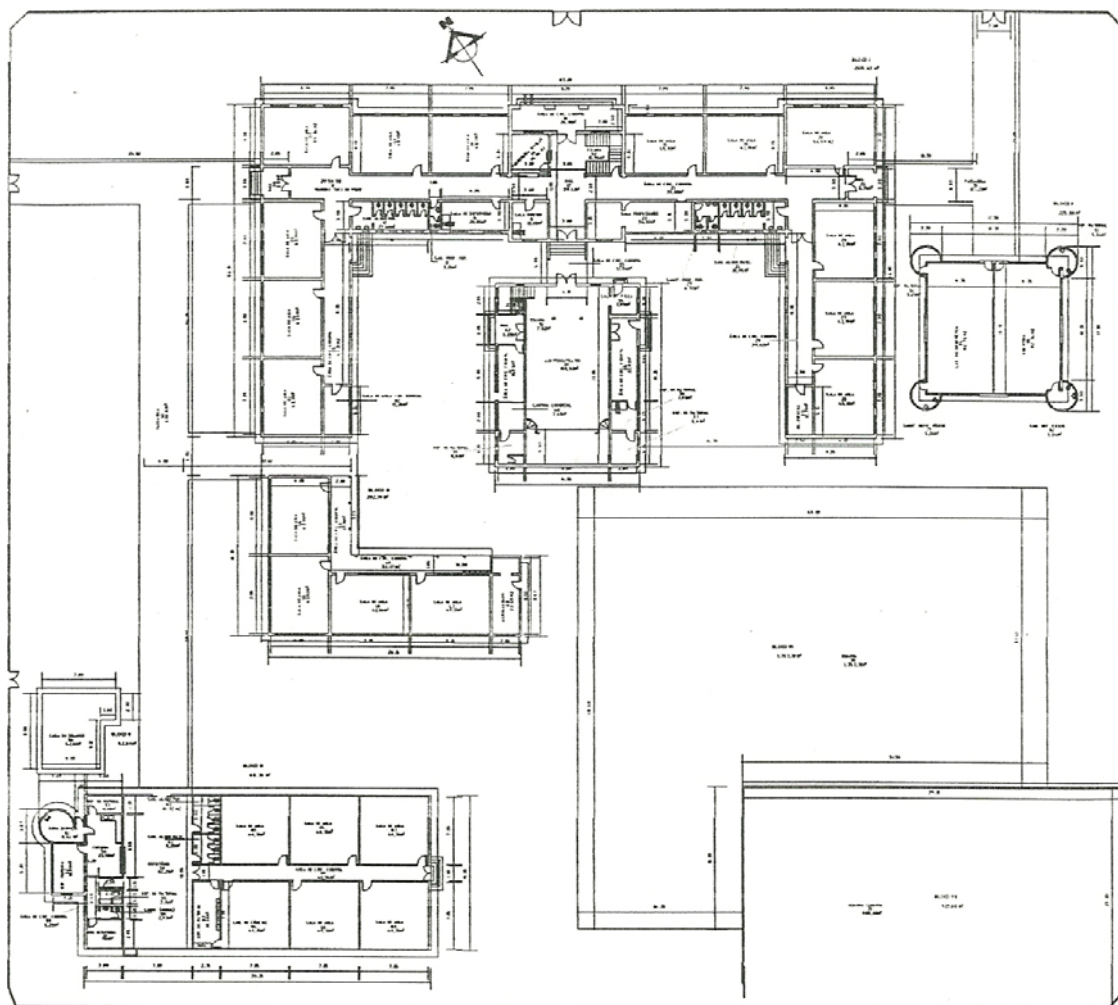


Figura B 01a – Cet Marquês De Caravelas

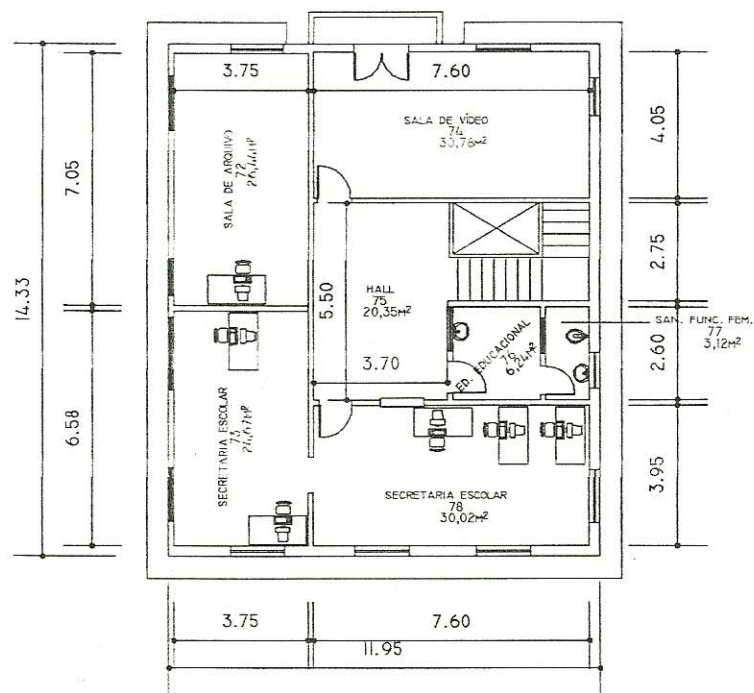
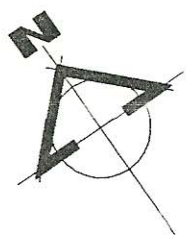


