

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL E ENERGIA  
ELÉTRICA EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES**

**LUCAS NIEHUNS ANTUNES**

**FLORIANÓPOLIS**

**2017**

**LUCAS NIEHUNS ANTUNES**

**POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL E ENERGIA  
ELÉTRICA EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
à Universidade Federal de Santa Catarina  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil.

Área: Construção Civil

Orientador: Enedir Ghisi, PhD

FLORIANÓPOLIS

2017

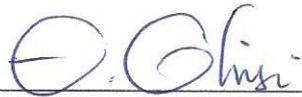
POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL E ENERGIA ELÉTRICA EM  
EDIFICAÇÕES ESCOLARES

LUCAS NIEHUNS ANTUNES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido e julgado adequado como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de  
ENGENHEIRO CIVIL

Prof<sup>ª</sup> Lia Caetano Bastos, Dr<sup>ª</sup>.

Coordenadora do TCC



Prof. Enedir Ghisi, PhD

Orientador

Banca Examinadora:

Prof<sup>ª</sup> Liseane Padilha Thives, Dr<sup>ª</sup>.

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Matheus Soares Geraldi, M.Eng.

Doutorando do PPGEC/UFSC

Eng. Mateus Vinícius Bavaresco, M.Eng.

Doutorando do PPGEC/UFSC

## **Agradecimentos**

Ao professor Enedir Ghisi, pela orientação, paciência e compreensão durante a realização deste trabalho, além de todo o conhecimento proporcionado desde o período da iniciação científica.

À professora Dr<sup>a</sup> Liseane Padilha Thives e aos Mestres Matheus Soares Geraldi e Mateus Vinícius Bavaresco, por aceitarem fazer parte da minha banca e contribuírem com o aprimoramento deste trabalho.

Aos meus pais, Diovânio e Sidnéia, por todo apoio que me deram durante o período da graduação, e por todo amor e ensinamentos passados a mim durante minha vida. A eles expressei todo o meu reconhecimento e gratidão.

Aos meus irmãos, Lincoln e Fillipe, pelo convívio, paciência e companheirismo, mesmo que de longe, durante esses anos de graduação.

A toda minha família, por todo o carinho, acolhimento e incentivo no meu crescimento como pessoa.

À Família NFB, por todo apoio, amizade e cumplicidade durante os últimos anos.

Aos Rats, amigos que a graduação me proporcionou e que levarei comigo pelo resto da vida.

Aos Primos Fãs do CAT, por fazerem parte do meu dia a dia nos últimos anos da graduação.

À colega de trabalho e amiga Mariana Laureci de Meneses, pela ajuda na realização deste trabalho.

A todos os professores e colegas de curso que contribuíram para a minha formação.

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de economia de água potável e energia elétrica em escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis. Foram analisados dados de consumo de água e energia de cem escolas e escolhidas duas destas para análise da implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva e mudanças no sistema de iluminação artificial. Uma das escolas escolhidas possui índices elevados de consumo de água e energia (EEB Prof. Aníbal Nunes Pires, 17,13 litros/aluno.dia e 15,09 kWh/aluno.mês), enquanto a outra possui baixos índices de consumo (EEB Ildefonso Linhares, 3,12 litros/aluno.dia e 4,80 kWh/aluno.mês). O potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva foi calculado com auxílio do programa Netuno 4, enquanto as mudanças no sistema de iluminação artificial tiveram como base cálculos realizados por meio do método dos lúmens. Dessa forma, foi proposta a mudança na quantidade das lâmpadas existentes e a troca destas por lâmpadas mais eficientes. Na escola com consumos elevados, obteve-se potencial de economia de água potável variando de 32,68 a 62,46% com o aproveitamento de água de chuva, o que representa redução no consumo de água potável entre 2.996 e 5.431 litros/dia. O tempo de retorno do investimento para a implantação do sistema variou de 20 a 36 meses. Com relação à energia elétrica, o potencial de economia foi de 62%, com redução mensal de 4.121 kWh. O tempo de retorno do investimento para as mudanças no sistema de iluminação foi de 5 meses. Na escola com baixos consumos, foram obtidos potenciais de economia de água potável entre 53,31 e 78,14% com o aproveitamento da água de chuva, representando redução no consumo de água potável de 542 a 1.574 litros/dia. Nos cenários em que a demanda de água de chuva foi considerada igual a 60% não houve retorno do investimento devido ao baixo consumo. Nos demais cenários foram obtidos períodos de retorno entre 46 e 83 meses. Quanto à energia elétrica, houve aumento de 348 kWh (13%) no consumo mensal, devido à insuficiência nos níveis de iluminância das salas de aula da escola. Os resultados deste trabalho confirmam que, com uma análise prévia da edificação e por meio de estratégias sustentáveis, é possível uma redução expressiva nos consumos de água potável e energia elétrica em edificações escolares, principalmente em escolas com elevados consumos.

**Palavras-chave:** Edificações escolares. Índices de consumo. Água potável. Energia elétrica. Potencial de economia. Água de chuva. Iluminação artificial.

## Sumário

<b>Lista de Figuras</b> .....	8
<b>Lista de Tabelas</b> .....	11
<b>1. Introdução</b> .....	14
<b>1.1. Considerações iniciais</b> .....	14
<b>1.2. Objetivos</b> .....	15
<i>1.2.1. Objetivo geral</i> .....	15
<i>1.2.2. Objetivos específicos</i> .....	15
<b>1.3. Estrutura do trabalho</b> .....	16
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	17
<b>2.1. Consumo de água em edificações escolares</b> .....	17
<b>2.2. Usos finais de água em edificações escolares</b> .....	24
<b>2.3. Consumo de energia em edificações escolares</b> .....	30
<b>2.4. Usos finais de energia em edificações escolares</b> .....	35
<b>2.5. Considerações finais</b> .....	38
<b>3. Método</b> .....	39
<b>3.1. Dados gerais de escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis</b> .....	40
<b>3.2. Índices de consumo de água potável e energia elétrica</b> .....	40
<b>3.3. Consumo de energia por área construída</b> .....	41
<b>3.4. Seleção das escolas para análise</b> .....	42
<b>3.5. Estratégias para redução do consumo de água potável</b> .....	42
<i>3.5.1. Sistema de aproveitamento de água de chuva</i> .....	42
<i>3.5.2. Análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva</i> .....	44
<b>3.6. Estratégias para redução do consumo de energia elétrica</b> .....	47
<i>3.6.1. Avaliação dos níveis de iluminância das salas de aula</i> .....	47
<i>3.6.2. Mudanças no sistema de iluminação artificial</i> .....	51

3.6.3. <i>Potencial de economia de energia elétrica obtido pelas mudanças no sistema de iluminação artificial</i> .....	53
3.6.4. <i>Análise econômica da proposta de mudanças no sistema de iluminação</i> .....	54
<b>4. Resultados</b> .....	<b>57</b>
<b>4.1. Dados gerais das escolas</b> .....	<b>57</b>
<b>4.2. Análise do consumo de água potável</b> .....	<b>57</b>
<b>4.3. Análise do consumo de energia elétrica</b> .....	<b>59</b>
<b>4.4. Seleção das escolas para análise de estratégias de redução do consumo de água potável e energia elétrica</b> .....	<b>62</b>
4.4.1. <i>Caracterização da Escola de Educação Básica Prof. Aníbal Nunes Pires</i> ...	63
4.4.2. <i>Caracterização da Escola de Educação Básica Ildefonso Linhares</i> .....	67
<b>4.5. Estratégias para redução do consumo de água potável</b> .....	<b>69</b>
4.5.1. <i>Características do sistema hidráulico das escolas</i> .....	69
4.5.2. <i>Sistema de aproveitamento de água de chuva</i> .....	70
4.5.3. <i>Análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva</i> .....	78
<b>4.6. Estratégias para redução do consumo de energia elétrica</b> .....	<b>81</b>
4.6.1. <i>Características do sistema de iluminação das escolas</i> .....	81
4.6.2. <i>Avaliação dos níveis de iluminância das salas de aula</i> .....	84
4.6.3. <i>Mudanças no sistema de iluminação artificial</i> .....	96
4.6.4. <i>Análise econômica das mudanças no sistema de iluminação artificial</i> .....	101
<b>4.7. Resumo dos resultados</b> .....	<b>103</b>
<b>5. Conclusão</b> .....	<b>105</b>
<b>5.1. Limitações do trabalho</b> .....	<b>107</b>
<b>5.2. Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	<b>107</b>
<b>Referências</b> .....	<b>108</b>
<b>Apêndice</b> .....	<b>113</b>

## Lista de Figuras

Figura 2.1. Consumos e custos das faturas de água na instituição de ensino SENAI/Florianópolis de 2005 a 2007. ....	21
Figura 2.2. Usos finais de energia elétrica para o campus da UFSC. ....	37
Figura 3.1. Fluxograma do método utilizado no estudo. ....	40
Figura 3.2. Interface de entrada do programa Netuno 4. ....	43
Figura 3.3. Luxímetro utilizado para realização das medições. ....	48
Figura 3.4. Pontos para medição nos quadros das salas de aula. ....	49
Figura 3.5. Pontos para medição da iluminação artificial no período noturno. ....	50
Figura 4.1. Índice de consumo de água potável para as escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis. ....	59
Figura 4.2. Índices de consumo de energia elétrica nas escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis. ....	60
Figura 4.3. Correlação entre índices de consumo de água e energia das escolas analisadas. ....	61
Figura 4.4. Correlação entre o índice de consumo de energia e o consumo de energia por área construída. ....	62
Figura 4.5. Comparação entre os índices de consumo de água e energia das escolas analisadas. ....	63
Figura 4.6. Portão de acesso à EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. ....	64
Figura 4.7. Imagem de satélite da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. ....	64
Figura 4.8. Esquema de divisão dos blocos da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires (sem escala). ....	66
Figura 4.9. Vista da entrada da EEB Ildefonso Linhares. ....	67
Figura 4.10. Imagem de satélite da EEB Ildefonso Linhares. ....	67

Figura 4.11. Castelo d'água e reservatório inferior da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. .	69
Figura 4.12. Reservatórios inferior e superior da EEB Ildefonso Linhares. ....	70
Figura 4.13. Precipitação diária de Florianópolis de 2002 a 2013. ....	71
Figura 4.14. Precipitação mensal média de Florianópolis de 2002 a 2013, com valores máximos e mínimos para cada mês. ....	71
Figura 4.15. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 60% na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. ....	73
Figura 4.16. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 70% na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. ....	73
Figura 4.17. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 80% na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. ....	74
Figura 4.18. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 60% na EEB Ildefonso Linhares. ....	76
Figura 4.19. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 70% na EEB Prof. Ildefonso Linhares. ....	76
Figura 4.20. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 80% na EEB Ildefonso Linhares. ....	77
Figura 4.21. Sala de aula padrão da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires (setembro de 2017). ....	85
Figura 4.22. Planta baixa das salas de aula da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires (sem escala). ....	85
Figura 4.23. Níveis de iluminância da sala 1 (orientação norte) na EEB Aníbal Nunes Pires (em lux). ....	87
Figura 4.24. Níveis de iluminância da sala 2 (orientação sul) na EEB Aníbal Nunes Pires (em lux). ....	88
Figura 4.25. Níveis de iluminância no período noturno nas salas de aula da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires (sem escala), em lux. ....	88

Figura 4.26. Sala 2 da EEB Ildefonso Linhares (setembro de 2017).....	89
Figura 4.27. Planta baixa da sala 2 (sem escala).....	90
Figura 4.28. Níveis de iluminância da sala 2 (orientação leste) da EEB Ildefonso Linhares (em lux).....	91
Figura 4.29. Sala 4 da EEB Ildefonso Linhares (setembro de 2017).....	92
Figura 4.30. Planta baixa da sala 4 (sem escala).....	92
Figura 4.31. Níveis de iluminância da sala 4 (orientação sul) da EEB Ildefonso Linhares (em lux).....	93
Figura 4.32. Sala 10 da EEB Ildefonso Linhares (setembro de 2017).....	94
Figura 4.33. Planta baixa da sala 10 (sem escala).....	94
Figura 4.34. Níveis de iluminância da sala 10 (orientação norte) da EEB Ildefonso Linhares (em lux).....	95

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Índice de consumo de água para escolas.....	18
Tabela 2.2. Indicadores de consumo para escolas em diferentes localidades.....	19
Tabela 2.3. Indicadores de consumo histórico das escolas das tipologias CEMEI, EMEI, EMEF e Estaduais.....	20
Tabela 2.4. Consumo de água na UFBA entre 1999 e 2010.....	22
Tabela 2.5. Estimativa da redução do consumo com a instalação das tecnologias economizadoras na escola fundamental.....	24
Tabela 2.6. Consumo total diário e mensal de água por aparelhos e atividades na instituição de ensino SENAI/Florianópolis.....	25
Tabela 2.7. Consumo diário e usos finais de água em escolas públicas de Florianópolis.....	27
Tabela 2.8. Resultados alcançados com as estratégias para redução de consumo de água potável.....	27
Tabela 2.9. Economia de água por energia embutida e por energia total das estratégias de uso racional de água analisadas.....	28
Tabela 2.10. Análise financeira das estratégias de uso racional de água analisadas. ....	28
Tabela 2.11. Consumo de água no Colégio Comercial Cândido Mendes no ano de 2004.....	29
Tabela 2.12. Consumo de iluminação artificial para salas de aula de Maceió/AL com as janelas orientadas a Norte e Sul.....	31
Tabela 2.13. Consumo anual de energia elétrica em iluminação para sala de aula protótipo em Florianópolis.....	32
Tabela 2.14. Aspectos geométricos e de desempenho térmico de salas de aula com diferentes tipos de padrão construtivo.....	33

Tabela 2.15. Consumo de energia elétrica por alunos e por área construída para uma mesma tipologia de escola-padrão (CIEP).....	34
Tabela 2.16. Consumo de energia elétrica total, por alunos e por área construída em escolas com diferentes tipologias.....	34
Tabela 2.17. Consumo específico diário das escolas públicas de Itabira. ....	35
Tabela 2.18. Características do consumo de energia elétrica da escola Glória Peres. ....	36
Tabela 2.19. Sistema de iluminação no período noturno da escola Glória Peres. ....	36
Tabela 2.20. Usos finais de energia elétrica na escola Glória Peres. ....	36
Tabela 3.1. Classificação do sistema de iluminação.....	49
Tabela 3.2. Coeficiente de utilização para luminária com refletor de alumínio de alto brilho, sem aletas, em função do índice de local e das refletâncias de forro, parede e plano de trabalho. ....	52
Tabela 3.3. Fator de depreciação em função das características de higiene do ambiente. ....	52
Tabela 4.1. Consumo mensal de água e energia da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. ....	65
Tabela 4.2. Consumo mensal de água e energia na EEB Ildefonso Linhares. ....	68
Tabela 4.3. Potenciais de economia de água potável e volume de água de chuva consumido na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.....	75
Tabela 4.4. Potenciais de economia de água potável e volume de água de chuva consumido na EEB Ildefonso Linhares.....	78
Tabela 4.5. Investimento inicial para a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.....	79
Tabela 4.6. Valores da tarifa de água para a categoria pública.....	79
Tabela 4.7. Análise econômica para os cenários analisados na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.....	80

Tabela 4.8. Investimento inicial para a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva na EEB Ildefonso Linhares. ....	80
Tabela 4.9. Análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva na EEB Ildefonso Linhares.....	81
Tabela 4.10. Pontos de iluminação da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. ....	82
Tabela 4.11. Pontos de iluminação da EEB Ildefonso Linhares. ....	83
Tabela 4.12. Classificação dos níveis de iluminância para salas de aula.....	86
Tabela 4.13. Classificação dos níveis de iluminância para os quadros das salas de aula. ....	86
Tabela 4.14. Resumo da avaliação dos sistemas de iluminação das salas de aula das escolas analisadas.....	96
Tabela 4.15. Economia de energia elétrica na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires após as mudanças propostas. ....	98
Tabela 4.16. Resultados obtidos após as mudanças no sistema de iluminação da EEB Ildefonso Linhares.....	101
Tabela 4.17. Investimento inicial para as mudanças no sistema de iluminação da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.....	102
Tabela 4.18. Investimento inicial para as mudanças no sistema de iluminação da EEB Ildefonso Linhares.....	103
Tabela 4.19. Resumo dos resultados das estratégias de redução no consumo de água potável nas edificações escolares analisadas.....	104
Tabela 4.20. Resumo dos resultados no consumo de energia elétrica com as mudanças no sistema de iluminação artificial das escolas.....	104

# 1. Introdução

## 1.1. Considerações iniciais

É notável que a atuação da construção civil no meio ambiente muitas vezes vai de encontro à ideia de sustentabilidade, sendo na maioria das vezes incompatível com o meio onde está inserida, pois provoca alterações no ambiente natural. Dessa forma, é de suma importância prever a correção dos efeitos que são considerados inevitáveis e, assim, colocar em prática metodologias que permitam atenuar esses danos.

A partir dos anos 1960, após o desenvolvimento da ideia de arquitetura bioclimática, a tecnologia passou a ser um novo elemento no processo ambiental, tendo como objetivo analisar climaticamente uma edificação e estabelecer sua relação com as condições de conforto (FRANDOLOSO, 2004).

Com a crise energética da década de 1970, a sustentabilidade passou a ser um assunto sempre presente nos debates. Com isso, a procura por formas para reduzir o consumo de recursos não renováveis e também da água, trouxe à tona novas pesquisas para a busca de fontes renováveis de energia e formas alternativas para diminuir o consumo de água potável.

De acordo com o *Green Building Challenge 4* (2003), edificações que têm como objetivo estratégico atenuar seus efeitos negativos sobre o meio ambiente e sobre os aspectos econômicos, sociais e culturais, são consideradas como aquelas que contribuem para o desenvolvimento sustentável. Estas considerações levam em conta a atuação da construção civil de uma forma tanto local quanto global.

A construção sustentável pressupõe o uso racional de insumos nas edificações. Dessa forma, edificações com baixo consumo de água e energia contribuem tanto no âmbito econômico quanto ambiental, pois, assim como auxiliam no combate à escassez dos recursos hídricos, também reduzem significativamente os impactos decorrentes do processo de geração de energia utilizada na climatização e iluminação.

Um dos tipos de edificações que mais consomem água e energia são as escolares, foco principal deste trabalho. Na instituição de ensino SENAI/Florianópolis, o consumo mensal de água no ano de 2007 foi de 147 m<sup>3</sup>, com um consumo *per capita* de 15,5 litros por dia (MARINOSKI, 2007). Na Universidade Federal de Santa Catarina, por exemplo, o consumo mensal em julho de 2002 foi de 10.664 m<sup>3</sup>, alcançando um consumo *per capita* de 31,6 litros por dia letivo (BOTELHO, 2008). Com relação ao consumo de energia elétrica, Angeloni *et al.* (2013) verificaram um

consumo de 2.661 kWh/mês somente com o sistema de iluminação artificial das salas de aula na Escola de Educação Básica João Colodel em Turvo/SC. Este elevado consumo ocorre por tratar-se de edificações com grande número de agentes consumidores, que muitas vezes não possuem sensibilidade em relação à conservação do meio ambiente, e também não têm a responsabilidade direta pelo pagamento das contas de água e energia.

Ainda sobre o consumo de água, Oliveira e Gonçalves (1999) destacam que existem diferentes ações que podem contribuir com a diminuição do consumo de água, tais como ações econômicas, sociais e tecnológicas, sendo estas últimas as de maior impacto. Como ações tecnológicas podem ser citadas a substituição de sistemas e componentes convencionais por economizadores de água, implantação de sistemas de medição setorizada do consumo de água, aproveitamento de água de chuva, reúso de água cinza, entre outras.

Com relação ao consumo de energia nas edificações escolares, analisando o atual quadro de consumo energético do Brasil, percebe-se que a iluminação artificial vem apresentando custo crescente nas contas de energia das edificações, a depender das características da região onde se encontra a edificação. Este consumo com iluminação artificial é ainda maior em prédios públicos, incluindo-se as escolas. Assim sendo, faz-se necessário a redução no consumo de energia, que pode ser proporcionada pelo uso da iluminação natural, por meio de projetos arquitetônicos que considerem as questões energéticas e ambientais e por outras formas de energias renováveis.

## **1.2. Objetivos**

### *1.2.1. Objetivo geral*

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o potencial de economia de água potável e energia elétrica em escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis.

### *1.2.2. Objetivos específicos*

Este trabalho apresenta como objetivos específicos a análise e correlação dos índices de consumo de água potável e energia elétrica em escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis com as características próprias de cada unidade escolar, tais como o número de alunos, área construída, período de atividade e tipo de

ensino. Além disso, foram escolhidas duas escolas para a avaliação da implantação de estratégias para redução do consumo de água e energia e feitas as seguintes análises:

- Cálculo do potencial de economia de água potável por meio da implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva, cálculo da economia mensal após a implantação do sistema e do *payback* deste investimento;

- Avaliação dos níveis de iluminância proporcionados pela luz natural e iluminação artificial das salas de aula;

- Proposta de mudança da quantidade de luminárias e troca das lâmpadas existentes por lâmpadas mais eficientes;

- Proposta de redução no tempo de uso do sistema de iluminação artificial das escolas;

- Cálculo do potencial de economia de energia elétrica com as mudanças propostas, da economia mensal de energia e do *payback* deste investimento.