Figura B 01b – Cet Marquês De Caravelas

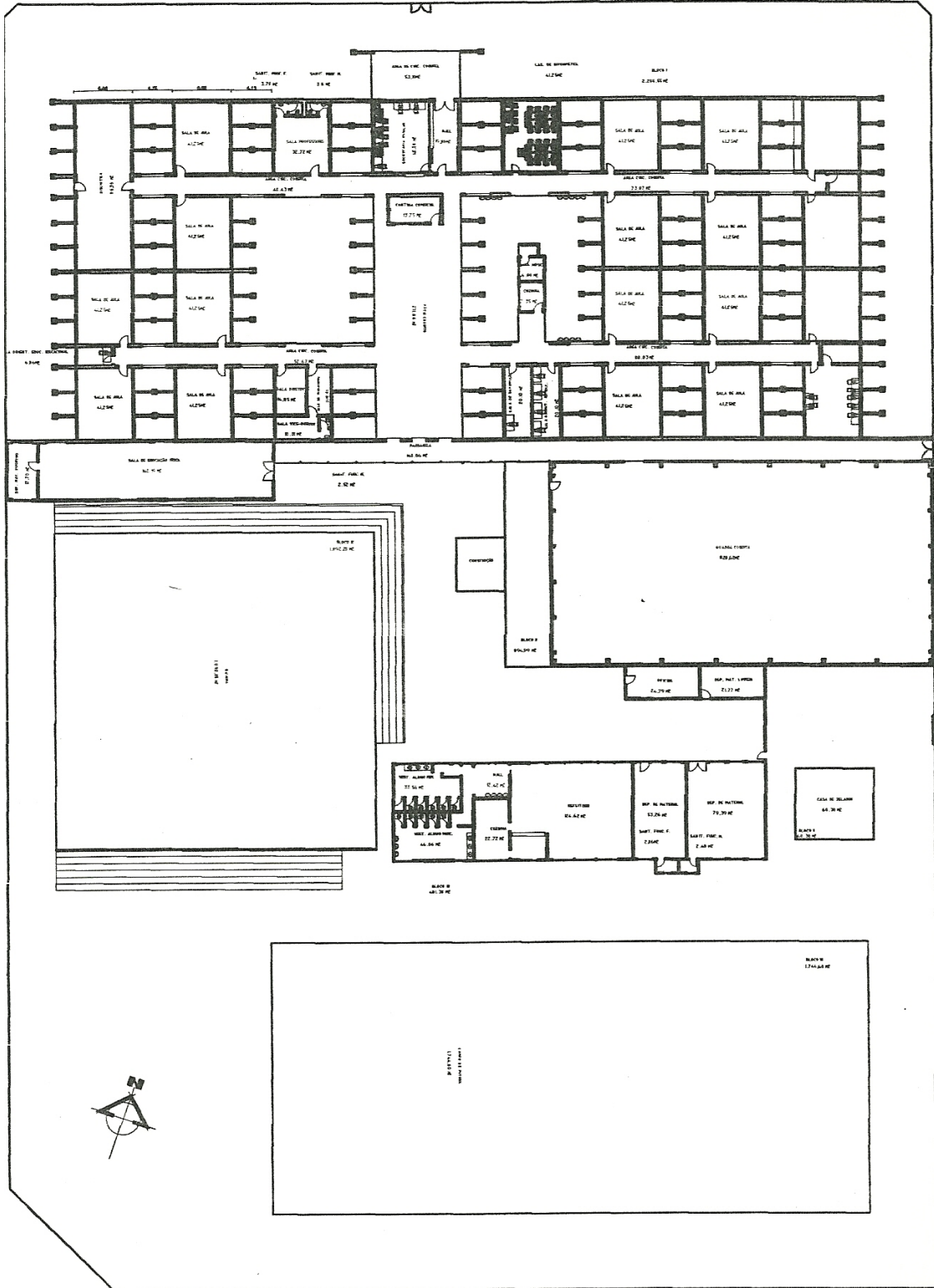