### **1.3. Estrutura do trabalho**

Este trabalho é composto por cinco capítulos. No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução sobre noções de sustentabilidade, consumos de água e energia em edificações escolares, assim como os objetivos geral e específicos deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os assuntos abordados no trabalho, divididos em consumo de água e energia em edificações escolares, assim como seus usos finais. Além disso, é dado enfoque a escolas que possuem ações tecnológicas para reduzir o consumo de água e energia.

O capítulo 3 apresenta o método adotado no trabalho. Descrevem-se os critérios que foram utilizados para avaliar os dados de consumo de água potável e energia elétrica de escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis e também as estratégias que foram implantadas para a redução de consumo de água e energia nestas escolas.

O capítulo 4 mostra os resultados encontrados neste estudo, os consumos de água potável e energia elétrica das escolas públicas avaliadas e também o potencial de economia destes insumos.

O capítulo 5 expõe as conclusões e considerações finais do trabalho, as limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Consumo de água em edificações escolares

A disponibilidade de água vem decrescendo em todo o mundo devido ao crescimento da população e o conseqüente aumento da demanda por água. Um dos tipos de edificações que mais consomem este recurso são as escolares, por tratar-se de edificações públicas onde o agente consumidor não é responsável direto pelo pagamento da conta de água e muitas vezes não possui sensibilidade com relação à sustentabilidade. Em um estudo conduzido por Botelho (2008), foram estimados os consumos de água potável nos Centros Tecnológico (CTC) e Sócio-Econômico (CSE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Verificou-se que a média do consumo de água potável do CTC é de 4,76 litros *per capita* por dia útil, enquanto no CSE é de 4,62 litros *per capita* por dia útil. O consumo mensal de água na UFSC (considerando apenas os usos nas edificações dos centros de ensino) de 1998 a 2003, exceto 1999, variou de 3.106 m<sup>3</sup> a 10.664 m<sup>3</sup>, sendo que os menores consumos aconteceram no mês de janeiro (mês de recesso na Universidade).

Ilha *et al.* (2008) compararam os índices de consumo de água para escolas calculados por diferentes autores, estrangeiros e nacionais. Os resultados são apresentados na Tabela 2.1. Percebe-se uma grande variabilidade no consumo *per capita* das escolas. Esta variação pode ser explicada pelos diferentes regimes educacionais e hábitos diferenciados entre os usuários dos diferentes países. Além disso, há também diferenças na forma como cada autor calcula o índice de consumo, tais como a diferenciação do número de alunos (período parcial ou integral), o número de dias considerados (somente dias úteis, 22 em média, ou 30 dias por mês), etc.

Segundo Ilha *et al.* (2008), os baixos valores de índice de consumo são devidos a alguns fatores tais como o não acionamento do sistema de descarga após o uso da bacia sanitária, a não utilização dos banheiros pelos alunos, tanto pelo estado de conservação desses ambientes como pelo fato de que o período de permanência da escola é curto, entre outros. Os elevados valores de índice de consumo são obtidos principalmente por conta de vazamentos e também pelos maus hábitos dos usuários (higienização pessoal realizada com água corrente, sem fechamento do aparelho sanitário, irrigação de jardim em horários inadequados e com o aparelho sanitário continuamente aberto, entre outros).

Tabela 2.1. Índice de consumo de água para escolas.

<b>Categoria</b>	<b>Índice de consumo (litros/pessoa.dia)</b>	<b>Fonte</b>
Não especificada	20	Ganesan (1998)
	378*	Blease (1990)
	547*	
	11,0**	Ayres Associates (1993)
Infantil e fundamental	17,4	Styles; Keating (2000)
Fundamental	30***	Cheng; Hong (2002)
	56,4 ***	Cheng; Hong (2004)
	59,5***	
Não especificada	50	Berenhauser; Pulici (1983) apud Tomaz (2000)
	10 a 30	Melo; Netto (1998)
	50	Dmae (1988) apud Tomaz (2000)
	50	Macintyre (1996)
Ensino fundamental (11 a 14 anos - 5ª a 8ª série)	81,1	Oliveira (1999)
Educação infantil (3 a 6 anos)	18,6 a 30,9	Barreto; Chicchi (2001)
Ensino fundamental (7 a 14 anos - 1ª a 8ª série)	7,6 a 11,6	
Ensino médio (15 a 17 anos)	4,0 a 13,4	
Ensino fundamental e médio	25	São Paulo (2001)
Não especificada	5,7 a 8,6	Sabesp (2003)
Educação infantil	3,79 a 12,1	Werneck (2006)
Ensino fundamental	0,51 a 11,6	
Ensino fundamental e médio	4,5 a 7,5	

\*Para a contabilização do número de pessoas, foi considerado apenas o número de funcionários.

\*\*Os alunos permanecem na escola 7 horas por dia e é servida apenas uma refeição.

\*\*\*Para a contabilização do número de pessoas, foi considerado o número de funcionários e de alunos, que possuíam entre 7 e 16 anos.

Fonte: Ilha *et al.* (2008).

Soares (2016) também comparou estudos sobre os índices de consumo de diversas escolas do Brasil e de outros países. A Tabela 2.2 apresenta os valores encontrados. Percebe-se, novamente, que há uma grande variação nos valores (4,5 a 134 litros/aluno.dia). Em alguns dos casos, é mostrado o consumo de água depois da implantação do PURA (Programa de Uso Racional da Água).

Tabela 2.2. Indicadores de consumo para escolas em diferentes localidades.

<b>Região</b>	<b>Índice de consumo (litros/aluno.dia)</b>	<b>Referência</b>
Bolonha, Itália	10 a 30	Farina <i>et al.</i> , 2011
Taiwan	34	Cheng <i>et al.</i> , 2004
Campinas, SP	51,1	Gonçalves <i>et al.</i> , 2005
São Paulo	10 a 20	AQUA, 2007 (após implantação do PURA)
França	13	AQUA, 2007 (após implantação do PURA)
Ituiutaba, MG	13,86 a 51,26	Oliveira, 2013
Monte Carmelo, MG	10,59 a 62,23	Oliveira, 2013
Patos de Minas, MG	6,42 a 40,21	Oliveira, 2013
Patrocínio, MG	7,15 a 20,61	Oliveira, 2013
Uberaba, MG	8,26 a 62,82	Oliveira, 2013
Uberlândia, MG	7,27 a 47,4	Oliveira, 2013
Campinas, SP	81,1	Oliveira, 1999
Campinas, SP	4,5	Oliveira, 1999 (após implantação do PURA)
Campinas, SP	134	Nunes, 2000
Campinas, SP	8	Nunes, 2000 (após implantação do PURA)

Fonte: Adaptado de Soares (2016).

Soares (2017) verificou o índice de consumo para duas escolas públicas de Recife/PE. A Escola A possuía uma área de 9.760 m<sup>2</sup> e suas instalações hidrossanitárias eram compostas de 18 torneiras convencionais e 12 bacias sanitárias, sendo duas com caixa acoplada e com duplo acionamento, além de quatro chuveiros. A unidade possuía aproximadamente 1.139 alunos, sendo 218 em horário integral e 72 funcionários. A Escola B contemplava uma área de, aproximadamente, 1.560 m<sup>2</sup>. Suas instalações sanitárias totalizavam dez torneiras convencionais, quatro chuveiros ativos e seis bacias sanitárias do tipo convencional com caixa de descarga não acoplada. A escola era composta por 394 alunos e 33 funcionários. Para o ano de 2014, o indicador médio de consumo de água foi de 3,9 litros/aluno.dia para a escola A e 4,9 litros/aluno.dia para a escola B.

Creder (2006), por exemplo, considera para o projeto das instalações hidráulicas no Brasil 50 litros/agente consumidor.dia em edificações escolares sob sistema de externato e 150 litros/agente consumidor.dia em escolas sob sistema de internato.

Gonçalves *et al.* (2005) verificaram os consumos em diferentes tipos de escolas: CEMEI (Centro Municipal de Educação Infantil), EMEF (Escola Municipal de Ensino Fundamental), EMEI (Escola Municipal de Educação Infantil) e escolas Estaduais. Os resultados são mostrados na Tabela 2.3. Nota-se que há uma grande variabilidade nos índices de consumo das diferentes tipologias, devido principalmente à idade dos alunos e ao tempo de permanência destes na edificação.

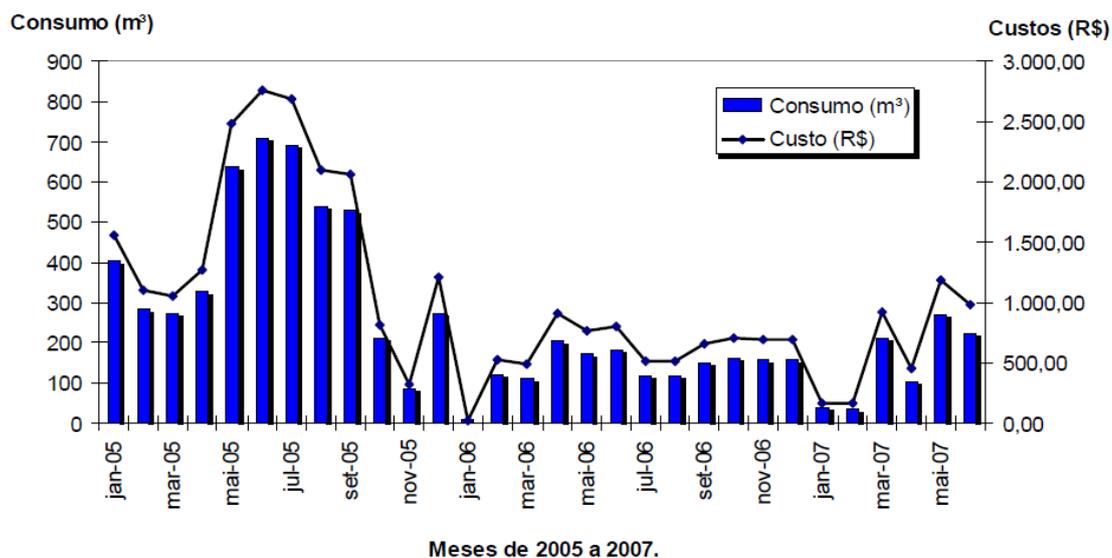
Tabela 2.3. Indicadores de consumo histórico das escolas das tipologias CEMEI, EMEI, EMEF e Estaduais.

<b>Escolas</b>	<b>Idade dos alunos</b>	<b>Período</b>	<b>Índice de consumo (litros/aluno.dia)</b>
<b>CEMEI</b>	3 a 4 anos	Integral (7h-18h)	55,60
<b>EMEF</b>	7 a 14 anos	(7h-11h, 11h-15h, 15h-19h)	21,33
<b>EMEI</b>	4 a 6 anos	Parcial (7h-12h e 13h-17h)	18,85
<b>Estaduais</b>	11 a 17 anos	Parcial (7h-11h, 11h-15h, 15h-19h)	10,68

Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.* (2005).

Marinoski (2007) constatou que na instituição de ensino SENAI/Florianópolis as médias mensais de consumo de água para os anos de 2005, 2006 e 2007 foram calculadas em 415, 140 e 147 m<sup>3</sup>, respectivamente. Percebe-se que a média de consumo de água no ano de 2005 é muito alta comparada com as médias de consumo de 2006 e 2007. Isto se deve ao fato de que no ano de 2005 a edificação passou por algumas reformas e houve também rompimento de algumas tubulações. A Figura 2.3 apresenta o consumo de água na instituição e também o custo durante os meses de janeiro de 2005 a junho de 2007. Para o ano de 2007, foi calculado o consumo médio diário, dividindo este consumo médio mensal por 23 dias úteis. Assim, o valor de consumo médio diário e o consumo *per capita*, com base nos consumos medidos pela CASAN, foram de 8.750 litros/dia e 15,5 litros/pessoa, respectivamente.

Figura 2.1. Consumos e custos das faturas de água na instituição de ensino SENAI/Florianópolis de 2005 a 2007.



Fonte: Marinoski (2007).

Nakagawa (2009) avaliou e caracterizou o consumo de água na Universidade Federal da Bahia. O consumo mensal, entre os anos de 1998 a 2000, era de aproximadamente 26.000 m<sup>3</sup>, reduzindo-se a 15.000 m<sup>3</sup> nos anos de 2006 e 2007. Essa redução de 42% no consumo foi resultado das ações do Programa de Uso Racional de Água. O consumo de água, incluindo o uso, desperdício e perda existente, nos prédios da UFBA, levou, apenas no ano de 2003, a um pagamento superior a R\$ 200.000,00 para a concessionária de abastecimento de água do Estado da Bahia.

Santos (2010) investigou o consumo de água durante o período de 1999 a 2010 para a mesma universidade (UFBA). A Tabela 2.4 apresenta valores da população acadêmica, consumo de água, consumo *per capita* e o impacto de redução de consumo na UFBA para o referente período. Verifica-se que o consumo *per capita* teve redução de 63% no período analisado.

Tabela 2.4. Consumo de água na UFBA entre 1999 e 2010.

<b>Ano</b>	<b>População Acadêmica (professores + funcionários + alunos)</b>	<b>Consumo de água (m³/dia)</b>	<b>Consumo <i>per</i> <i>capita</i> (litros/p.d)</b>	<b>Variação do consumo <i>per</i> <i>capita</i> (%)</b>
<b>1999</b>	23233	24941	50,0	-
<b>2000</b>	25392	23801	43,6	-13
<b>2001</b>	24702	19707	37,1	-15
<b>2002</b>	24203	20225	38,9	5
<b>2003</b>	24178	18604	35,8	-8
<b>2004</b>	25218	15541	28,7	-20
<b>2005</b>	25458	17076	31,2	9
<b>2006</b>	26205	14512	25,8	-17
<b>2007</b>	26335	13577	24,0	-7
<b>2008</b>	29737	12626	19,2	-20
<b>2009</b>	31510	14480	21,4	11
<b>2010</b>	36240	14601	18,7	-12

Fonte: Adaptado de UFBA apud Santos (2010).

Farina *et al.* (2011) quantificaram o consumo de água em escolas públicas da cidade de Bolonha, Itália. Cerca de 600 edificações escolares foram monitoradas durante um período de cinco anos (2005 a 2010). Em 2009, as escolas representaram 20% do consumo de água da cidade. Três tipos de escolas foram analisadas: berçários (0-3 anos de idade), jardins de infância (3-6 anos de idade) e escolas primárias (6-11 anos de idade). Para os berçários, o consumo variou de 37,4 a 72,7 litros/aluno.dia, enquanto nos jardins de infância o consumo variou de 27,6 a 59,6 litros/aluno.dia e de 10,6 a 26,6 litros/aluno.dia para as escolas primárias. Obteve-se, assim, uma média de 48 litros/aluno.dia para escolas com alunos entre 0 e 6 anos e 18 litros/aluno.dia para escolas com alunos de 6 a 11 anos. Os autores justificam essa diferença no consumo explicando que crianças mais jovens necessitam de mais atividades tais como lavanderia e cozinha, enquanto os maiores usos nas escolas primárias se referem principalmente aos banheiros.

Ywashima (2005) avaliou economicamente a instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo de água em uma escola pública de Campinas. Entre estas tecnologias destacam-se a substituição da bacia sanitária com válvula de descarga por bacia de volume de descarga reduzido, substituição da torneira convencional do lavatório por torneira hidromecânica de parede e a substituição do

mictório tipo calha por mictório individual com sifão integrado e válvula hidromecânica. A Tabela 2.5 apresenta a estimativa da redução do consumo após a instalação das tecnologias economizadoras. Verifica-se um impacto de redução estimado no consumo total de água igual a 54,5%. Como o indicador de consumo histórico médio da escola é de 23,7 litros/aluno.dia, multiplicando-se por um total de 585 alunos e 22 dias úteis no mês, tem-se como resultado um consumo total de 305 m<sup>3</sup>. Com a redução estimada, o consumo mensal passaria a ser 139 m<sup>3</sup>. No estudo foi constatado também que a intervenção responsável pelo melhor retorno é a substituição do mictório, na qual o pagamento se dá logo no primeiro mês de uso. Outro destaque é a bacia sanitária, que tem o período de recuperação do investimento para a sua instalação de seis meses.

Melo *et al.* (2014) avaliaram o consumo de água em escolas públicas da rede estadual de Minas Gerais, localizadas nos municípios de Ituiutaba, Monte Carmelo, Patos de Minas, Patrocínio, Uberaba e Uberlândia. No estudo, 72,9% das unidades de ensino apresentaram consumo menor que 20 litros/agente consumidor.dia e 47,1% das unidades ficaram na faixa de consumo de 10 a 20 litros/agente consumidor.dia. Os municípios de Uberlândia e Ituiutaba registraram, respectivamente, a menor e a maior média de índice de consumo (13,6 e 27,3 litros/agente consumidor.dia). Em Ituiutaba, 50% dos índices de consumo estão entre 17,1 e 36,9 L/agente consumidor.dia. Esta particularidade dos valores registrados para as escolas de Ituiutaba pode estar relacionada às maiores temperaturas média observadas, em comparação com outros municípios analisados.

Tabela 2.5. Estimativa da redução do consumo com a instalação das tecnologias economizadoras na escola fundamental.

Ambiente	Aparelho	Consumo estimado (litros)	Consumo estimado após troca (litros)	Redução estimada no ponto de consumo (%)	Redução estimada no consumo total (%)
Banheiro - Alunos	Lavatório calha	224,0	175,2	21,8	0,4
	Bacia sanitária - válvula	1.438,0	794,2	44,8	4,9
	Mictório tipo calha	4.752,0*	262,8	94,5	33,9
Banheiro - Alunas	Lavatório calha	161,0	205,1	-27,4**	-0,3**
	Bacia sanitária - válvula	3.610,0	1.992,4	44,8	12,2
Banheiro - Funcionários	Lavatório	9,0	11,2	-24,4**	0,0
	Bacia sanitária - válvula	172,0	95,2	44,7	0,6
Banheiro - Funcionárias	Lavatório	73,0	60,8	16,7	0,1
	Bacia sanitária - válvula	936,0	516,8	44,8	3,2
Cozinha	Pia	1.302,0	1.236,9	5,0	0,5
	Tanque	83,0	78,9	5,0	0,0
Área Externa	Tanque	41,0	41,0	0,0	0,0
	Torneira de lavagem	39,0	39,0	0,0	0,0
	Lavatório calha	398,0	526,5	-32,3**	-1,0**
<b>Total</b>		<b>13.238,0</b>	<b>6.036,0</b>	<b>---</b>	<b>---</b>

\*O registro do mictório é mantido permanentemente aberto durante o período de funcionamento da escola.

\*\*Os valores negativos se devem ao fato de que o consumo médio estimado, antes da substituição das torneiras, é inferior ao padronizado para as tecnologias economizadoras.

Fonte: Ywashima (2005).

## 2.2. Usos finais de água em edificações escolares

Os dados sobre usos finais de água em edificações são informações importantes quando se deseja implantar ações para reduzir o consumo de água. No caso de edificações escolares, é de suma importância conhecer qual porcentagem de água é utilizada em cada atividade, a fim de se escolher a melhor estratégia de redução. No estudo realizado por Marinoski (2007), foram obtidos os usos finais de água para a instituição de ensino SENAI/Florianópolis. Verificou-se que 63,54% da água consumida naquela edificação era utilizada em fins não potáveis, tais como vaso sanitário, mictório, irrigação de jardins, limpezas, etc. A Tabela 2.6 apresenta o consumo diário e mensal por aparelho ou atividade na instituição e também mostra a porcentagem de cada aparelho ou atividade com relação ao total de água consumida. Nota-se que o vaso sanitário é o aparelho com maior porcentagem de uso (45,0%),

sendo responsável por quase metade do total de consumo, seguido pelas torneiras do lavatório (18,8%) e torneiras da cozinha (15,2%).

Tabela 2.6. Consumo total diário e mensal de água por aparelhos e atividades na instituição de ensino SENAI/Florianópolis.

<b>Aparelho ou atividade</b>	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>Consumo (litros/dia)</b>	<b>Consumo (litros/mês)</b>
Torneira	18,79	1644,47	37822,80
Bebedouro	1,25	109,08	2508,84
Vaso sanitário*	45,00	3937,95	90572,90
Mictório*	11,12	973,28	22385,49
Tanque (laboratórios)	0,91	79,94	1838,60
Irrigação de jardins*	0,47	41,14	946,29
Lavação de carros*	1,97	172,80	3974,40
Lavação de calçadas*	0,16	14,40	331,20
Limpeza de vidros*	0,01	0,54	12,50
Limpeza*	4,80	420,00	9660,00
Torneira cozinha	15,20	1329,73	30583,72
Chuveiro	0,30	26,66	613,26
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>8750,00</b>	<b>201250,00</b>
<b>*Total não potável</b>	<b>63,54%</b>	<b>5560,12</b>	<b>127882,79</b>

Fonte: Adaptado de Marinoski (2007).