Figura B 02 – Cet Emilio De Menezes

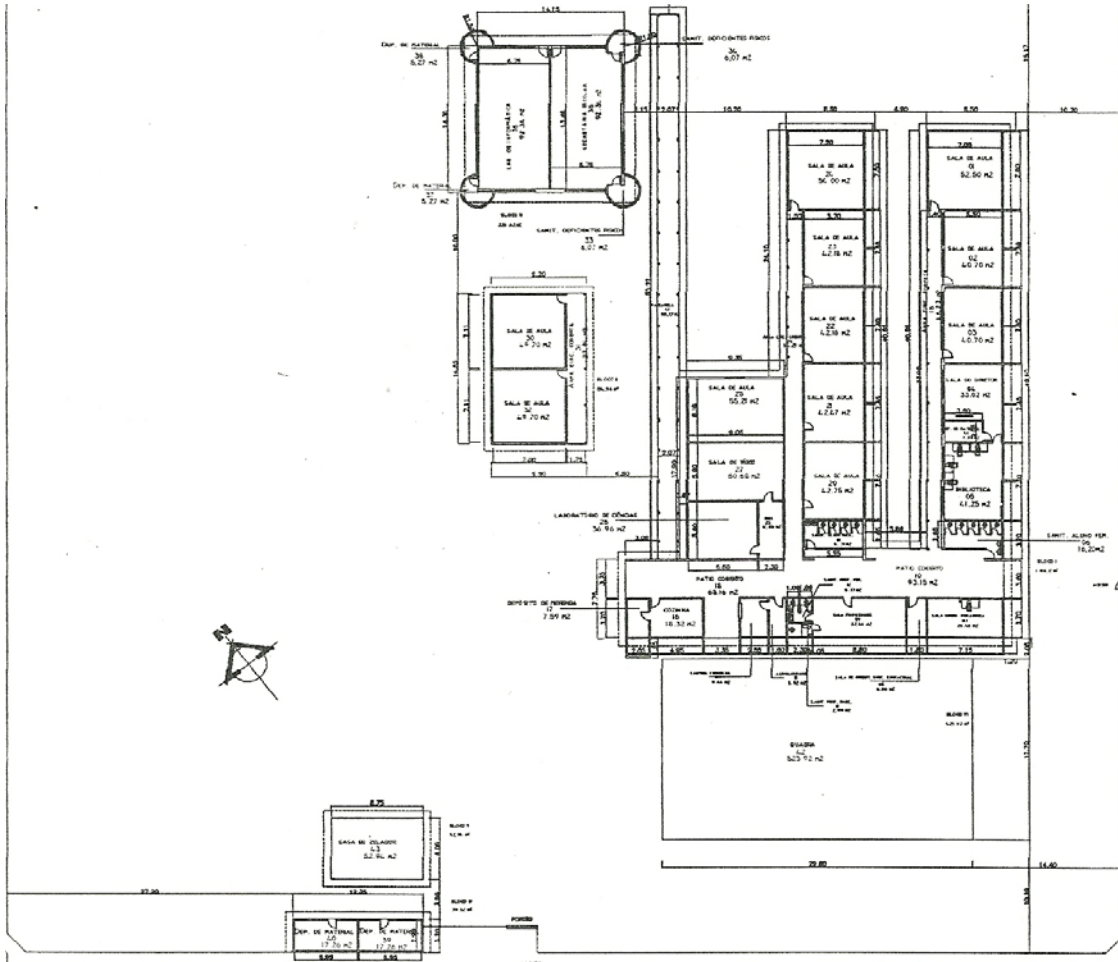


Figura B 03 – Cet Francisco Ferreira Bastos

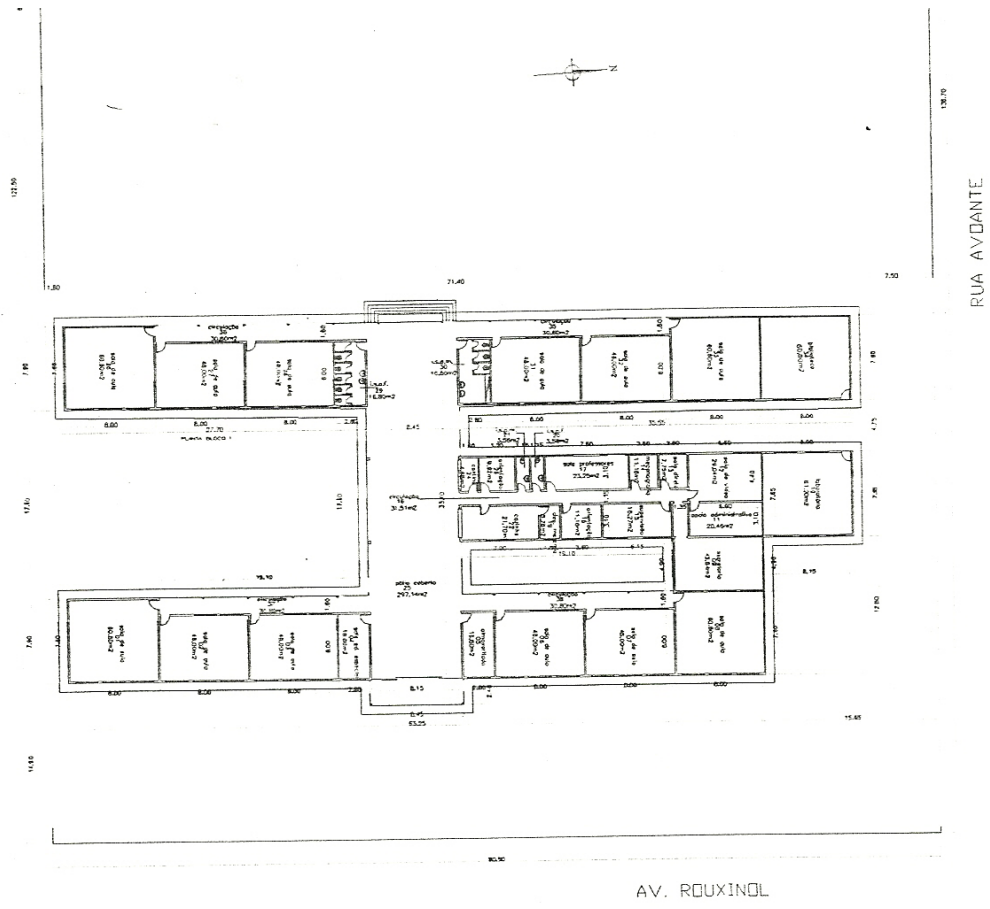