Neste mesmo estudo, Marinoski (2007) verificou o percentual de água potável que poderia ser substituído por água de chuva na instituição de ensino, levando em conta o uso de água de chuva em descargas de vaso sanitário, mictórios, torneiras de tanques usadas para limpeza geral do prédio, irrigação de jardins e lavação de carros. A área de telhados da edificação é de 3.300 m<sup>2</sup>, a precipitação média anual foi de 1.595 mm/ano. Adotando-se um reservatório inferior de 30.000 litros e um superior de 6.000 litros, o percentual total de economia de água potável obtido foi de 45,8%. O sistema foi orçado em R\$ 17.615,56 e o *payback* do investimento foi de aproximadamente 4 anos e 10 meses.

Ywashima *et al.* (2006) avaliaram o consumo de água em unidades da rede pública de ensino da cidade de Campinas. A coleta dos dados consistiu essencialmente na aplicação de questionários aos usuários para a caracterização das atividades realizadas com o uso de água. Três escolas foram visitadas, destacando-se que os

banheiros foram responsáveis pelas maiores parcelas do consumo de água, variando de 45 a 86% do total consumido na escola. O segundo maior consumidor de água foi a cozinha, com 25 a 45% do consumo total e a área externa foi responsável pelas menores parcelas do consumo (4% nas três escolas analisadas).

Botelho (2008) realizou um estudo na Universidade Federal de Santa Catarina para avaliar os usos finais de água em dois centros da instituição (Centro Tecnológico, CTC, e Centro Sócio-Econômico, CSE). Para o CTC os usos finais foram: bebedouro 3%, mictório 7%, lavatório 28% e bacia sanitária 62%. No CSE os usos foram: bebedouro 4%, mictório 10%, lavatório 23% e bacia sanitária 63%. Percebe-se uma grande semelhança quanto ao uso da água nos dois centros, sendo a bacia sanitária a responsável por grande parte do consumo de água, mostrando que a mesma é um dos principais aparelhos sanitários a ser contemplados com estratégias de uso racional de água, principalmente em edificações escolares.

Fasola (2009) estimou o consumo e usos finais de água potável para duas escolas públicas de Florianópolis, uma Municipal e outra Estadual. Na escola Municipal, o consumo foi de 28,81 litros/aluno.dia, refletindo em um consumo diário de 4,29 m<sup>3</sup>/dia. Na escola Estadual encontrou-se um consumo de 25,28 litros/aluno.dia, o que implica em um consumo diário de 6,14 m<sup>3</sup>/dia. A Tabela 2.7 apresenta o consumo diário e os usos finais das duas escolas. Percebe-se que o vaso sanitário é um dos responsáveis pelos maiores consumos de água, sendo que sua representatividade foi de 19,60% e 29,79% nas escolas Municipal e Estadual, respectivamente. O consumo de água não potável é de 25,62% e 74,38% nas escolas Municipal e Estadual, respectivamente.

Neste mesmo estudo, o autor propõe estratégias para o uso racional de água, tais como captação de água de chuva, reúso de água cinza, instalação de equipamentos economizadores e estratégias combinadas. O resultado na redução de consumo de água potável com a adoção destas estratégias é apresentado na Tabela 2.8. Quanto ao potencial de economia, o resultado mais expressivo encontrado foi de 27,83% combinando equipamentos economizadores e captação de água de chuva na escola Municipal e de 72,86% na escola Estadual, combinando a mesma metodologia.

Tabela 2.7. Consumo diário e usos finais de água em escolas públicas de Florianópolis.

Escola	Aparelho	Consumo (litros/dia)	Percentual (%)
<b>Municipal</b>	Torneiras de banheiro	166,64	3,88
	Vasos sanitários	841,22	19,60
	Mictório	14,07	0,33
	Limpeza (torneira)	265,40	6,18
	Cozinha (torneira)	2.954,52	68,82
	Bebedouro	51,02	1,19
	<b>Total</b>	<b>4.292,86</b>	<b>100,00</b>
<b>Estadual</b>	Torneiras de banheiro	187,19	3,05
	Vasos sanitários	1.830,13	29,79
	Mictório	2.314,06	37,67
	Limpeza (torneira)	280,00	4,56
	Cozinha (torneira)	1.486,66	24,20
	Bebedouro	44,70	0,73
	<b>Total</b>	<b>6.142,72</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Fasola (2009).

Tabela 2.8. Resultados alcançados com as estratégias para redução de consumo de água potável.

Estratégia	Percentual de redução (%)	
	Municipal	Estadual
Captação de água de chuva	22,91	42,48
Reúso de água cinza	5,08	4,23
Instalação de equipamentos economizadores	15,25 <sup>1</sup>	55,89 <sup>1</sup>
Reúso de água cinza + captação de água de chuva	23,95	46,26
Instalação de equipamentos economizadores + captação de água de chuva	27,83	72,86
Instalação de equipamentos economizadores + reúso de água cinza + captação de água de chuva	.. <sup>2</sup>	.. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Percentual referente ao cenário com melhor desempenho.

<sup>2</sup> Não estimado porque a oferta de água cinza é pouca.

Fonte: Fasola (2009).

Triska (2010) avaliou energética e financeiramente estratégias de uso racional de água, além de suas combinações, na Escola de Ensino Básico Silveira de Souza, localizada em Florianópolis/SC. As estratégias analisadas foram: uso de equipamentos economizadores, aproveitamento de água de chuva e reúso de água cinza. A estratégia do uso de equipamentos economizadores se destacou em todos os indicadores analisados, pois a pequena intervenção que consiste na troca de um equipamento por

outro foi considerada eficiente tanto energeticamente como financeiramente. Neste mesmo estudo o autor ainda relata que os tubos em PVC são os principais responsáveis pela energia embutida nos sistemas de uso racional de água e que a estratégia mais afetada por essa característica é o aproveitamento de água de chuva, devido à grande quantidade de tubos de queda e calhas. As Tabelas 2.9 e 2.10 apresentam, de forma resumida, os resultados das análises energética e financeira para as estratégias avaliadas, respectivamente. Cabe destacar ainda que para os equipamentos economizadores a energia elétrica gasta é zero, pois não há o uso de motobombas.

Tabela 2.9. Economia de água por energia embutida e por energia total das estratégias de uso racional de água analisadas.

<b>Estratégia</b>	<b>Economia de água por energia embutida (litros/GJ.dia)</b>	<b>Economia de água por energia total (litros/MJ.vida útil)</b>	<b>Energia embutida (GJ)</b>
Reúso de água cinza	30,4	194,0	6,2
Aproveitamento de água de chuva	57,9	265,3	45,1
Equipamentos economizadores	871,6	7.596,0	3,9

Fonte: Adaptado de Triska (2010).

Tabela 2.10. Análise financeira das estratégias de uso racional de água analisadas.

<b>Estratégia</b>	<b>Custo inicial (R\$)</b>	<b>Valor presente acumulado (R\$)</b>	<b>Taxa interna de retorno (%)</b>	<b>Período de retorno do investimento (meses)</b>	<b>Índice de economia de água por custo inicial (litros/R\$.dia)</b>	<b>Economia de água por <i>payback</i> (litros/dia.mês)</b>
Reúso de água cinza	1.855,68	11.548,10	2,87	45	0,101	4,2
Aproveitamento de água de chuva	12.120,41	180.070,34	5,54	21	0,215	124,3
Equipamentos economizadores	6.745,04	197.791,08	11,92	9	0,509	381,5

Fonte: Adaptado de Triska (2010).

Werneck e Bastos (2006) avaliaram a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva no Colégio Comercial Cândido Mendes, escola particular que atende a 850 alunos, sendo 500 no turno da manhã e 350 à tarde, distribuídos entre maternal e pré-vestibular. A escola conta com 85 funcionários, sendo

inclusos os professores. Situado em um terreno de 1.956,64 m<sup>2</sup>, o colégio se distribui em duas edificações e uma quadra polivalente coberta, com aproximadamente 1.832 m<sup>2</sup> de área construída, além de pátios e jardins. O somatório das áreas de cobertura é de 1.284,68 m<sup>2</sup>. Foi considerada uma fração de 70% para o consumo de água não potável, valor estimado a partir do estudo realizado por Ywashima (2005). A Tabela 2.11 apresenta o consumo de água da escola dividido em usos potáveis e não potáveis no ano de 2004.

Tabela 2.11. Consumo de água no Colégio Comercial Cândido Mendes no ano de 2004.

Meses	Consumo de água (m <sup>3</sup> )		
	Potável	Não potável	Total
Janeiro	26,7	62,3	89,0
Fevereiro	49,2	114,8	164,0
Março	48,3	112,7	161,0
Abril	70,8	165,2	236,0
Maiο	62,7	146,3	209,0
Junho	39,6	92,4	132,0
Julho	41,7	97,3	139,0
Agosto	34,5	80,5	115,0
Setembro	15,6	36,4	52,0
Outubro	31,8	74,2	106,0
Novembro	29,4	68,6	98,0
Dezembro	21,0	49,0	70,0
<b>Total</b>	<b>471,3</b>	<b>1.099,7</b>	<b>1.571,0</b>

Fonte: Werneck e Bastos (2006).

O orçamento para a implantação dos sistemas de aproveitamento de água da chuva, considerando armazenamento total de 50 m<sup>3</sup>, sendo 6 m<sup>3</sup> em caixas d'água existentes e 44 m<sup>3</sup> em cisterna de duas câmaras em concreto, foi de R\$ 35.296,84. Este sistema obteve 40,4% de redução no consumo de água tratada. O *payback* do investimento seria de 21 anos e meio e a economia anual média é de R\$ 3.354,24.

Foi avaliada também a redução no consumo através do uso de aparelhos economizadores. O potencial obtido foi de 35%. O valor de aquisição dos equipamentos seria de R\$ 3.954,26, resultando em um *payback* do investimento de 10 meses. A economia anual média seria de R\$ 3.065,76. Ao ser utilizado o aproveitamento de água de chuva e também os equipamentos redutores de consumo, tem-se um orçamento total de R\$ 39.251,10. O volume de água tratada economizada é de 8.688,34 m<sup>3</sup>, que

equivale a 64,4% da demanda total de água. A economia anual média seria de R\$ 5.351,17. Tal investimento teria um *payback* de 12 anos e 6 meses.

No caso do colégio em estudo, a redução de consumo pelo uso somente de equipamentos economizadores é a que apresenta o menor orçamento e o menor *payback* para uma economia considerável no consumo de água potável. Esta opção se mostra como a melhor do ponto de vista financeiro, embora não seja a que permite a maior redução do consumo de água potável.

### **2.3. Consumo de energia em edificações escolares**

As edificações escolares, além de consumirem um grande volume de água potável, também consomem em grande escala outro insumo: a energia elétrica. Este elevado gasto de energia não é devido somente ao consumo imoderado dos agentes consumidores, mas também ao uso intensivo da iluminação artificial e dos condicionadores de ar, causado por padrões arquitetônicos inadequados que desconsideram as questões climáticas e energéticas.

Um estudo elaborado por Ferreira e Moretti (2014) visou demonstrar como a luz natural pode aumentar a eficiência das tarefas visuais exercidas em edifícios escolares, utilizando-se de elementos arquitetônicos. O objetivo foi apresentar propostas para reduzir o consumo da energia elétrica em uma escola pública de Maceió/AL (09°39'57" de latitude Sul) através de simulações computacionais de estratégias para captação de luz natural. O consumo por sala e o custo com a iluminação artificial da escola é apresentado na Tabela 2.12. Foi verificado que 40% do total deste consumo era desperdiçado, sem nenhum aluno em sala enquanto as luzes estavam acesas.

Com a modificação proposta pelos autores, o orçamento da reforma das janelas e aberturas de iluminação da sala da escola totalizou R\$ 3.926,00 (considerando a troca de janelas e o ajuste nas suas dimensões, localização e forma). A economia anual obtida ao final do projeto para cada sala foi de R\$ 398,00 por ano, sendo parte em economia por eficiência energética de lâmpadas e outra parte por incremento de luz natural. O *payback* da reforma proposta é de 11,8 anos.

Tabela 2.12. Consumo de iluminação artificial para salas de aula de Maceió/AL com as janelas orientadas a Norte e Sul.

Tipo de sala	Consumo por lâmpadas	Consumo diário total por sala* (em kWh)	Consumo mensal por sala** (em kWh)	Custo do kWh para a classe tarifária B3 (CEAL)	Custo mensal com iluminação artificial
Sala padrão 68,84 m <sup>2</sup>	0,56 kWh/dia	6,72 kWh/dia	147.84 kWh/mês	R\$ 0,27136	R\$ 46,70 (com ICMS)

\*Considerando 740 minutos diários de utilização do sistema de iluminação artificial.

\*\* Considerado para 22 dias úteis do período de um mês com 30 dias.

Fonte: Ferreira e Moretti (2014).

Um estudo de caso foi realizado por Pietrobon *et al.* (1997) a fim de simular computacionalmente o consumo final de energia elétrica em prédios escolares de Maringá, condicionados com proteções solares arquitetônicas e paisagísticas por árvores. Os valores de conservação de energia devido à arborização variaram de 0,45% a 6,44%. Segundo os autores, as orientações mais problemáticas, mas bem sombreadas, apresentam maior conservação de energia elétrica que as demais. Porém, os valores de conservação obtidos estão muito abaixo da literatura estrangeira. Tal fato pode ser justificado, principalmente, pelo sistema construtivo brasileiro ter inércia térmica mais pesada que os definidos nos experimentos em outros países. O consumo de energia elétrica nas edificações escolares estudadas variou de 95,29 a 116,60 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Angeloni *et al.* (2013) verificaram que na Escola João Colodel, em Turvo/SC, as 168 lâmpadas das salas de aula (fluorescentes tubulares de 40W) permaneciam ligadas 18 horas por dia e 22 dias por mês, resultando em uma potência total de 6,72 kW e um consumo total de 2.661,12 kWh/mês. Foram estabelecidas metas de redução de consumo, com a substituição da lâmpada fluorescente tubular de 40W por outra de melhor eficiência, maior fluxo luminoso e menor potência, como a lâmpada fluorescente tubular de 28W. Além disso, também foi proposta a redução de 168 para 144 lâmpadas e uma redução de tempo de uso de 18 para 12 horas por dia (devido aos desperdícios). Com as mudanças, a potência total seria de 3,92 kW, considerando 24 lâmpadas a menos do sistema atual, com menor potência e menor tempo de uso no geral. Dessa forma, o consumo total do sistema proposto seria de 1.044,96 kWh/mês (61% de economia mensal de energia) e, portanto, somente nas salas de aula seria economizado o valor de R\$ 681,62 por mês.

Pereira e Bogo (1998) avaliaram o potencial de economia de energia elétrica em iluminação, com a utilização da luz natural nas salas de aula de escolas localizadas em

Florianópolis/SC. No estudo, o controle do uso da iluminação elétrica em função da disponibilidade da luz natural foi feito utilizando um ponto de referência (localizado na sala de aula a 4,5 m das janelas, a 4 m da parede de fundo e a altura do plano de trabalho de 0,75 m). Dessa forma, quando a iluminação natural fornece um nível de iluminância interno de 300 lux, a iluminação elétrica é totalmente desligada. O modelo protótipo de sala de aula (baseado em levantamentos de campo) utilizado possuía as seguintes características: área de 48 m<sup>2</sup>, porcentagem de área de janela por área de fachada igual a 35% e sistema de iluminação artificial com seis luminárias fluorescentes, cada uma com duas lâmpadas de 40W.

A análise foi realizada para duas situações, uma com proteção solar acima da janela (a 2,7 m do piso) e outra com a mesma proteção solar e obstáculos na altura de 12 m, localizados a 5 e 20 m de distância das janelas. A Tabela 2.13 apresenta o consumo anual de energia elétrica antes e depois da utilização da iluminação natural, para diferentes situações e orientações. Percebe-se que a porcentagem anual de redução de energia em iluminação com a utilização da luz natural pode chegar a 91,6%, sendo esta uma grande estratégia para a redução do consumo de energia em edifícios escolares.

Tabela 2.13. Consumo anual de energia elétrica em iluminação para sala de aula protótipo em Florianópolis.

<b>Consumo de energia elétrica sem a utilização da iluminação natural</b>	1169 kWh		
<b>Consumo de energia elétrica com a utilização da iluminação natural</b>			
<b>Sala de aula com proteção solar</b>	Norte	101 kWh	
	Sul	121 kWh	
	Leste	98 kWh	
	Oeste	172 kWh	
<b>Sala de aula com proteção solar e obstáculo junto à janela</b>		Distância do obstáculo	
		5 m	20 m
	Norte	176 kWh	112 kWh
	Sul	156 kWh	126 kWh
	Leste	333 kWh	116 kWh
	Oeste	181 kWh	155 kWh

Fonte: Pereira e Bogo (1998).

Segundo Góes (2010), a rede Municipal de ensino do Rio de Janeiro comportava, em 2010, 1.063 escolas e 255 creches, atendendo a 685.446 alunos. O consumo dos prédios da Secretaria de Educação totalizou, em 2007, 56.507.944 kWh, correspondendo a 9,4% de todo o consumo da Prefeitura com energia elétrica, incluindo

iluminação pública e sinalização semafórica. Se for considerado apenas o consumo predial, alcança 39% do total.

Góes (2010) realizou um estudo em diferentes tipos de escolas-padrão do Rio de Janeiro (Zona Bioclimática 8), com distintas características construtivas (Platoon, Bologna, Caixotinho, CIEP, Lelé e RIOURBE). Foram avaliados aspectos geométricos e de desempenho térmico das salas de aula típicas das escolas, tais como áreas de janela com ventilação cruzada (S), respectivas porcentagens das áreas de piso (A), sombreamento das aberturas, transmitância térmica (U), atraso térmico ( $\varphi$ ) e fator solar ( $F_{so}$ ) das paredes e coberturas. Nenhuma sala de aula atende integralmente aos requisitos da Norma ABNT NBR 15220 (2003), conforme mostra a Tabela 2.14.

Tabela 2.14. Aspectos geométricos e de desempenho térmico de salas de aula com diferentes tipos de padrão construtivo.

Padrão	Área da sala de aula (m <sup>2</sup> )	S (m <sup>2</sup> )	A (%)	Sombra	Paredes			Coberturas		
					U (W/m <sup>2</sup> .K)	$\varphi$ (h)	Fso (%)	U (W/m <sup>2</sup> .K)	$\varphi$ (h)	Fso (%)
<b>PLATOON</b>	58,42	15,75	26,96	não	2,28	3,70	3,65	1,99	7,90	5,17
<b>BOLOGNA</b>	42,63	9,88	23,18	sim	1,80	5,04	5,04	1,84	8,00	5,15
<b>CAIXOTINHO</b>	41,25	9,73	23,59	não	2,28	3,70	1,82	1,99	7,90	5,17
<b>FOM</b>	51,29	14,01	27,31	não	0,84	2,80	2,35	1,92	1,51	1,15
<b>CIEP</b>	53,90	19,17	35,57	sim	2,46	3,80	3,94	1,10	10,32	0,66
<b>LELÉ</b>	41,39	16,1	38,90	sim	0,73	4,70	2,11	0,94	5,57	0,56
<b>RIOURBE</b>	51,00	14,39	28,21	sim	1,88	5,05	2,94	1,44	7,08	0,49
<b>Diretrizes NBR 15220</b>			<b>≥ 40%</b>	<b>sim</b>	<b>≤ 3,60</b>	<b>≤ 4,3</b>	<b>4,0%</b>	<b>2,30</b>	<b>≤ 3,3</b>	<b>6,5%</b>

Fonte: Góes (2010).

Góes (2010) também avaliou o consumo de energia das edificações escolares. Primeiramente, foi feita uma comparação entre o consumo de energia para uma mesma tipologia de escola-padrão (CIEP – Centro Integrado de Educação Pública), apresentada na Tabela 2.15. Em seguida, foram comparados os consumos de escolas com diferentes tipologias (Tabela 2.16). Não foi verificada nenhuma relação entre o consumo da edificação e sua tipologia, obtendo-se, inclusive, valores discrepantes para escolas de padrão e densidade de ocupação semelhantes.

Tabela 2.15. Consumo de energia elétrica por alunos e por área construída para uma mesma tipologia de escola-padrão (CIEP).

Escola	Alunos	Área (m <sup>2</sup> )	Aluno/m <sup>2</sup>	Consumo 2007 (kWh)	Consumo/aluno (kWh/ano)	Consumo/m <sup>2</sup> (kWh/ano)
<b>Nação Rubro Negra</b>	869	5515,45	0,10	53340	61,38	9,67
<b>José Pedro Varela</b>	692	6902,40	0,16	166180	240,14	24,08
<b>Joaquim Pimenta</b>	532	5766,97	0,18	171999	323,31	29,82
<b>Augusto P. Carvalho</b>	1000	5637,15	0,09	78993	78,99	14,01
<b>Amilcar Cabral</b>	228	5515,45	0,05	87273	382,78	15,82

Fonte: Adaptado de Góes (2010).