Figura B 06 – Cet Ivanilde De Noronha

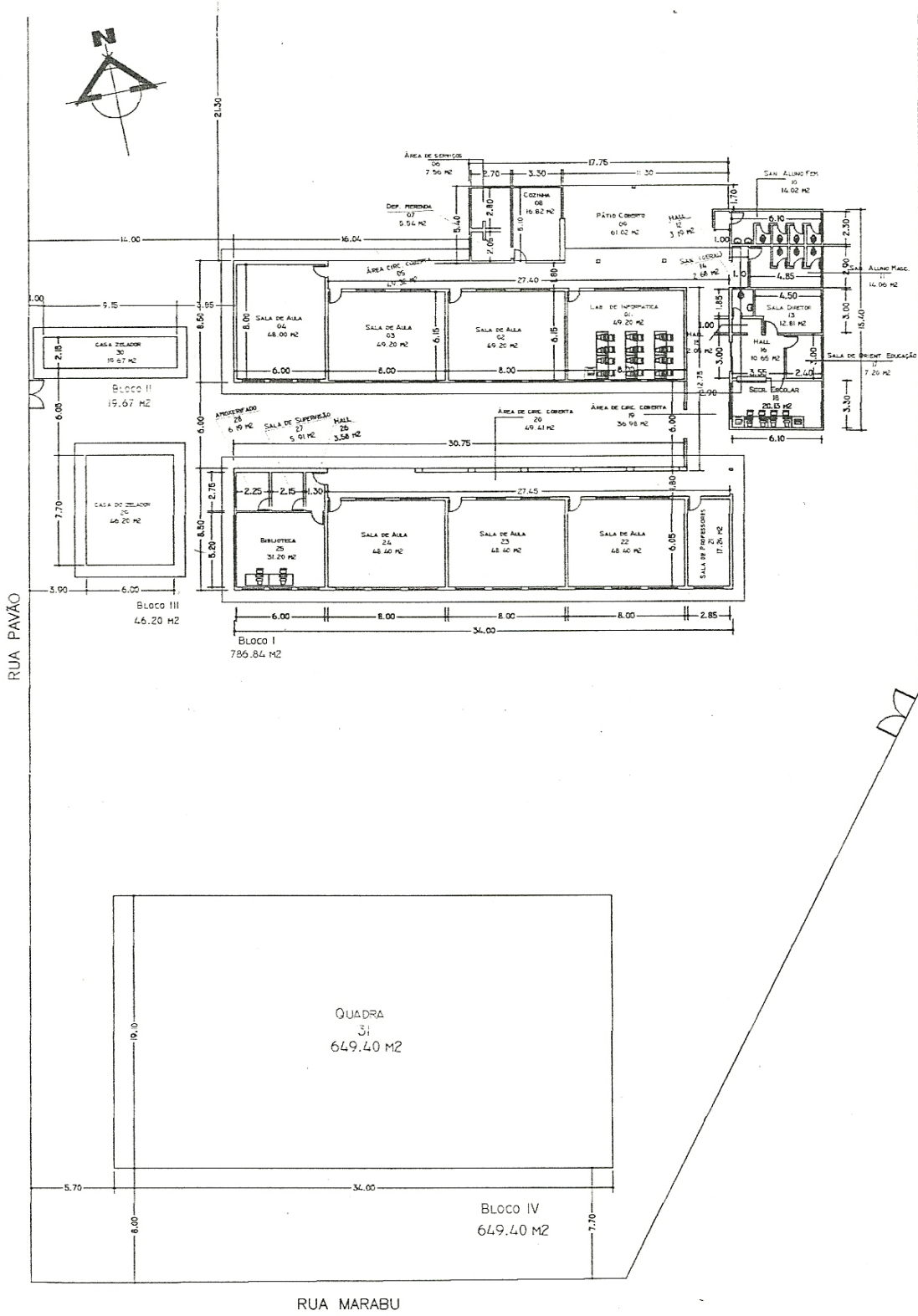


Figura B 07 – Cet