Tabela 2.16. Consumo de energia elétrica total, por alunos e por área construída em escolas com diferentes tipologias.

Padrão/Escola	Alunos	Área (m <sup>2</sup> )	Aluno/m <sup>2</sup>	Consumo 2007 (kWh)	Consumo/aluno (kWh/ano)	Consumo/m <sup>2</sup> (kWh/ano)
<b>Platoon/República Argentina</b>	877	4223,78	0,21	138080	157,45	32,69
<b>Bologna/Bernardo Vasconcellos</b>	520	993,21	0,52	27133	52,18	27,32
<b>Caixotinho/Armando Fajardo</b>	509	980,58	0,52	29810	58,57	30,40
<b>FOM/ Edna Poncioni Ferreira</b>	313	904,34	0,35	25940	82,88	28,68
<b>CIEP/ José Pedro Varela</b>	692	6902,40	0,16	166180	240,14	24,08
<b>Lelé/Laura Sylvia Mendes Pereira</b>	335	625,75	0,54	22190	66,24	35,46
<b>RIOURBE/Tia Ciata</b>	708	6276,00	0,11	37160	52,49	5,92

Fonte: Adaptado de Góes (2010).

Souza e Jota (2006) avaliaram o consumo de energia elétrica de todas as escolas públicas municipais e estaduais da cidade de Itabira – MG. No estudo foram utilizadas quatro variáveis: número de alunos, número de turnos, número de salas e número de turmas. O menor consumo energético avaliado no período de janeiro a dezembro de 2004 foi de 1.789 kWh e o maior 76.280 kWh. As escolas funcionam em um, dois ou três turnos. A Tabela 2.17 apresenta o consumo específico diário das escolas de acordo com a variável utilizada. Percebe-se que as escolas municipais possuem um consumo diário menor do que as estaduais, o que já era esperado por tratar-se de escolas com

menor número de alunos. Porém, ao comparar o consumo de energia por aluno, nas escolas municipais este consumo é três vezes maior.

Tabela 2.17. Consumo específico diário das escolas públicas de Itabira.

Consumo específico	Municipais		Estaduais	
	Variação	Média	Variação	Média
<b>Dia letivo (kWh/dia)</b>	8,94 - 156,26	68,85	34,39 - 381,40	125,83
<b>Aluno (kWh/dia.aluno)</b>	0,13 - 1,41	0,35	0,07 - 0,18	0,11
<b>Sala (kWh/dia.sala)</b>	2,97 - 21,21	8,89	3,82 - 19,40	9,06
<b>Turno (kWh/dia.turno)</b>	8,94 - 93,36	40,21	17,19 - 127,13	47,21
<b>Turma (kWh/dia.turma)</b>	2,67 - 21,21	6,50	2,15 - 7,28	3,95

Fonte: Adaptado de Souza e Jota (2006).

#### 2.4. Usos finais de energia em edificações escolares

Ao se realizar estudos para a implantação de ações que visam a redução do consumo de energia elétrica em edificações, é essencial o conhecimento dos usos finais de energia nestes edifícios. Veras (2010) avaliou o consumo de energia elétrica e seus usos finais na escola de ensino médio Glória Peres, que está localizada na cidade de Rio Branco/AC (09°57' de latitude Sul). A escola possui 58 funcionários, 1.374 alunos e 59 professores e funciona diurnamente das 7h30 às 17h30 e noturnamente das 18h30 às 22h30. A Tabela 2.18 apresenta as características do consumo de energia da escola em estudo. Nota-se que o consumo de energia elétrica dos finais de semana corresponde a 26% do consumo dos dias úteis, um valor considerado alto visto que as atividades da escola são bastante reduzidas nos finais de semana.

Além disso, também foram medidas as iluminâncias dos ambientes da escola e os usos finais. Os valores encontrados no período diurno (considerando iluminação artificial e interferência da luz natural) ficaram entre 480 lux e 550 lux. A altura utilizada do campo de trabalho foi de 0,70 m. Em cada sala de aula estão instaladas seis luminárias com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 40W cada. A Tabela 2.19 mostra a potência instalada, a densidade de potência instalada (DPI) e o iluminamento no período noturno dos ambientes da escola. Os usos finais são apresentados na Tabela 2.20. Nota-se que a iluminação artificial (49,2%) e o sistema de ar-condicionado (38,3%) são as atividades que mais consomem energia elétrica na instituição.

Tabela 2.18. Características do consumo de energia elétrica da escola Glória Peres.

<b>Demanda máxima registrada</b>	74 kW
<b>Consumo total</b>	18.800 kWh/mês
<b>Demanda média dos dias úteis</b>	65,80 kWh
<b>Demanda média dos finais de semana</b>	17,4 kWh
<b>Densidade de potência instalada</b>	8,17 W/m <sup>2</sup>

Fonte: Adaptado de Veras (2010).

Tabela 2.19. Sistema de iluminação no período noturno da escola Glória Peres.

Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )	Potência (W)	DPI (W/m <sup>2</sup> )	Iluminamento (lux)	
				Medido	Recomendado
<b>Salas de aula</b>	624	6240	10,0	230	500
<b>Laboratórios</b>	168	1760	10,5	220	500
<b>Secretaria</b>	45	240	5,3	150	500
<b>Corredores</b>	1800	8600	4,8	70-120	200
<b>Auditórios</b>	450	1440	3,2	220	200

Fonte: Adaptado de Veras (2010).

Tabela 2.20. Usos finais de energia elétrica na escola Glória Peres.

Atividade	Potência instalada (kW)	Usos finais (%)
Iluminação interna	39,6	40,5
Iluminação externa	8,5	8,7
Sistema de ar-condicionado	37,5	38,3
Bombeamento de água	2,5	2,6
Outros equipamentos	9,7	9,9

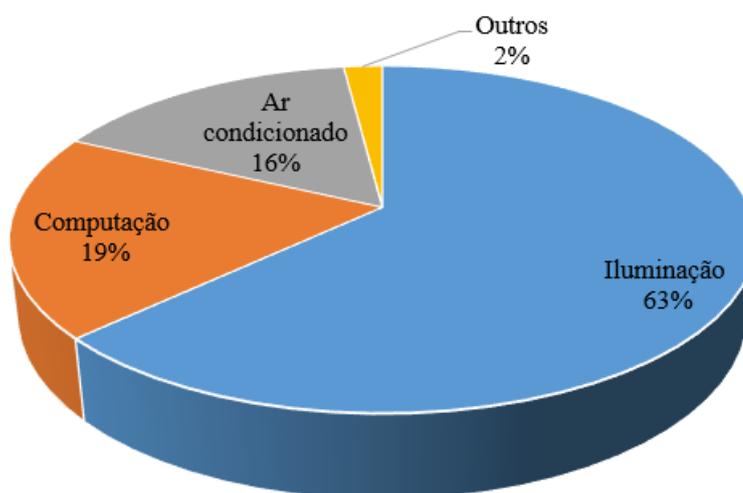
Fonte: Adaptado de Veras (2010).

No mesmo estudo, o autor ainda propôs a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares de 40W por lâmpadas de 32W nas salas de aula e corredores, e por lâmpadas fluorescentes compactas de 23W nos depósitos, além da substituição de lâmpadas de vapor de sódio de 400W por lâmpadas vapor de sódio de 250W na área externa da escola. O *payback* do investimento seria de seis meses. Outras ações também foram sugeridas, tais como a limpeza periódica nos filtros dos aparelhos de ar-condicionado e o desligamento da iluminação dos corredores durante o dia.

Segundo Ghisi e Lamberts (1997), para sistemas existentes, os *retrofits* são economicamente vantajosos. Dessa forma, a substituição de equipamentos ineficientes e a instalação de sistemas de controle de iluminação artificial através do uso de

iluminação natural ou de sensores de presença são alternativas eficientes a serem consideradas nos sistemas existentes. Como forma de avaliar o potencial de conservação de energia elétrica através de um estudo de *retrofit* no sistema de iluminação, um estudo de caso foi feito no campus da UFSC. Uma estimativa dos usos finais de energia elétrica no campus da UFSC para o ano de 1997 é mostrada na Figura 2.4. É válido ressaltar que este panorama nos usos finais já não é mais o mesmo nos dias de hoje, visto que o uso de aparelhos de ar-condicionado e computadores tem aumentado substancialmente.

Figura 2.2. Usos finais de energia elétrica para o campus da UFSC.



Fonte: Ghisi e Lamberts (1997).

No estudo de *retrofit* foram considerados a troca das lâmpadas existentes por lâmpadas mais eficientes (fluorescentes tubulares de 32W, com fluxo luminoso de 3050 lúmens e eficiência luminosa de 95 lm/W), luminárias diretas com refletor de alumínio refletivo e reatores eletrônicos, além do rebaixamento das luminárias para o limite inferior das vigas e da pintura das paredes com cor branca. No caso dos corredores, as lâmpadas seriam de 16W com fluxo luminoso de 1200 lúmens e eficiência luminosa de 75 lm/W. Verificou-se que a potência instalada em iluminação poderia ser diminuída entre 69% e 82%, a iluminância média poderia ser aumentada em até 107% e a eficiência do sistema de iluminação poderia ser aumentada entre 199% e 873%. Com isso, a redução no consumo de energia com iluminação seria de 67%. Como este era responsável por 63% do consumo do campus, a economia total a ser alcançada seria de 42%. O *payback* do investimento seria de aproximadamente de 5 anos.

## **2.5. Considerações finais**

Este capítulo apresentou dados de consumos e usos finais de água potável e energia elétrica em diversos edifícios escolares do Brasil e do mundo. Através destes dados, é possível ter uma base para poder entender melhor a forma como a água e a energia são consumidas neste tipo de edificação. Estes dados são considerados conhecimento essencial quando se deseja aplicar tecnologias para a redução do consumo de água potável e energia elétrica.

Apesar da grande variabilidade de valores de consumos e usos finais encontrados na literatura, as informações deste capítulo são importantes para a avaliação dos dados deste trabalho, assim como servem de base para as análises que feitas nos próximos capítulos.

### 3. Método

Este capítulo tem como objetivo descrever o método utilizado no trabalho. São detalhados aqui os critérios utilizados para avaliar os dados de consumo de água potável e energia elétrica de escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis, assim como o método de seleção das escolas para um estudo mais aprofundado sobre estratégias para redução do consumo destes insumos.

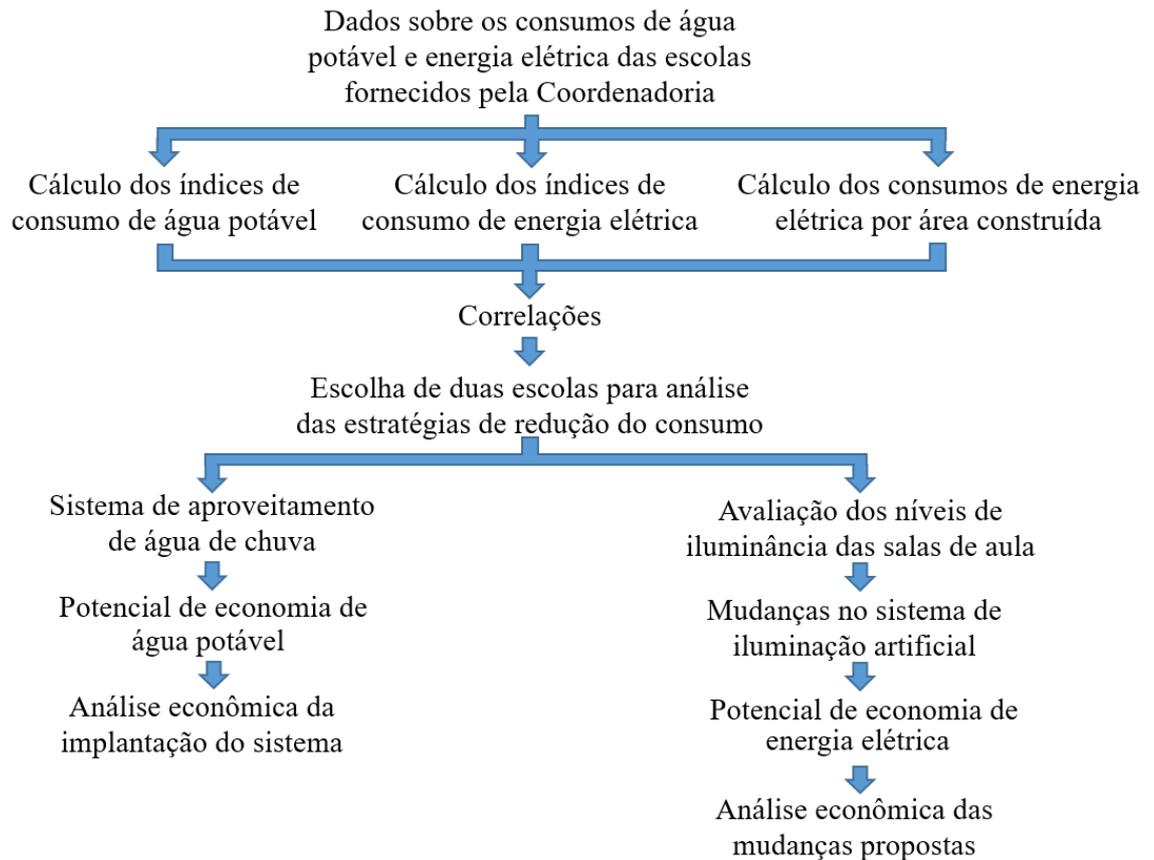
O estudo tem como base duas principais análises:

- Estratégias de redução do consumo de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva. São apresentados os métodos empregados para os cálculos do índice de consumo nas escolas escolhidas para a análise. Também é abordado o método para determinar o potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva. Além disso, os métodos para os cálculos de economia mensal de água e *payback* do investimento realizado também são apresentados.

- Estratégias de redução do consumo de energia elétrica, tais como mudança da quantidade de luminárias e a troca das lâmpadas existentes por lâmpadas mais eficientes de acordo com os níveis de iluminância das salas de aula avaliadas. São apresentados os métodos utilizados para a avaliação destes níveis de iluminância e os cálculos utilizados para determinar o número de luminárias necessárias nos ambientes das escolas. Além disso, são mostrados também os métodos usados para os cálculos de economia mensal de energia e *payback* dos investimentos realizados.

A Figura 3.1 ilustra o fluxograma com resumo das etapas realizadas neste trabalho. Os valores dos índices de consumo de água potável e energia elétrica e os valores de consumo de energia por área construída são de suma importância para a seleção das escolas analisadas e para a escolha das estratégias implantadas nas edificações.

Figura 3.1. Fluxograma do método utilizado no estudo.



### 3.1. Dados gerais de escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis

Os dados gerais das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis, tais como número de alunos, horários de funcionamento, tipo de ensino e área construída, foram obtidos por meio de solicitação à Coordenadoria Geral de Educação do Estado de Santa Catarina.

### 3.2. Índices de consumo de água potável e energia elétrica

Os dados sobre o consumo de água e energia das escolas também foram fornecidos pela Coordenadoria Geral de Educação do Estado de Santa Catarina.

Os índices de consumo de água potável das escolas foram calculados por meio da Equação 3.1.

$$ICa = \frac{Ca \cdot 1000}{NA \cdot DU} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

$ICa$  é o índice de consumo de água potável da unidade escolar em análise (litros/aluno.dia);

$Ca$  é o consumo total de água potável do período avaliado ( $m^3$ );

$NA$  é o número de alunos da unidade escolar;

$DU$  é a quantidade de dias úteis do período avaliado.

Os índices de consumo de energia elétrica das escolas foram calculados por meio da Equação 3.2.

$$ICe = \frac{Ce \cdot 22}{NA \cdot DU} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:

$ICe$  é o índice de consumo de energia elétrica da unidade escolar em análise (kWh/aluno.mês);

$Ce$  é o consumo total de energia elétrica do período avaliado (kWh);

22 é o número médio de dias úteis contidos em um mês;

$NA$  é o número de alunos da unidade escolar;

$DU$  é a quantidade de dias úteis do período avaliado.

### 3.3. Consumo de energia por área construída

Além dos índices de consumo, foram calculados também os consumos de energia elétrica por unidade de área construída de algumas escolas (apenas para edificações que tiveram os valores de área construída fornecidos pela Coordenadoria Geral de Educação do Estado de Santa Catarina), de acordo com a Equação 3.3.

$$CE\acute{a}rea = \frac{Ce \cdot 22}{AC \cdot DU} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde:

$CE\acute{a}rea$  é o consumo de energia elétrica por área construída da unidade escolar em análise (kWh/ $m^2$ .mês);

$Ce$  é o consumo total de energia elétrica do período avaliado (kWh);

22 é o número médio de dias úteis contidos em um mês;

*AC* é a área construída da unidade escolar (m<sup>2</sup>);

*DU* é a quantidade de dias úteis do período avaliado.

### **3.4. Seleção das escolas para análise**

A seleção das edificações escolares para um estudo mais aprofundado sobre estratégias de redução do consumo de água potável e energia elétrica foi feita através da análise dos resultados dos consumos destes insumos. Foram realizadas correlações entre os índices de consumo de água e energia e, através destas correlações, foram selecionadas duas unidades escolares. O objetivo deste método de seleção foi escolher escolas com situações opostas: uma com alto consumo de água e energia e outra com baixo consumo destes insumos. Desta forma, foi possível avaliar em quais das duas edificações as estratégias de redução de consumo são consideradas opções viáveis, tanto financeira quanto ambientalmente.

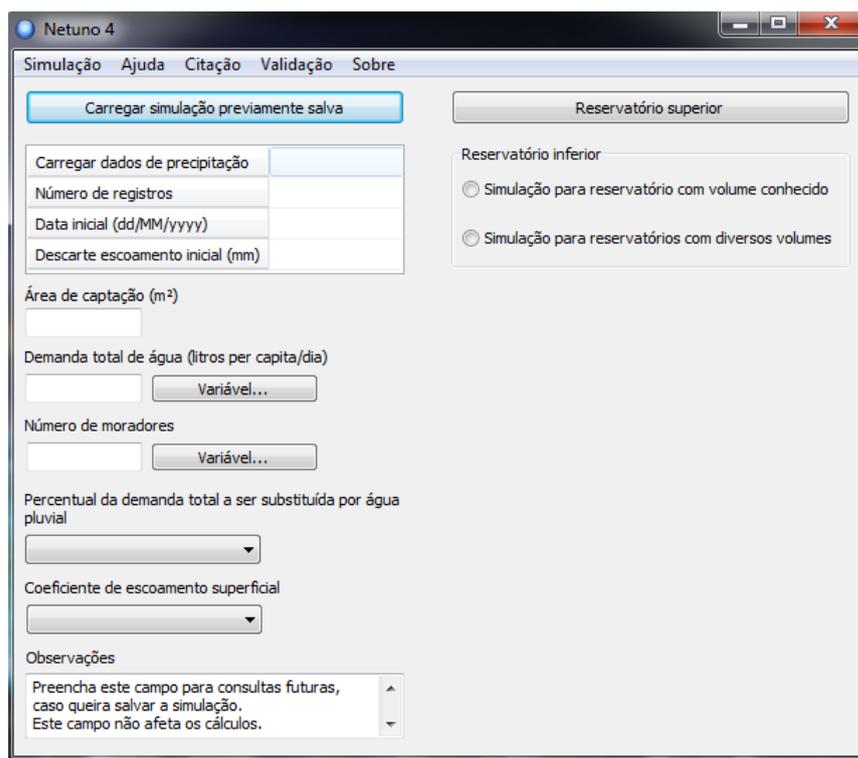
### **3.5. Estratégias para redução do consumo de água potável**

#### *3.5.1. Sistema de aproveitamento de água de chuva*

Foi proposto para cada escola selecionada um sistema de aproveitamento de água de chuva. O dimensionamento deste sistema levará em consideração a área de captação disponível (área de cobertura das escolas), a demanda em função do uso pretendido e os dados pluviométricos do município de Florianópolis. A água de chuva captada nas escolas é aproveitada para descargas em vasos sanitários e mictórios e irrigação de jardins e gramados. O projeto deve atender às diretrizes da NBR 15.527:2007 (Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos) e às especificações da Prefeitura Municipal de Florianópolis.

O volume dos reservatórios para armazenamento da água de chuva foi calculado com auxílio do programa computacional Netuno 4 (GHISI; CORDOVA, 2014). Os dados de entrada para o programa são: histórico do índice pluviométrico, descarte inicial, área de captação disponível, demanda total diária de água potável, porcentagem da água potável a ser substituída por água de chuva, número de agentes consumidores (número total de alunos e funcionários das escolas) e o coeficiente de escoamento superficial. A Figura 3.2 mostra a interface de entrada do programa Netuno 4.

Figura 3.2. Interface de entrada do programa Netuno 4.



Os dados sobre o índice pluviométrico na cidade de Florianópolis foram obtidos de uma série histórica disponibilizada no site HidroWeb – Sistemas de Informações Hidrológicas, da Agência Nacional de Águas. Utilizou-se dados de precipitação diária para um período de 12 anos (1º de janeiro de 2002 a 31 de dezembro de 2013). Estes dados são de operação e responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O descarte inicial considerado foi o valor exigido pela Prefeitura Municipal de Florianópolis (2016) em projetos de aproveitamento de água de chuva. A área de captação disponível foi obtida através de medição da área de cobertura das escolas pelo *software* Google Earth. O coeficiente de escoamento superficial, por sua vez, teve seu valor definido de acordo com o material utilizado nas coberturas das escolas e também considerando possíveis perdas de água de chuva por evaporação.

A demanda total diária de água potável foi baseada nos dados de consumo de água das escolas, fornecidos pela Coordenadoria Geral de Educação de Santa Catarina. A porcentagem da água potável a ser substituída por água de chuva foi baseada em dados da literatura, que foram expostos no Capítulo 2 deste trabalho.

Para o cálculo do potencial de economia de água potável através do aproveitamento de água de chuva, foram elaborados alguns cenários, utilizando-se os consumos mínimo, máximo e médio de água potável das escolas em análise e variando

a porcentagem da água potável a ser substituída por água de chuva. Este percentual foi definido com base em valores encontrados na literatura, como por exemplo, os trabalhos publicados por Ywashima (2005), Marinoski (2007), Botelho (2008), Fasola (2009), entre outros. Dessa forma, foram analisados diferentes cenários, considerando percentuais de substituição iguais a 60%, 70% e 80%.

A escolha do volume do reservatório inferior foi feita com auxílio do programa Netuno 4. Optou-se pela indicação do volume ideal através da diferença entre potenciais de economia de água por meio do aproveitamento de água de chuva. A diferença escolhida foi de 1%/m<sup>3</sup>.

Os dados de saída do programa são: potenciais de economia de água potável para diferentes volumes de reservatório, consumo de água de chuva, atendimento de água de chuva e volume extravasado.

O cálculo do volume do reservatório superior foi feito através da Equação 3.4, que leva em consideração o consumo médio *per capita* de água, o número de pessoas da escola (alunos e funcionários) e o percentual de substituição de água potável por água de chuva igual a 70%, que foi considerado o valor médio de percentual de substituição.

$$V_{res. sup.} = C_{diário per capita} \cdot N \cdot AC \quad (\text{Equação 3.4})$$

Onde:

$V_{res. sup.}$  é o volume do reservatório superior de água de chuva, em litros;

$C_{diário per capita}$  é o consumo médio diário de água *per capita*, em litros/pessoa.dia;

$N$  é o número de pessoas da escola, considerando alunos e funcionários;

$AC$  é o percentual de água potável que poderia ser substituída por água de chuva, em %.

### 3.5.2. Análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva

Depois de verificar o potencial de economia de água potável obtido pelo sistema proposto, foram verificados o custo total e a viabilidade econômica para os diferentes cenários analisados. Os custos de um sistema de aproveitamento de água de chuva resumem-se basicamente em custos com materiais e equipamentos, custos de energia elétrica devido ao funcionamento da motobomba, e custos com mão de obra.

Os custos dos materiais foram obtidos através dos preços mais baratos de orçamentos realizados em três lojas de materiais de construção da cidade de Florianópolis. Por tratar-se de um orçamento preliminar, os custos com tubulações e

conexões foram estipulados em 15% do total do custo do sistema, conforme recomendado em outros estudos (FERREIRA, 2005; MARINOSKI, 2007).

Para orçar o custo com a mão de obra necessária à instalação do sistema, foi realizada uma estimativa de preços em empreiteiras que executam serviços de instalações hidrossanitárias. Dessa forma, foram estipulados o tempo para a instalação do sistema e também o custo da mão de obra por dia trabalhado.

O custo de operação das motobombas, que bombearão a água de chuva do reservatório inferior para o superior, também foi calculado. Para o cálculo da potência das motobombas foram consideradas algumas variáveis de projeto, tais como altura de sucção, altura de recalque, comprimento total da tubulação, vazão e material da tubulação. A altura de sucção foi considerada como sendo a distância vertical entre a saída do reservatório inferior e a entrada na motobomba. Para a altura de recalque, considerou-se a distância vertical entre a saída da motobomba e a entrada do reservatório superior. O comprimento total das tubulações levou em conta as distâncias horizontais e verticais desde a saída da motobomba até a entrada do reservatório superior. A vazão, por sua vez, foi determinada com base no consumo diário de cada escola e considerando o tempo de uso diário da motobomba. Após determinar a potência, as motobombas foram escolhidas através de catálogos de fabricantes.

Com a potência das motobombas conhecida, foi verificada a respectiva vazão, o tempo diário e o número de dias por mês em que há bombeamento. Os custos com energia elétrica devido ao bombeamento foram calculados de acordo com os valores cobrados pela CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina), em R\$/kWh, para a categoria em que se encontram as escolas públicas estaduais. O custo mensal do consumo de energia elétrica com o uso das motobombas é dado pela Equação 3.5.

$$C_{bombas} = P_{bomba} \cdot t \cdot N \cdot V_{energia} \quad (\text{Equação 3.5})$$

Onde:

$C_{bombas}$  é o custo mensal de energia elétrica com o uso das motobombas, em R\$;

$P_{bomba}$  é a potência da bomba selecionada, em kW;

$t$  é o tempo diário de funcionamento da motobomba, em horas;

$N$  é o número de dias por mês em que há bombeamento;

$V_{energia}$  é o valor da tarifa de energia cobrada pela CELESC, em R\$/kWh.

A economia mensal gerada pela redução do consumo de água potável através do uso da água de chuva é dada pela Equação 3.6.

$$E_{\text{águapot}} = C_{\text{mensal}} \cdot (P_{\text{econ}} / 100) \cdot V_{\text{água}} \quad (\text{Equação 3.6})$$

Onde:

$E_{\text{águapot}}$  é a economia mensal obtida pela redução do consumo de água potável através do uso de água de chuva, em R\$;

$C_{\text{mensal}}$  é o consumo mensal médio de água potável, em m<sup>3</sup>;

$P_{\text{econ}}$  é o potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva, em %;

$V_{\text{água}}$  é o valor da tarifa de água cobrada pela CASAN, em R\$/m<sup>3</sup>.

Portanto, a economia mensal total com a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva é calculada por meio da Equação 3.7.

$$E_{\text{mensal}} = E_{\text{águapot}} - C_{\text{bombas}} \quad (\text{Equação 3.7})$$

Onde:

$E_{\text{mensal}}$  é a economia mensal gerada pelo sistema de aproveitamento de água de chuva, em R\$;

$E_{\text{águapot}}$  é a economia mensal obtida pela redução do consumo de água potável através do uso de água de chuva, em R\$;

$C_{\text{bombas}}$  é o custo mensal de energia elétrica com o uso das motobombas, em R\$;

O período de retorno do investimento (pelo método do *payback* descontado), valor presente líquido e taxa interna de retorno também foram calculados pelo programa Netuno 4. O método do programa leva em consideração as estimativas de consumo de água, o reajuste das tarifas de água e energia elétrica, a inflação mensal, a taxa mínima de atratividade, a vida útil do sistema, os custos iniciais, os custos operacionais, entre outros fatores.

O reajuste das tarifas de água potável e energia elétrica foi obtido nos *sites* das concessionárias CASAN (2017) e CELESC (2017), respectivamente. A inflação mensal foi considerada igual à inflação do mês de setembro de 2017, obtida de acordo com o IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo), calculado pelo Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Foi adotada uma taxa mínima de atratividade igual a 1% ao mês, valor este muito utilizado em fundos de renda fixa. A vida útil do sistema foi considerada igual a 20 anos.

### **3.6. Estratégias para redução do consumo de energia elétrica**

#### *3.6.1. Avaliação dos níveis de iluminância das salas de aula*

A avaliação dos níveis de iluminância das salas de aula foi feita através de visitas às escolas. Foi realizado um levantamento das características físicas das salas, tais como dimensões, características construtivas, mobiliário, número e localização das luminárias, tipo e características das lâmpadas, entre outros. Além disso, foram registrados a data, o horário e as condições do céu no momento das medições. Para as medições dos níveis de iluminância das salas, foi utilizado um luxímetro modelo MLM-1011 da marca Minipa (Figura 3.3). As medições foram feitas com o luxímetro apoiado sobre os planos de trabalho do ambiente (neste caso, as mesas), que possuem altura de 0,75 m.

Esta avaliação seguiu as diretrizes da norma NBR ISO/CIE 8995: Iluminância de Ambientes de Trabalho, que substituiu as normas NBR 5413:1992 – Iluminância de interiores e NBR 5382:1985 – Verificação de iluminância de interiores. Porém, alguns dos métodos dispostos nas normas substituídas foram utilizados para a avaliação dos níveis de iluminância deste estudo, visto que estas apresentam métodos eficientes e simplificados para as medições.

Foram feitas apenas duas medições dos níveis de iluminância para cada sala de aula em estudo, sendo uma realizada no período da manhã (diurno) e outra no período noturno.

Figura 3.3. Luxímetro utilizado para realização das medições.



### 3.6.1.1. Iluminação natural e artificial (período diurno)

Primeiramente, foi feita a avaliação da iluminância no período diurno, considerando apenas a iluminação natural e, logo após, dos níveis de iluminância obtidos considerando a iluminação natural e artificial, conjuntamente.

Quando se deseja avaliar a iluminância em planos de trabalho, faz-se necessário medições em uma quantidade de pontos suficiente para representar adequadamente tais planos. Para determinar o número mínimo de pontos necessários para a avaliação do nível de iluminação natural, é preciso determinar o índice do local ( $K$ ), calculado através da Equação 3.8.

$$K = (C \cdot L) / [H_m \cdot (C + L)] \quad (\text{Equação 3.8})$$

Onde:

$K$  é o índice do local, adimensional;

$L$  é a largura do ambiente, em metros;

$C$  é o comprimento do ambiente, em metros;

$H_m$  é a distância vertical entre o plano de trabalho e o plano das luminárias, em metros.

O número mínimo de pontos é obtido através da Equação 3.9.

$$N = (K + 2)^2 \quad (\text{Equação 3.9})$$

Onde:

$N$  é o número mínimo de pontos necessários para verificação dos níveis de iluminância, adimensional;

$K$  é o índice do local, adimensional.

O valor  $N$  calculado é o número mínimo de pontos. Este deve ser aumentado, se necessário, para que se consiga simetria nas medições. Após o cálculo do número de pontos, o ambiente interno deve ser dividido em áreas iguais, com formato próximo ou igual a um quadrado. Com a malha de pontos definida, deve-se utilizar o luxímetro para determinar os níveis de iluminação em cada ponto.

Com os resultados em mãos, o próximo passo é realizar a análise de desempenho, identificando os seguintes itens:

- consultar a NBR ISO/CIE 8995: Iluminância de Ambientes de Trabalho e determinar a iluminância média ( $E_M$ ) que deve ser mantida para as salas de aula;
- classificar as zonas do sistema de iluminação através da classificação indicada na Tabela 3.1.

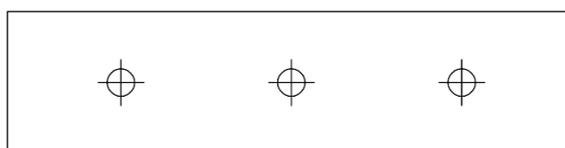
Tabela 3.1. Classificação do sistema de iluminação.

<b>Intervalo de iluminância</b>	<b>Zona</b>	<b>Classificação</b>
< (70% $E_M$ - 50 lux)	insuficiente	ruim
(70% $E_M$ - 50 lux) a 70% $E_M$	transição inferior	regular
70% $E_M$ a 130% $E_M$	suficiente	bom
130% $E_M$ a 2.000 lux	transição superior	regular
> 2.000 lux	excessiva	ruim

Fonte: ABNT (1992).

Também foram medidos os níveis de iluminância nos quadros das salas de aula. As medições foram realizadas em três pontos, a uma altura central do quadro, conforme mostra a Figura 3.4.

Figura 3.4. Pontos para medição nos quadros das salas de aula.

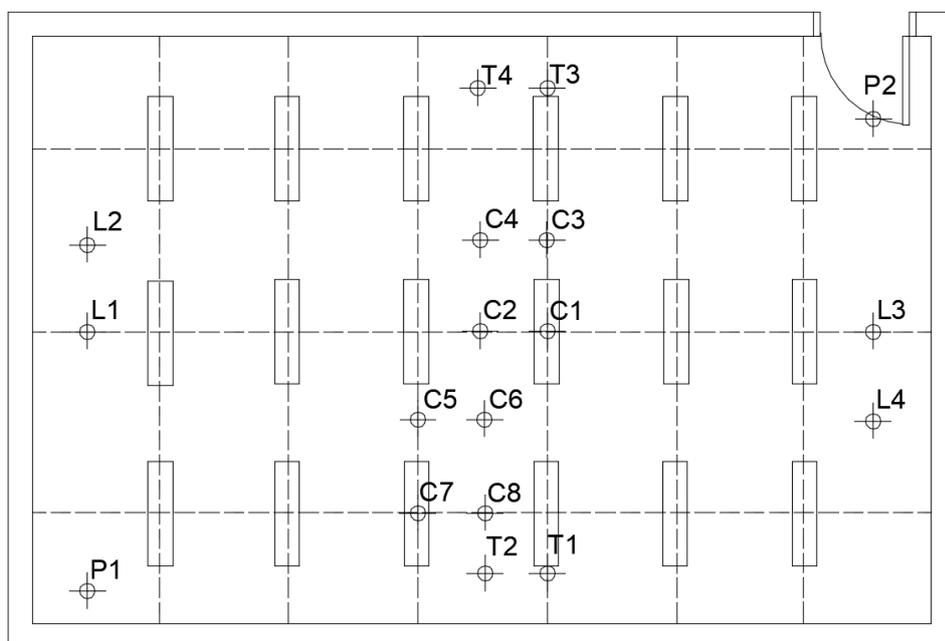


### 3.6.1.2. Iluminação artificial (período noturno)

No cálculo da iluminância média ( $E_m$ ) para iluminação artificial, foram feitas medições no período da noite, com todas as lâmpadas acesas. Deve-se calcular os níveis de iluminância nos seguintes pontos (Figura 3.5), conforme recomenda a NBR 5382:1985 – Verificação de iluminância de interiores:

- Pontos P: nos dois cantos do ambiente diametralmente opostos;
- Pontos L: entre as paredes transversais e a coluna de luminárias mais próximas;
- Pontos T: entre as paredes longitudinais e a linha de luminárias mais próximas;
- Pontos C: no centro do ambiente.

Figura 3.5. Pontos para medição da iluminação artificial no período noturno.



Fonte: Adaptado de ABNT (1985).

A iluminância média do ambiente é calculada pela Equação 3.10.

$$E_m = [MP + MT(n-1) + MC(n-1)(m-1) + ML(m-1)] / (mn) \quad (\text{Equação 3.10})$$

Onde:

$E_m$  é a iluminância média do ambiente, em lux;

$MP$  é a média dos pontos P, em lux;

$MT$  é a média dos pontos T, em lux;

$MC$  é a média dos pontos C, em lux;

$ML$  é a média dos pontos L, em lux;

$n$  é o número de luminárias em cada linha;

$m$  é número de linhas.

Observação: quando o número de linhas de luminárias for inferior a três, poderá ser medido um conjunto de apenas quatro pontos (C1, C2, C3 e C4).

A iluminância média verificada em campo deve ser comparada com a iluminância média determinada pela NBR ISO/CIE 8995: Iluminância de Ambientes de Trabalho e classificada em adequada (quando o valor de  $E_m$  é maior ou igual ao valor exigido por norma) ou não adequada (quando o valor de  $E_m$  não atinge o valor exigido por norma).

### 3.6.2. Mudanças no sistema de iluminação artificial

A mudança na quantidade de luminárias e a troca dos tipos de lâmpadas existentes nas salas de aula foram propostas com o auxílio do método dos lúmens. Este método permite determinar o número de lâmpadas necessário para atender a iluminância exigida no ambiente através de alguns parâmetros, tais como a área do ambiente, a iluminância requerida, o coeficiente de utilização, o fator de depreciação e o fluxo luminoso da lâmpada escolhida, conforme a Equação 3.11.

$$N = (A \cdot E_m) / (C_{ut} \cdot F_d \cdot \varphi_{lumin}) \quad (\text{Equação 3.11})$$

Onde:

$N$  é o número de lâmpadas necessário para atender a iluminância exigida no ambiente;

$A$  é a área do ambiente, em m<sup>2</sup>;

$E_m$  é a iluminância exigida no ambiente pela NBR ISO/CIE 8995:2003, em lux;

$C_{ut}$  é o coeficiente de utilização da luminária;

$F_d$  é o fator de depreciação da lâmpada;

$\varphi_{lumin}$  é o fluxo luminoso da lâmpada escolhida, em lúmens.

O coeficiente de utilização da luminária ( $C_{ut}$ ) depende do material e da forma da luminária, além de depender também do índice do local ( $K$ , calculado por meio da Equação 3.8) e das refletâncias do forro, parede e plano de trabalho dos ambientes. Os

valores destas refletâncias foram obtidos de acordo com faixas de refletâncias úteis determinadas pela NBR ISO/CIE 8995:2003. O fator de depreciação da lâmpada ( $F_d$ ), por sua vez, depende das condições de limpeza do ambiente. Estes valores podem ser encontrados em diversos catálogos de diferentes fabricantes. Neste estudo, os valores de  $C_{ut}$  e  $F_d$  foram obtidos através das Tabelas 3.2 e 3.3, respectivamente.

Tabela 3.2. Coeficiente de utilização para luminária com refletor de alumínio de alto brilho, sem aletas, em função do índice de local e das refletâncias de forro, parede e plano de trabalho.

Índice do local (K)	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0	Forro
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,1	0,3	0,1	0,0	Parede
	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	Plano trab.
0,60	0,38	0,36	0,37	0,36	0,36	0,31	0,31	0,28	0,30	0,27	0,26	0,60
0,80	0,46	0,43	0,45	0,44	0,42	0,38	0,37	0,34	0,37	0,34	0,33	0,80
1,00	0,52	0,48	0,51	0,49	0,48	0,43	0,43	0,40	0,42	0,39	0,38	1,00
1,25	0,58	0,53	0,57	0,54	0,52	0,48	0,48	0,45	0,47	0,44	0,43	1,25
1,50	0,62	0,57	0,61	0,58	0,56	0,52	0,51	0,49	0,51	0,48	0,47	1,50
2,00	0,69	0,62	0,67	0,64	0,61	0,58	0,57	0,55	0,56	0,54	0,52	2,00
2,50	0,73	0,65	0,71	0,67	0,64	0,61	0,60	0,58	0,59	0,58	0,56	2,50
3,00	0,76	0,67	0,74	0,70	0,66	0,64	0,63	0,61	0,62	0,60	0,59	3,00
4,00	0,80	0,69	0,78	0,73	0,68	0,67	0,65	0,64	0,64	0,63	0,61	4,00
5,00	0,82	0,71	0,80	0,74	0,70	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,63	5,00

Fonte: Cotrim (2009).

Tabela 3.3. Fator de depreciação em função das características de higiene do ambiente.

Ambiente	Fator de depreciação ( $F_d$ )
Limpo	0,80
Médio	0,70
Sujo	0,60

Fonte: Cotrim (2009).

Após o cálculo e determinação da quantidade e tipo de lâmpadas que foram adotadas nas salas de aula, foi calculada a nova iluminância média obtida após as mudanças no sistema de iluminação artificial de cada sala, novamente por meio do método dos lúmens, de acordo com a Equação 3.12. Para este cálculo não é considerado o fator de depreciação ( $F_d$ ), visto que, no início da operação do sistema, não há depreciação das novas lâmpadas instaladas.

$$E_m = (N \cdot C_{ut} \cdot \varphi_{lumin}) / A \quad \text{(Equação 3.12)}$$

Onde:

$E_m$  é a iluminância média do ambiente, em lux;

$N$  é o número de lâmpadas adotadas;

$\varphi_{lumin}$  é o fluxo luminoso da lâmpada escolhida, em lúmens.

$C_{ut}$  é o coeficiente de utilização da luminária;

$A$  é a área do ambiente, em m<sup>2</sup>;

Para os corredores, foram propostas a mudança nos tipos de lâmpadas e a redução no tempo de utilização destas, a fim de se evitar desperdícios. Com relação à mudança nos tipos de lâmpada, foram escolhidas lâmpadas mais eficientes (lm/W), ou seja, lâmpadas com potência menor do que as existentes, porém com fluxo luminoso igual ou superior as destas.

Nos demais ambientes das escolas (biblioteca, auditório, laboratórios, entre outros) não foi proposta nenhuma modificação, ficando esta análise como sugestão para trabalhos futuros.