Julia Wanderley

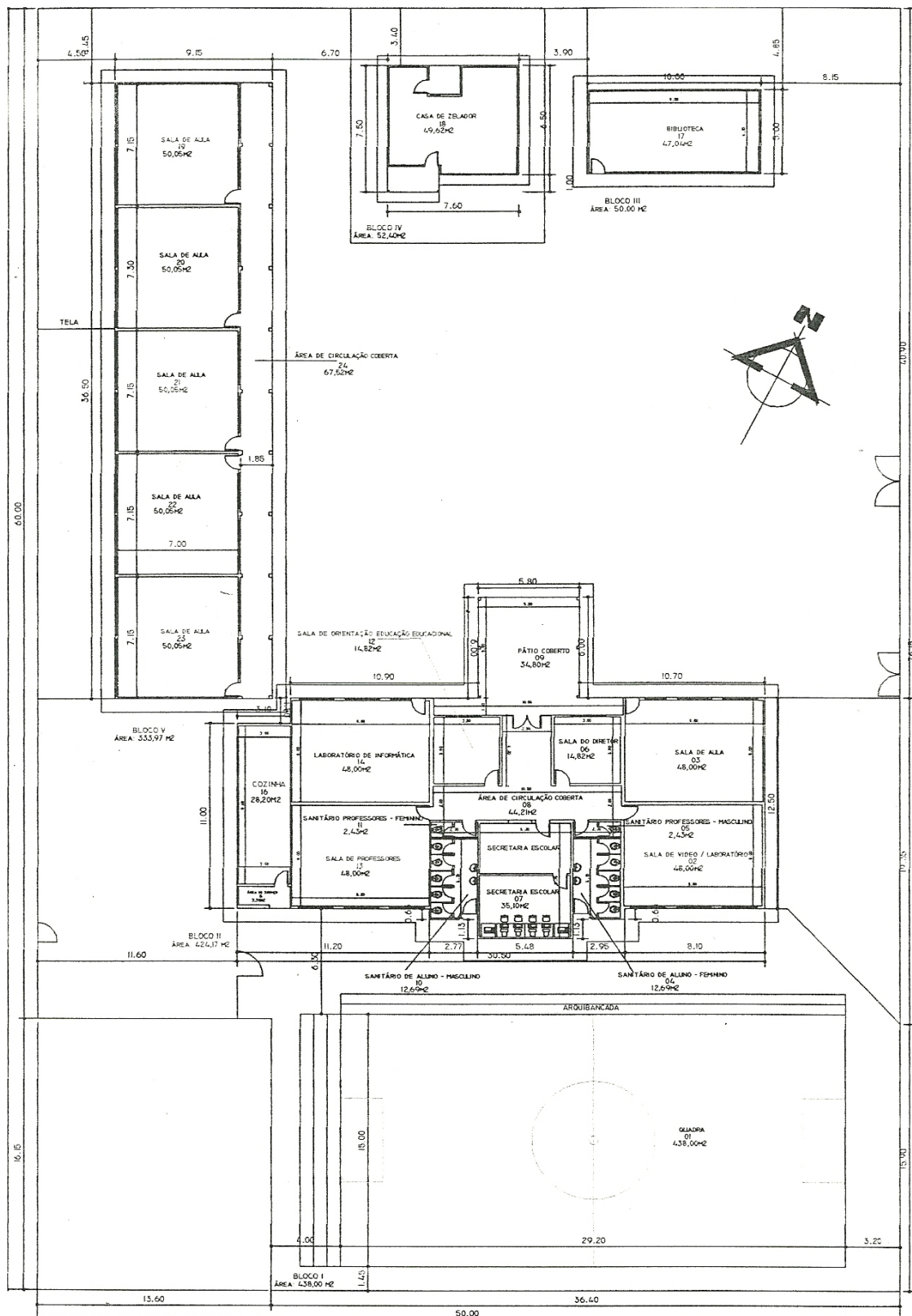


Figura B 09 – Cet Nadir Mendes Montanha