### *3.6.3. Potencial de economia de energia elétrica obtido pelas mudanças no sistema de iluminação artificial*

O potencial de economia de energia elétrica foi obtido por meio do aumento da eficiência luminosa das lâmpadas e também pela redução no tempo de uso do sistema de iluminação artificial. A redução no consumo de energia elétrica gerada pelo aumento da eficiência das lâmpadas pode ser obtida por meio da Equação 3.13.

$$E_{eficiência} = (\Sigma P_1 - \Sigma P_2) \cdot t_{uso2} \quad \text{(Equação 3.13)}$$

Onde:

$E_{eficiência}$  é a redução mensal no consumo de energia elétrica gerada pelo aumento da eficiência das novas lâmpadas instaladas, em kWh;

$\Sigma P_1$  é o somatório das potências das lâmpadas existentes, em kW;

$\Sigma P_2$  é o somatório das potências das novas lâmpadas selecionadas, em kW;

$t_{uso2}$  é o tempo total de uso mensal das novas lâmpadas, considerando a redução no tempo de uso do sistema de iluminação artificial da escola, em horas.

A redução no consumo de energia elétrica gerada por meio da redução no tempo de uso do sistema de iluminação artificial é dada por meio da Equação 3.14.

$$Et_{uso} = \Sigma P_1 \cdot (t_{uso1} - t_{uso2}) \quad (\text{Equação 3.14})$$

Onde:

$Et_{uso}$  é a redução mensal no consumo de energia elétrica gerada pela redução no tempo de uso do sistema, em kWh;

$\Sigma P_1$  é o somatório das potências das lâmpadas existentes, em kW;

$t_{uso1}$  é o tempo total de uso mensal atual das lâmpadas existentes, em horas;

$t_{uso2}$  é o tempo total de uso mensal das novas lâmpadas, considerando a redução no tempo de uso do sistema de iluminação artificial da escola, em horas.

Dessa forma, a redução mensal total no consumo de energia elétrica gerada pelas mudanças no sistema de iluminação pode ser calculada por meio da Equação 3.15.

$$E_{energia} = E_{eficiência} + Et_{uso} \quad (\text{Equação 3.15})$$

Onde:

$E_{energia}$  é a redução mensal total no consumo de energia elétrica gerada pelas mudanças no sistema de iluminação, em kWh;

$E_{eficiência}$  é a redução mensal no consumo de energia elétrica gerada pelo aumento da eficiência das novas lâmpadas instaladas, em kWh;

$Et_{uso}$  é a redução mensal no consumo de energia elétrica gerada pela redução no tempo de uso do sistema, em kWh.

#### 3.6.4. Análise econômica da proposta de mudanças no sistema de iluminação

O investimento inicial para as mudanças propostas resumem-se em custos com materiais, equipamentos e com a mão de obra necessária para a instalação do novo sistema. Os custos dos materiais e equipamentos foram obtidos através dos preços mais baixos de orçamentos realizados em três lojas de materiais elétricos da cidade de

Florianópolis. O custo com a mão de obra e o tempo necessário para a realização dos serviços foram orçados em empreiteiras da cidade especializadas neste tipo de trabalho.

Após o cálculo dos custos iniciais, parte-se para os cálculos dos benefícios trazidos pelas propostas de mudança. A economia mensal gerada pelo sistema é dada pela Equação 3.16.

$$E_{mensal} = E_{energia} \cdot V_{energia} \quad (\text{Equação 3.16})$$

Onde:

$E_{mensal}$  é a economia mensal gerada pelas mudanças no sistema de iluminação, em R\$;

$E_{energia}$  é a redução mensal total no consumo de energia elétrica gerada pelas mudanças no sistema de iluminação, em kWh;

$V_{energia}$  é o valor da tarifa de energia cobrada pela CELESC, em R\$/kWh.

Com os valores dos custos com o investimento inicial e benefícios mensais gerados pelas mudanças no sistema de iluminação, foi possível analisar a viabilidade econômica das propostas descritas. Calculou-se o período de retorno do investimento pelo método do *payback* descontado, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno por meio das Equações 3.17 a 3.19, respectivamente. Assim como na análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva, foi adotada uma taxa mínima de atratividade igual a 1% ao mês. A vida útil do sistema foi considerada igual a 10 anos.

$$I_0 \leq \sum_1^n \left[ \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} \right] \quad (\text{Equação 3.17})$$

Onde:

$I_0$  é o investimento inicial, em R\$;

$B_n$  é a economia mensal gerada pelas mudanças propostas, em R\$;

$C_n$  são os custos mensais relevantes, excluindo os custos iniciais, em R\$;

$i$  é a taxa mínima de atratividade;

$n$  é a variável tempo, que indica o número de períodos, em meses.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (\text{Equação 3.18})$$

Onde:

$VPL$  é o valor presente líquido, em R\$;

$F_t$  é o fluxo de caixa no período  $t$ , em R\$;

$t$  é o enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido;

$n$  é o número de meses  $t$ ;

$i$  é a taxa mínima de atratividade.

$$\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (\text{Equação 3.19})$$

Onde:

$F_t$  é o fluxo de caixa no período  $t$ , em R\$;

$t$  é o enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido;

$n$  é o número de meses  $t$ ;

$TIR$  é a taxa interna de retorno.

## **4. Resultados**

Este capítulo apresenta os consumos de água potável e energia elétrica de unidades escolares da Região Metropolitana de Florianópolis, os índices de consumo e os potenciais de economia de água e energia alcançados através das estratégias adotadas nas edificações escolares escolhidas para análise. Foram mostrados também a economia mensal gerada pelas estratégias, assim como o custo de implantação, período de retorno do investimento, valor presente líquido e taxa interna de retorno destes investimentos.

### **4.1. Dados gerais das escolas**

O Apêndice A.1 apresenta os dados gerais das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis, tais como o município em que se localiza a unidade escolar, o número de alunos, os turnos de funcionamento e o tipo de ensino. No total, foram recebidos dados de cem escolas localizadas em doze municípios que compõem a região: Águas Mornas, Angelina, Anitápolis, Antônio Carlos, Biguaçu, Florianópolis, Governador Celso Ramos, Palhoça, Rancho Queimado, Santo Amaro da Imperatriz, São Pedro de Alcântara e São José.

Estes dados são importantes para se ter uma melhor compreensão dos consumos apresentados em cada unidade. Além destas informações, foram conseguidos também valores de área construída para 32 das cem unidades escolares analisadas. Estes valores foram utilizados no cálculo de consumo de energia por área construída destas escolas.

### **4.2. Análise do consumo de água potável**

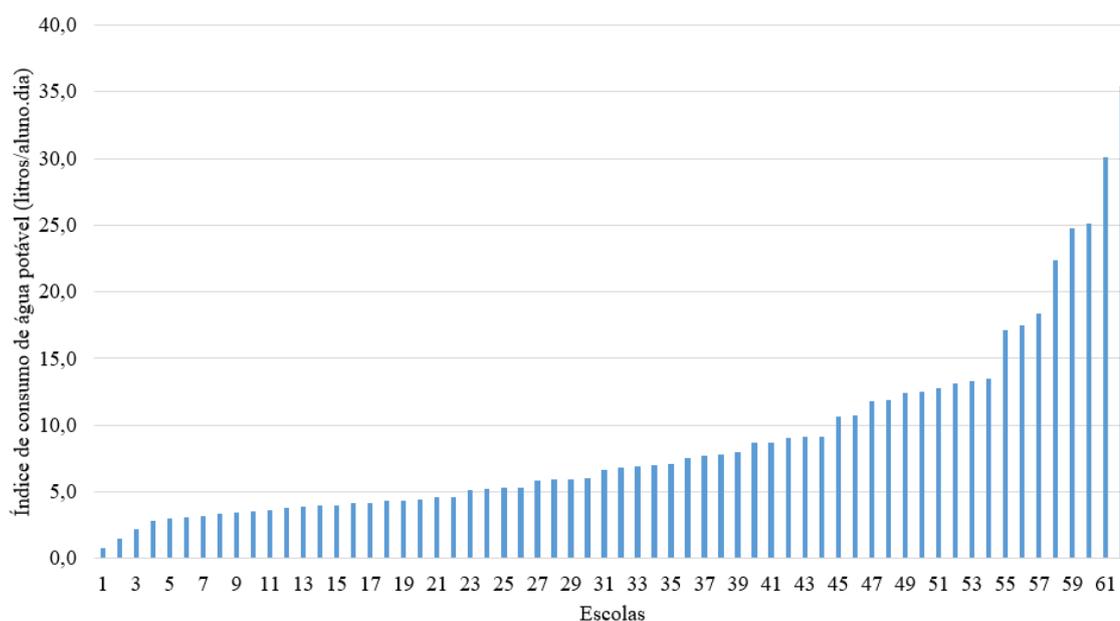
Das cem escolas, todas possuem dados referentes ao consumo de energia elétrica, porém, apenas 62 possuem dados referentes ao consumo de água potável. Os dados de consumo de água são de janeiro de 2016 a maio de 2017. No período avaliado, a escola que obteve o maior consumo de água potável foi a Escola de Educação Básica Aderbal Ramos da Silva, que possui 855 alunos, com um consumo mensal médio igual a 656 m<sup>3</sup> de água. A escola com o menor consumo foi a Escola de Educação Básica Edith Gama Ramos, que possui 578 alunos, com um consumo mensal médio de apenas 10,2 m<sup>3</sup> de água.

No estudo realizado por Farina *et al.* (2011), foi notado que o tipo de ensino e a idade dos alunos interfere significativamente no índice de consumo de água das unidades escolares, sendo que para escolas com alunos entre 0 e 6 anos obteve-se uma

média de 48 litros/aluno.dia e para escolas com alunos de 6 a 11 anos, 18 litros/aluno.dia. No caso do presente trabalho, houve diferença entre os índices de consumo de água com relação ao tipo de ensino, visto que as escolas apresentam como tipos de ensino o Fundamental, Médio, Educação de Jovens e Adultos e Magistério. Nas escolas onde o único tipo de ensino é o Médio, a média do índice de consumo de água foi de 10,82 litros/aluno.dia, enquanto nas escolas onde o único tipo de ensino é o Fundamental, a média foi de 8,27 litros/aluno.dia. Também foi verificada diferença entre os índices de consumo de água das unidades escolares com relação ao período de funcionamento destas. As escolas com funcionamento integral (matutino, vespertino e noturno) obtiveram média de 8,41 litros/aluno.dia, enquanto as escolas com funcionamento apenas nos períodos matutino e vespertino obtiveram média de 9,23 litros/aluno.dia.

O Apêndice A.2 apresenta os índices de consumo de água potável das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis, calculados de acordo com a Equação 3.1. Observa-se que os índices de consumo variam de valores muito baixos (como por exemplo 0,81 litros/aluno.dia na Escola de Educação Básica Edith Gama Ramos) a valores muito altos (como por exemplo 35,42 litros/aluno.dia na Escola de Educação Básica Aderbal Ramos da Silva). A média encontrada para o índice de consumo de água das escolas foi de 8,80 litros/aluno.dia. Estes valores são de suma importância, pois auxiliam na seleção dos edifícios escolares escolhidos para análise de estratégias de redução do consumo de água potável. A Figura 4.1 mostra, em ordem crescente, os índices de consumo de água potável das 62 escolas analisadas.

Figura 4.1. Índice de consumo de água potável para as escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis.



### 4.3. Análise do consumo de energia elétrica

Os dados de consumo de energia elétrica das escolas são de janeiro de 2016 a maio de 2017, excluindo-se o mês de dezembro. Nesse período, a unidade escolar que obteve o maior consumo de energia elétrica foi a Escola de Educação Básica Professora Maria José Barbosa Vieira, que possui 887 alunos, com média mensal de 9.190 kWh de energia consumidos. A escola com menor consumo foi a Escola de Educação Básica Jurema Cavalazzi, que possui 318 alunos, com média mensal de apenas 100 kWh de energia consumidos.

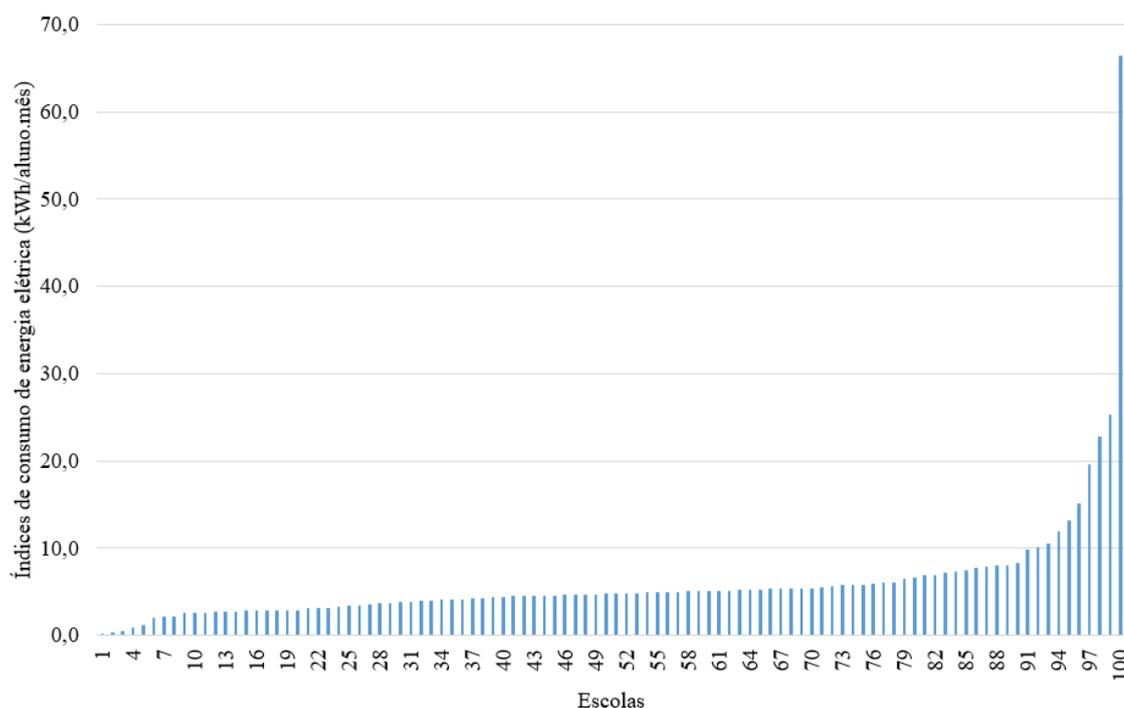
Assim como na análise do consumo de água, foi notada diferença entre os índices de consumo de energia com relação ao tipo de ensino. A média das escolas que possuem apenas ensino Médio foi de 7,15 kWh/aluno.mês, enquanto as escolas que possuem apenas ensino Fundamental obtiveram média de 5,30 kWh/aluno.mês.

Com relação ao período de funcionamento, as diferenças no índice de consumo foram ainda maiores. As escolas com funcionamento em período integral (matutino, vespertino e noturno) obtiveram média de 6,89 kWh/aluno.mês. As escolas com funcionamento em dois períodos (matutino, vespertino) tiveram média igual a 5,13 kWh/aluno.mês. Nas escolas com funcionamento apenas no período noturno, o índice de consumo de energia foi de 9,85 kWh/aluno.mês. Este alto valor encontrado para as

unidades escolares com funcionamento noturno pode ser explicado pelo maior uso da iluminação artificial.

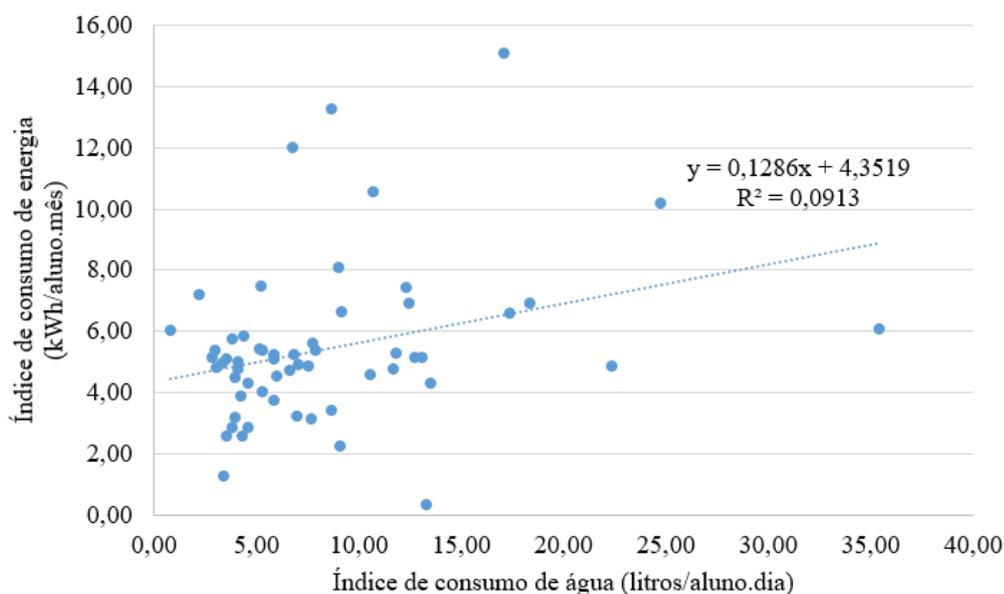
O Apêndice A.3 apresenta os índices de consumo de energia elétrica das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis, calculados de acordo com a Equação 3.2. Nota-se que os índices de consumo variam significativamente, tendo-se obtido valores muito baixos (como por exemplo 0,31 kWh/aluno.mês na Escola de Educação Básica Padre Vicente Ferreira Cordeiro) e valores muito altos (como por exemplo 66,47 kWh/aluno.mês na Escola Indígena de Ensino Fundamental Itaty). A média dos índices de consumo de energia encontrada para as escolas foi de 6,10 kWh/aluno.mês. A Figura 4.2 mostra, em ordem crescente, os índices de consumo de energia elétrica das 100 escolas analisadas. Portanto, a numeração das escolas nas Figuras 4.1 e 4.2 não é a mesma.

Figura 4.2. Índices de consumo de energia elétrica nas escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis.



A Figura 4.3 apresenta a correlação entre os índices de consumo de água potável e energia elétrica das escolas em estudo. Nota-se que o valor verificado para o coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,0913$ ) é baixo, mostrando que os consumos de água e energia nestas edificações são pouco dependentes entre si.

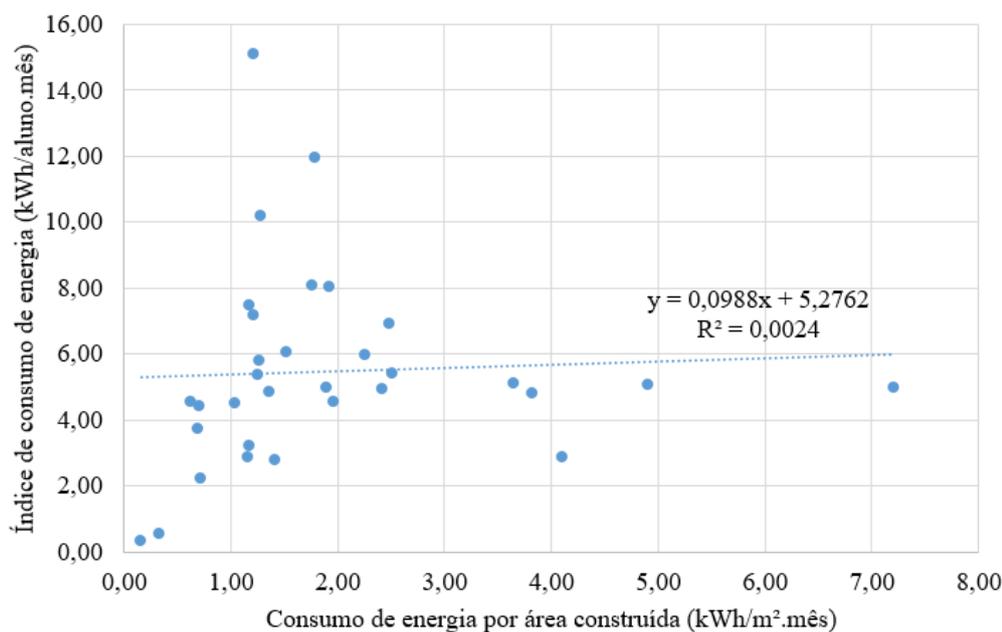
Figura 4.3. Correlação entre índices de consumo de água e energia das escolas analisadas.



Além do índice de consumo, também foram calculados os consumos de energia elétrica por área construída de algumas unidades escolares, conforme mostra o Apêndice A.4. Assim como na análise do índice de consumo, percebe-se grande variabilidade nos valores, sendo obtidos resultados muito baixos (tais como na Escola de Educação Básica Jurema Calavazzi, com 0,16 kWh/m<sup>2</sup>.mês) e resultados muito altos (tais como na Escola de Educação Fundamental Júlio da Costa Neves, com 7,20 kWh/m<sup>2</sup>.mês). A média dos consumos de energia por área construída para as 32 escolas analisadas foi de 1,84 kWh/m<sup>2</sup>.mês.