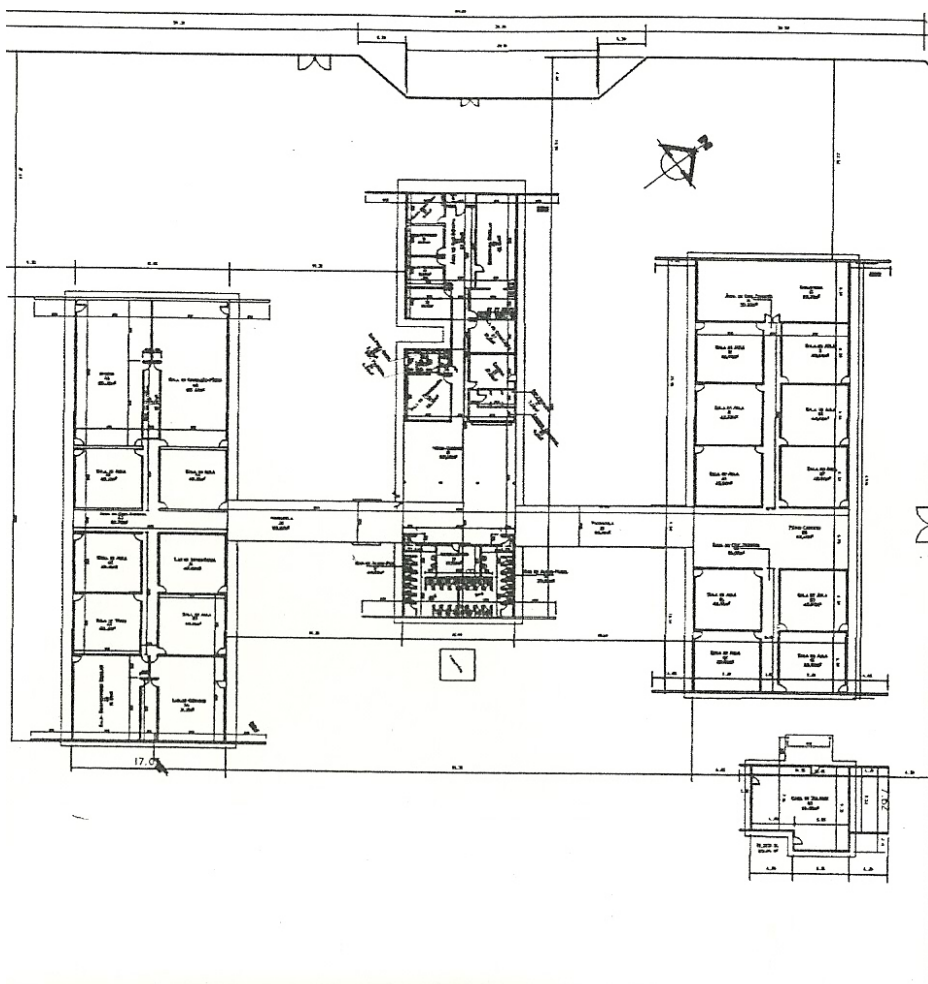


Figura B 11 – Cet Unidade Polo