A Figura 4.4 mostra a correlação entre o índice de consumo de energia elétrica e o consumo de energia por área construída. Ao contrário do que era esperado, a correlação apresentou um valor de coeficiente de determinação bastante baixo ( $R^2 = 0,0024$ ), mostrando que o consumo de energia elétrica apresenta um comportamento bastante diferente quando comparado por agente consumidor ou por área construída.

Figura 4.4. Correlação entre o índice de consumo de energia e o consumo de energia por área construída.



Os valores calculados nesta seção são essenciais para a seleção das unidades escolares escolhidas para análise de estratégias de redução do consumo de energia elétrica.

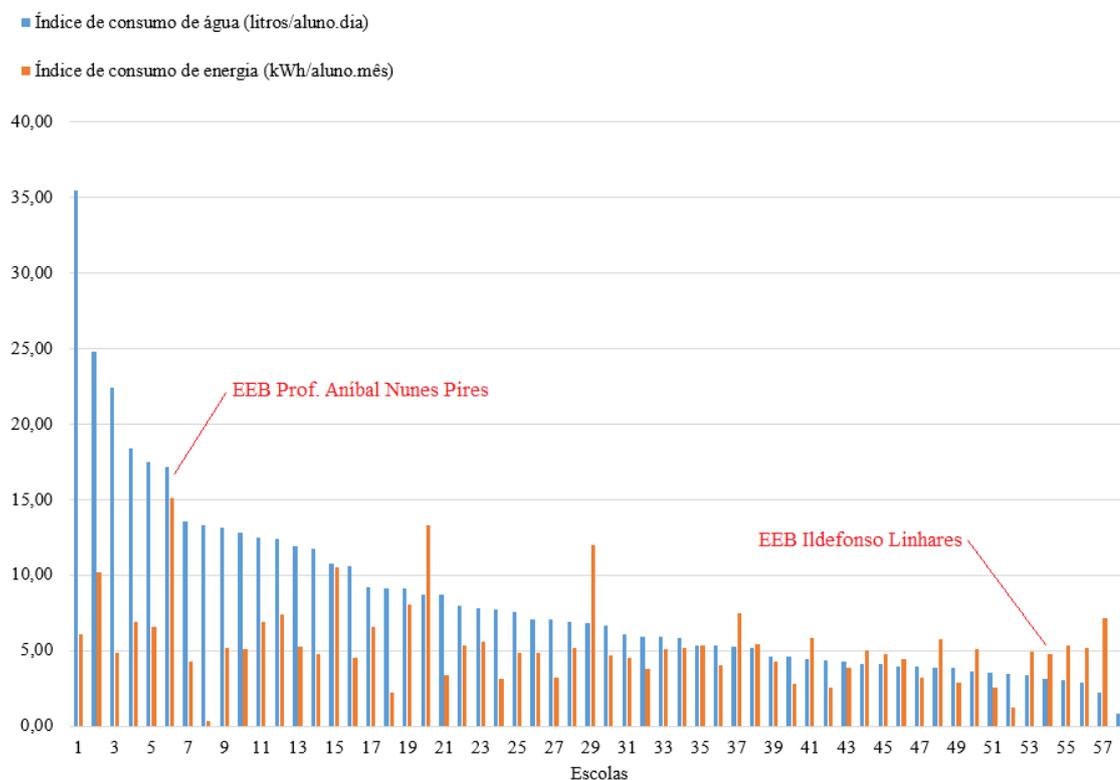
#### 4.4. Seleção das escolas para análise de estratégias de redução do consumo de água potável e energia elétrica

O baixo valor encontrado para o coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,0913$ , Figura 4.3) deixa claro que não há correlação entre o consumo de água potável e o consumo de energia elétrica nas edificações escolares analisadas. Desta forma, as duas unidades foram selecionadas através de seus índices de consumo, sendo escolhida uma escola com altos índices de consumo de água e energia, e outra escola com baixos índices de consumo destes insumos.

As escolas escolhidas foram a Escola de Educação Básica Prof. Aníbal Nunes Pires e a Escola de Educação Básica Ildefonso Linhares. A Figura 4.5 auxilia na comparação dos índices de consumo das escolas. Nota-se que a EEB Prof. Aníbal Nunes Pires possui altos índices de consumo de água e energia (17,13 litros/aluno.dia e 15,09 kWh/aluno.mês) quando comparada às demais, enquanto a EEB Ildefonso Linhares possui baixo índice de consumo de água (3,12 litros/aluno.dia) e índice de

consumo de energia moderado (4,80 kWh/aluno.mês). A numeração das escolas na Figura 4.5 corresponde à numeração encontrada no Apêndice A.2 deste trabalho.

Figura 4.5. Comparação entre os índices de consumo de água e energia das escolas analisadas.



#### 4.4.1. Caracterização da Escola de Educação Básica Prof. Aníbal Nunes Pires

A Escola de Educação Básica Prof. Aníbal Nunes Pires fica localizada na Rua Irmã Bonavita, no bairro Capoeiras, no município de Florianópolis. A unidade possui apenas pavimento térreo e tem área construída de 5.635 m<sup>2</sup>, atendendo 451 alunos em três períodos (matutino, vespertino e noturno), oferecendo aos estudantes ensino fundamental, médio e magistério. As Figuras 4.6 e 4.7 mostram a vista de entrada da escola e uma imagem de satélite desta, respectivamente.

Figura 4.6. Portão de acesso à EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.



Figura 4.7. Imagem de satélite da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.



Fonte: Adaptado de Google Earth (acesso em outubro de 2017).

Com relação ao consumo de água potável, o consumo total entre os meses de janeiro de 2016 e maio de 2017 foi de 2.843 m<sup>3</sup>, tendo como média mensal um consumo de 167 m<sup>3</sup>. O índice de consumo de água da edificação foi de 17,13 litros/aluno.dia.

Com relação ao consumo de energia elétrica, obteve-se neste mesmo período (excluindo-se o mês de dezembro de 2016) consumo total de 107.024 kWh, com média mensal de 6.689 kWh. O índice de consumo de energia elétrica da unidade escolar foi de 15,09 kWh/aluno.mês, enquanto o consumo de energia por área construída foi de 1,21 kWh/m<sup>2</sup>.mês. A Tabela 4.1 apresenta os consumos de água potável e energia elétrica da escola em cada mês durante o período analisado.

Tabela 4.1. Consumo mensal de água e energia da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.

Ano	Mês	EEB Prof. Aníbal Nunes Pires	
		Água Potável (m <sup>3</sup> )	Energia Elétrica (kWh)
2016	Janeiro	128	3168
	Fevereiro	333	4796
	Março	323	7730
	Abril	323	9415
	Maio	131	8347
	Junho	250	7854
	Julho	221	6353
	Agosto	191	6321
	Setembro	133	7267
	Outubro	167	6982
	Novembro	141	7585
	Dezembro	163	-
2017	Janeiro	148	6760
	Fevereiro	136	4589
	Março	127	5082
	Abril	147	7832
	Maio	143	6943

Para efeitos didáticos, a edificação foi dividida em blocos para facilitar o entendimento do funcionamento da escola. A Figura 4.8 ilustra a divisão dos blocos. No bloco 1 está localizada a biblioteca da escola, que ainda conta com uma videoteca, três salas para depósito de livros, uma sala de leitura e dois banheiros.

No bloco 2 encontram-se a sala de convivência (que funciona também como sala de dança para os alunos), o laboratório de química e uma sala de depósito para os materiais do laboratório. O bloco 3 é composto por uma sala multimídia, um laboratório de informática e dois banheiros. No bloco 4 fica localizado o auditório da escola, que conta com uma sala de luz e som e dois banheiros.

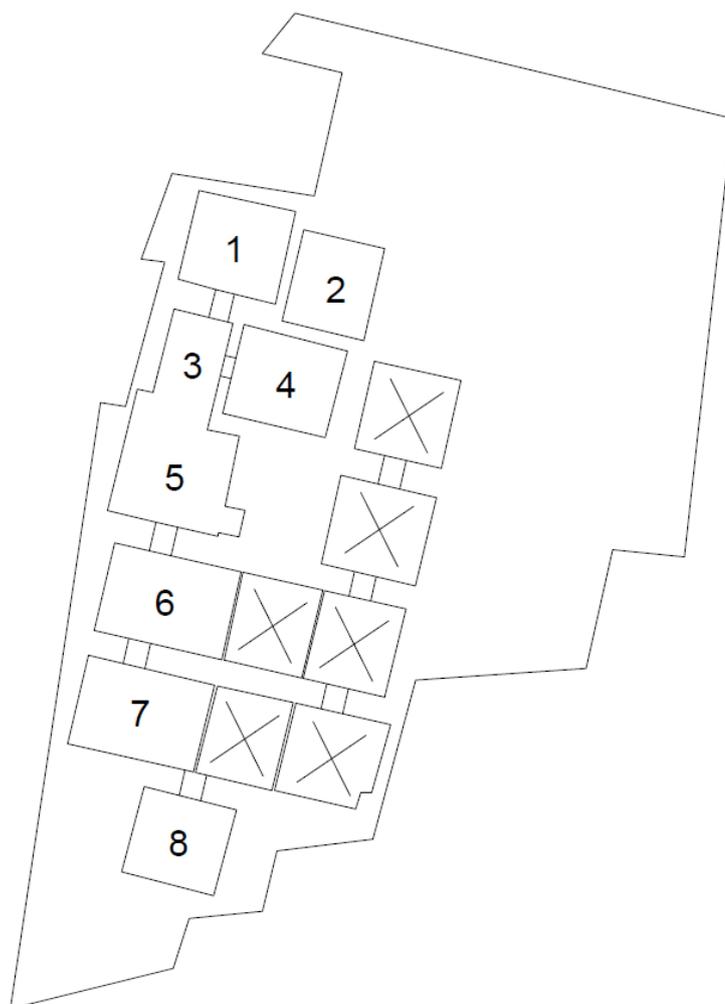
No bloco 5 estão localizadas a secretaria, a sala dos professores, a rádio escola e uma sala para depósito de materiais escolares. A secretaria é composta por uma recepção, um escritório com copa e a sala da direção, que possui um banheiro. A sala dos professores, por sua vez, possui dois banheiros.

As salas de aula da escola estão localizadas nos blocos 6 e 7. Atualmente, existem 12 salas em uso (seis em cada bloco), sendo que estas atendem os 451 alunos nos turnos matutino, vespertino e noturno, sendo oferecidos ensino fundamental, médio e magistério. Há no bloco 7 duas salas de aula que estão em desuso.

No bloco 8 encontra-se o refeitório da escola, que possui dois banheiros. A escola não serve refeições aos alunos, apenas disponibiliza geladeira e microondas para que os alunos possam preparar suas próprias refeições. O bloco ainda conta com duas salas que estão atualmente em desuso.

Os blocos assinalados com “X” estão atualmente interditados por más condições de funcionamento. Estes representam aproximadamente 42% do total de área construída da edificação.

Figura 4.8. Esquema de divisão dos blocos da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires (sem escala).



#### 4.4.2. Caracterização da Escola de Educação Básica Ildefonso Linhares

A Escola de Educação Básica Ildefonso Linhares fica localizada na Rua Vereador Osvaldo Bittencourt, no bairro Carianos, no município de Florianópolis. A escola possui 576 alunos e conta com área construída de 1.550 m<sup>2</sup>. A unidade funciona em três períodos (matutino, vespertino e noturno), sendo oferecido aos alunos ensino fundamental e médio. As Figuras 4.9 e 4.10 mostram a vista da entrada e imagem de satélite da escola, respectivamente.

Figura 4.9. Vista da entrada da EEB Ildefonso Linhares.



Figura 4.10. Imagem de satélite da EEB Ildefonso Linhares.



Fonte: Adaptado de Google Earth (acesso em outubro de 2017).

A escola é dividida em doze salas de aula, quatro banheiros (sendo dois para uso de alunos e dois para uso de professores), cozinha, secretaria, direção, recepção, hall de entrada, sala de professores, coordenação, biblioteca, sala de informática, rádio, sala de educação física, sala de instrumentos musicais, sala de projetos, sala com armário para funcionários, sala de depósito de materiais, além de um pátio que funciona como refeitório e uma quadra descoberta para a prática de esportes.

O consumo de água na edificação entre os meses de janeiro de 2016 e maio de 2017 foi de 661 m<sup>3</sup>, com consumo médio mensal igual a 39 m<sup>3</sup>. O índice de consumo de água da edificação foi de 3,12 litros/aluno.dia.

Com relação ao consumo de energia elétrica, verificou-se neste mesmo período (excluindo-se o mês de dezembro de 2016) consumo total de 43.469 kWh, obtendo-se média mensal de 2.717 kWh. O índice de consumo de energia elétrica da unidade escolar foi de 4,80 kWh/aluno.mês, enquanto o consumo de energia por área construída foi de 1,78 kWh/m<sup>2</sup>.mês. A Tabela 4.2 apresenta os consumos de água potável e energia elétrica da escola em cada mês durante o período analisado.

Tabela 4.2. Consumo mensal de água e energia na EEB Ildfonso Linhares.

Ano	Mês	EEB Ildfonso Linhares	
		Água Potável (m <sup>3</sup> )	Energia Elétrica (kWh)
2016	Janeiro	47	1836
	Fevereiro	45	767
	Março	42	3029
	Abril	42	5432
	Mai	46	4367
	Junho	45	1976
	Julho	53	2040
	Agosto	45	1502
	Setembro	34	2110
	Outubro	34	1971
	Novembro	20	2355
	Dezembro	38	-
2017	Janeiro	37	2967
	Fevereiro	34	1698
	Março	32	966
	Abril	32	5780
	Mai	35	4673

## 4.5. Estratégias para redução do consumo de água potável

### 4.5.1. Características do sistema hidráulico das escolas

A Escola de Educação Básica Prof. Aníbal Nunes Pires tem seu abastecimento de água realizado pela CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento). O reservatório inferior é semienterrado e feito em concreto armado. A água é bombeada através de um sistema de motobombas e levada para o reservatório superior, também em concreto armado, localizado em um castelo d'água. A Figura 4.11 mostra o reservatório inferior e o castelo d'água onde localiza-se o reservatório superior. Do reservatório superior, a água é levada aos pontos de consumo por gravidade.

Figura 4.11. Castelo d'água e reservatório inferior da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.



A escola é composta por um total de onze banheiros, uma cozinha e uma copa. No total, o sistema hidráulico possui doze vasos sanitários com válvula de descarga convencional, doze torneiras convencionais de lavatório, quatro torneiras de pia, um chuveiro e três bebedouros localizados nos corredores.

A Escola de Educação Básica Ildefonso Linhares também é abastecida pela CASAN. O reservatório inferior é de fibra de vidro e possui volume igual a 5.000 litros. A água do reservatório inferior é bombeada para um reservatório superior também de 5.000 litros, feito de concreto armado, através de um sistema de motobombas. Deste reservatório, a água segue por gravidade até outros dois reservatórios (um de 500 litros, localizado acima dos banheiros dos professores, e outro de 1.000 litros, localizado

acima dos banheiros dos alunos), ambos de fibra de vidro. Destes reservatórios, a água parte por gravidade até os pontos de consumo. A Figura 4.12 apresenta os reservatórios inferior e superior da EEB Ildefonso Linhares.

Figura 4.12. Reservatórios inferior e superior da EEB Ildefonso Linhares.



O sistema hidráulico da escola conta com três vasos sanitários com caixa alta de descarga, oito vasos sanitários com caixa de descarga acoplada *dual flush*, dois vasos sanitários PNE, três mictórios, sete torneiras de lavatório com temporizador, duas torneiras convencionais de lavatório, um chuveiro, três torneiras de pia, uma torneira de limpeza, uma torneira de jardim, um tanque, quatro torneiras e três bebedouros nos corredores,

É notável que, dentre as duas escolas, a que possui menor consumo é a que apresenta maior número de aparelhos economizadores de água, tais como vasos sanitários com descarga acoplada *dual flush* e lavatórios com temporizador.

#### 4.5.2. Sistema de aproveitamento de água de chuva

Para determinar o potencial de economia de água potável através do aproveitamento da água de chuva coletada da cobertura da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires, foram utilizados dados sobre o índice pluviométrico na cidade de Florianópolis. A Figura 4.13 apresenta a precipitação diária do município de Florianópolis durante os

anos de 2002 a 2013. Estes dados foram utilizados nas simulações feitas com auxílio do programa Netuno 4 para o cálculo do potencial de economia de água potável. A Figura 4.14 mostra a precipitação mensal média de Florianópolis para o mesmo período, com valores máximos e mínimos para cada mês. Percebe-se que há uma precipitação maior nos meses de verão, sendo a maior média no mês de janeiro (228 mm), enquanto nos meses de inverno a precipitação diminui, tendo a menor média no mês de junho (68 mm). A média de precipitação anual neste período foi igual a 1766 mm.

Figura 4.13. Precipitação diária de Florianópolis de 2002 a 2013.

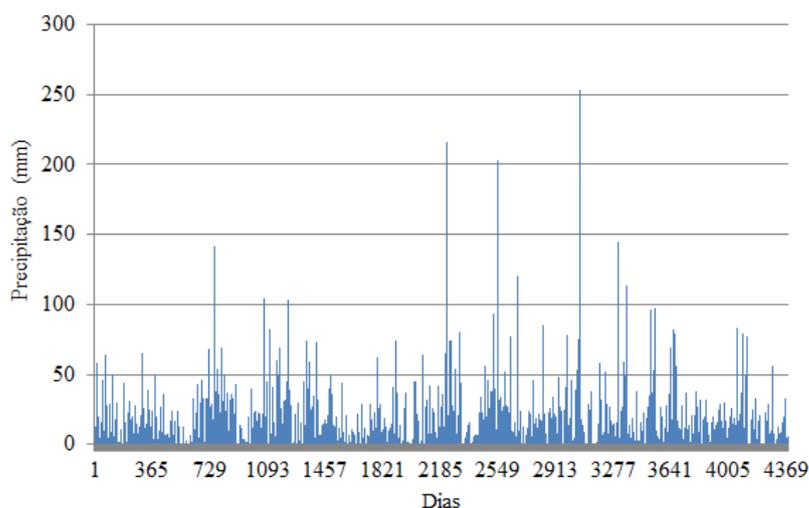
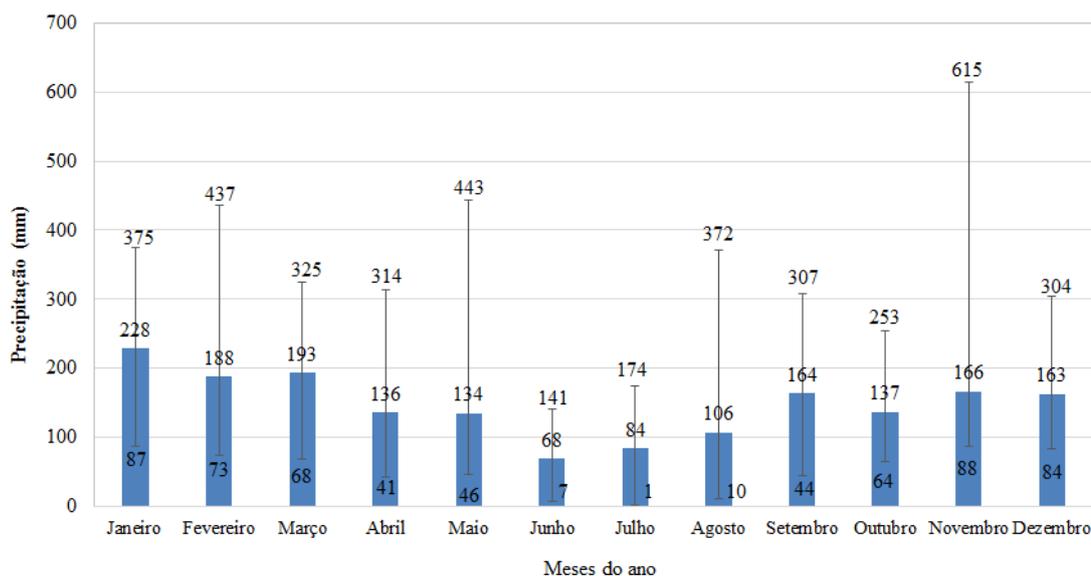


Figura 4.14. Precipitação mensal média de Florianópolis de 2002 a 2013, com valores máximos e mínimos para cada mês.



A área de captação foi considerada igual à área total de cobertura da parte não interditada da escola, que é igual a 3.240 m<sup>2</sup>. O número de agentes consumidores é a soma do número de alunos e funcionários, que é igual a 532 pessoas (451 alunos e 81 funcionários).

A demanda total de água da escola foi calculada de acordo com os dados fornecidos pela Coordenadoria Geral de Educação de Santa Catarina. Foram analisados diferentes cenários, considerando os consumos médio, mínimo e máximo obtidos. O consumo médio durante o período analisado (janeiro de 2016 a maio de 2017) foi de 14,27 litros/pessoa.dia, enquanto os consumos mínimo e máximo foram de 10,85 e 28,45 litros/pessoa.dia, respectivamente.

O descarte do escoamento inicial utilizado foi de 2 mm, de acordo com a orientação técnica da Prefeitura Municipal de Florianópolis (2016). O coeficiente de escoamento superficial foi definido como 0,8, considerando o material do telhado (cimento amianto) e possíveis perdas por evaporação.

As Figuras 4.15 a 4.17 apresentam potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva variando de acordo com a demanda de água de chuva, consumo de água e volume do reservatório inferior. Os pontos circulados nos gráficos indicam o volume ideal do reservatório inferior.

O volume do reservatório superior foi calculado com base na Equação 3.4. Para este cálculo, utilizou-se o consumo médio diário de 14,27 litros/pessoa.dia e um percentual de substituição de água potável por água de chuva igual a 70%. Dessa forma, o volume calculado foi de 5.314 litros. Foram adotados cinco reservatórios, quatro deles com volume igual a 1.000 litros, localizados acima dos banheiros dos blocos 1, 4, 5 e 8, e outro acima do banheiro do bloco 3, com volume igual a 1.500 litros.

Figura 4.15. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 60% na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.

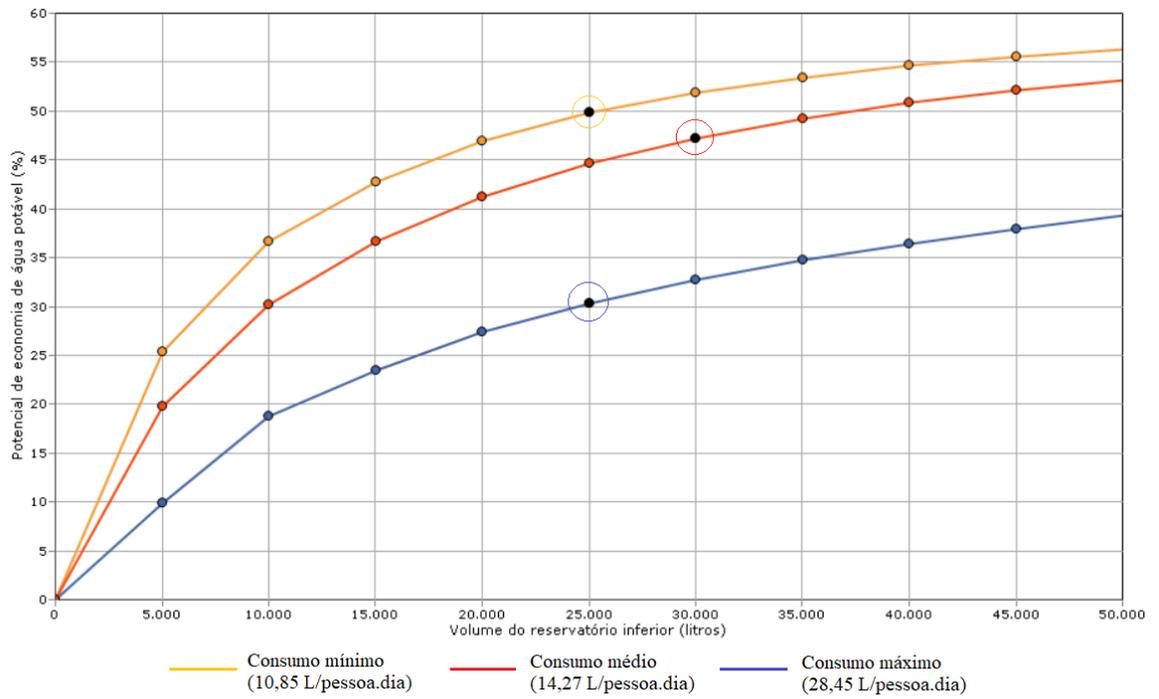


Figura 4.16. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 70% na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.

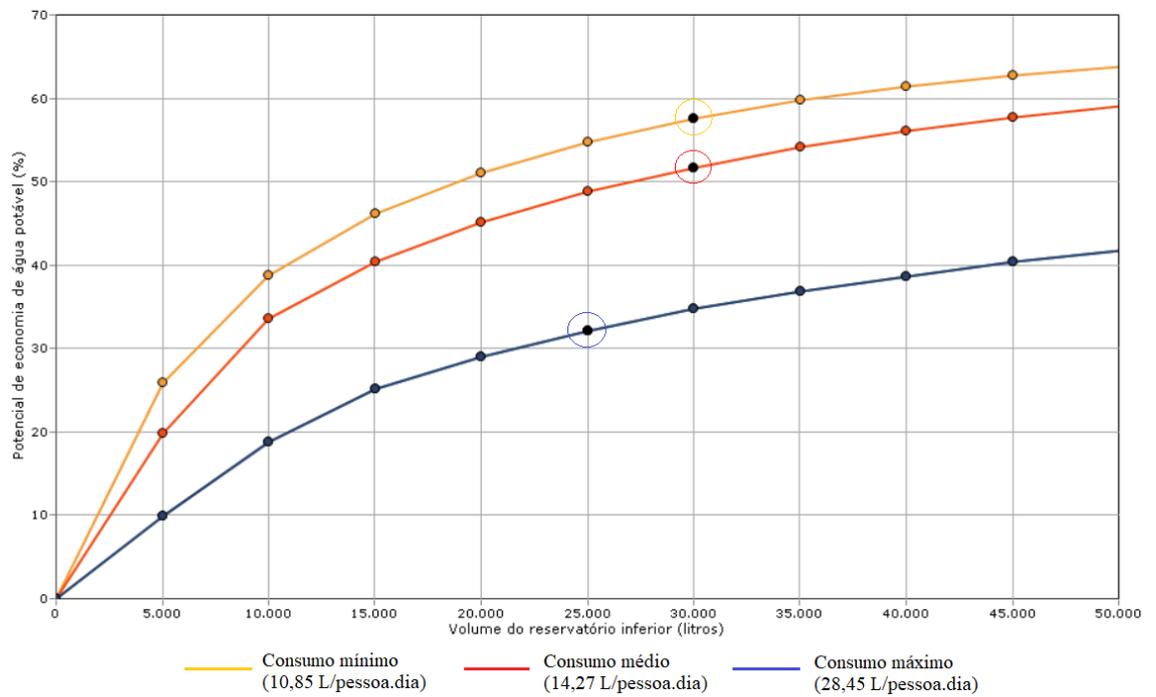
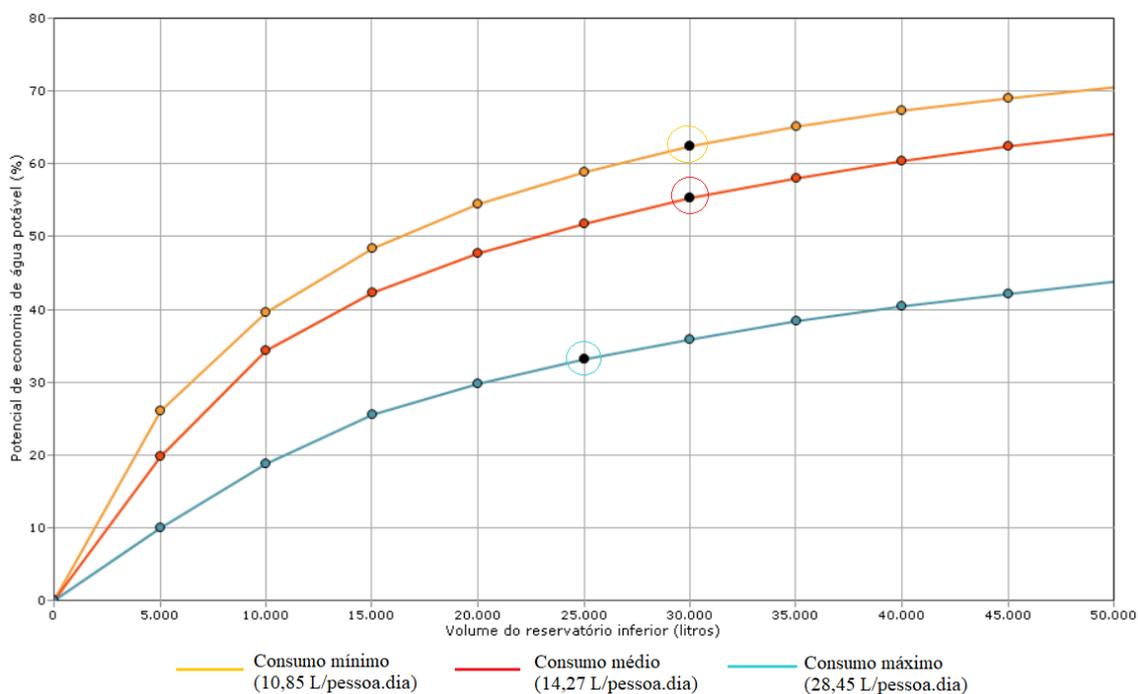


Figura 4.17. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 80% na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.



Com base nas simulações, obteve-se, para os nove cenários, volumes ideais para o reservatório inferior variando entre 25.000 e 30.000 litros. Optou-se então por um reservatório inferior com volume igual a 30.000 litros, dividido em dois reservatórios de fibra com volume igual a 15.000 litros cada.

A Tabela 4.3 apresenta os potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva, utilizando-se reservatório inferior de 30.000 litros e reservatório superior de 5.500 litros. Nota-se que o potencial de economia varia de 32,68 a 62,46%. Caso o sistema for implantado, haverá economia de água potável entre 2.996 e 5.431 litros/dia.

Tabela 4.3. Potenciais de economia de água potável e volume de água de chuva consumido na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.

<b>Demanda de água de chuva</b>	<b>Consumo de água (L/pessoa.dia)</b>	<b>Potencial de economia de água potável (%)</b>	<b>Volume consumido de água de chuva (L/dia)</b>
60%	Mínimo (10,85)	51,93	2.995,55
	Médio (14,27)	47,21	3.584,38
	Máximo (28,45)	32,68	4.946,58
70%	Mínimo (10,85)	57,56	3.322,26
	Médio (14,27)	51,64	3.920,61
	Máximo (28,45)	34,74	5.257,53
80%	Mínimo (10,85)	62,46	3.605,03
	Médio (14,27)	55,24	4.193,35
	Máximo (28,45)	35,89	5.431,37

Para determinar o potencial de economia de água potável obtido através do aproveitamento da água de chuva na EEB Ildefonso Linhares, foram utilizados os mesmos dados de precipitação, descarte inicial (2 mm) e coeficiente de escoamento superficial (0,8). A área de captação (área total de cobertura da escola) é de 1.550 m<sup>2</sup> e o número de agentes consumidores é igual a 628 pessoas (576 alunos e 52 funcionários).

O consumo médio de água da escola durante o período analisado foi de 2,86 litros/pessoa.dia, enquanto os consumos mínimo e máximo foram de 1,45 e 3,84 litros/pessoa.dia, respectivamente.

As Figuras 4.18 a 4.20 apresentam potenciais de economia de água potável obtidos para a escola. Os pontos circulados nos gráficos indicam o volume ideal do reservatório inferior.

Figura 4.18. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 60% na EEB Ildefonso Linhares.

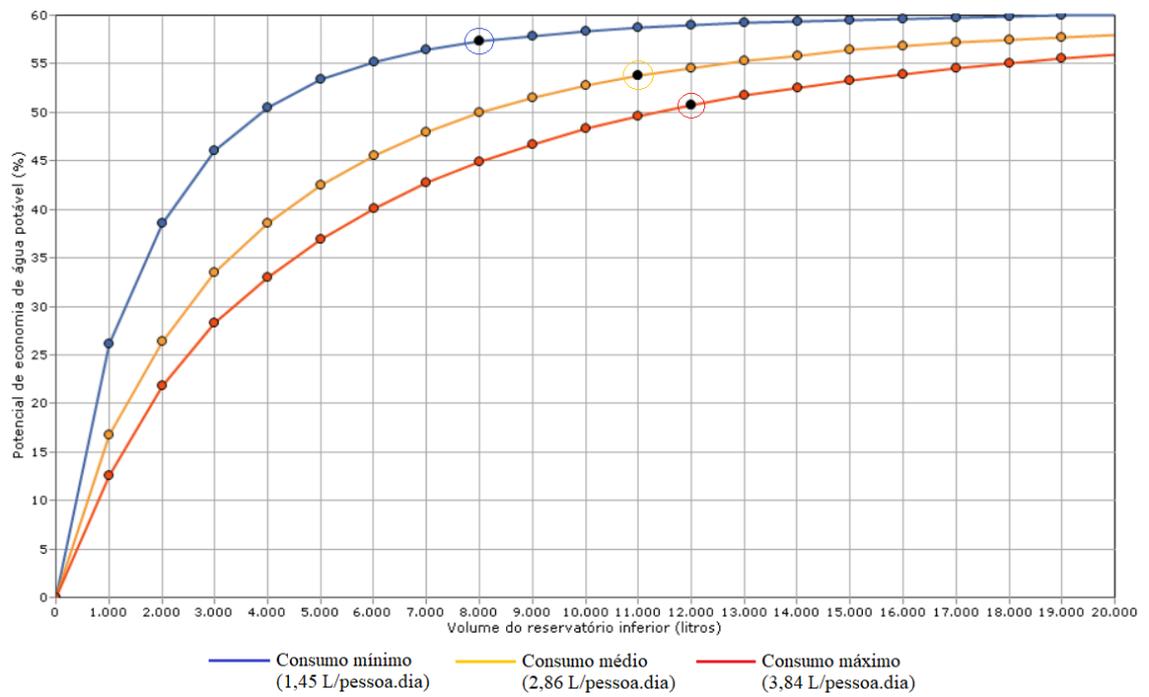


Figura 4.19. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 70% na EEB Prof. Ildefonso Linhares.

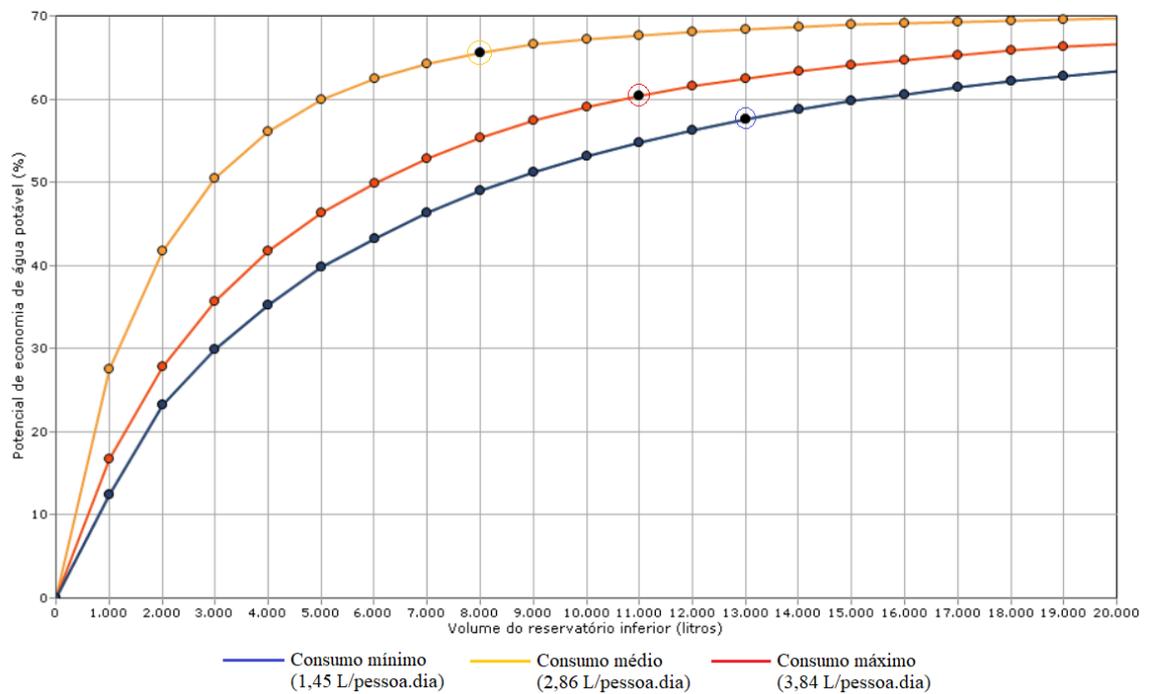
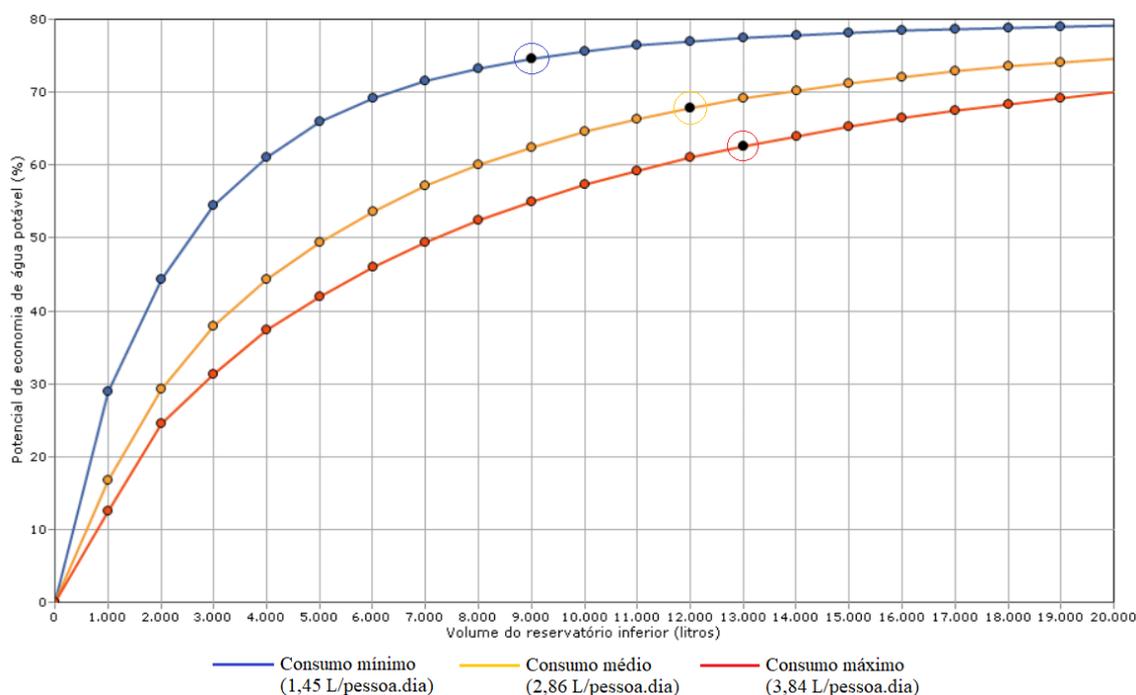


Figura 4.20. Potencial de economia de água potável para demanda de água de chuva igual a 80% na EEB Ildefonso Linhares.



Analisando as simulações, foi adotado um reservatório inferior com volume igual a 15.000 litros, que é o volume comercialmente vendido acima do maior volume ideal indicado pelo programa Netuno 4. Nota-se que os volumes ideais para o reservatório inferior variaram de 8.000 a 13.000 litros.

O volume do reservatório superior foi calculado com base na Equação 3.4. Dessa forma, obteve-se volume de 1.257 litros. Foram adotados dois reservatórios, um localizado acima dos banheiros dos alunos, com volume igual a 1.000 litros, e outro acima dos banheiros dos professores, com volume igual a 500 litros.

A Tabela 4.4 apresenta os potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva, utilizando-se o reservatório inferior de 15.000 litros e reservatório superior de 1.500 litros. Nota-se que o potencial de economia varia de 53,31 a 78,14%. Caso o sistema for implantado, haverá economia de água potável entre 542 e 1.574 litros/dia.

Tabela 4.4. Potenciais de economia de água potável e volume de água de chuva consumido na EEB Ildefonso Linhares.

<b>Demanda de água de chuva</b>	<b>Consumo de água (L/pessoa.dia)</b>	<b>Potencial de economia de água potável (%)</b>	<b>Volume consumido de água de chuva (L/dia)</b>
60%	Mínimo (1,45)	59,53	542,04
	Médio (2,86)	56,40	1.012,97
	Máximo (3,84)	53,31	1.285,58
70%	Mínimo (1,45)	68,93	627,63
	Médio (2,86)	64,08	1.150,97
	Máximo (3,84)	59,72	1.440,14
80%	Mínimo (1,45)	78,14	711,54
	Médio (2,86)	71,20	1.278,72
	Máximo (3,84)	65,28	1.574,15

#### 4.5.3. Análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva

A Tabela 4.5 mostra os custos dos materiais e mão de obra necessários à implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. Estes custos representam o investimento inicial. Foi considerado o reaproveitamento das calhas e condutores verticais já existentes no sistema de drenagem pluvial da escola. As tubulações de sucção, recalque, consumo, limpeza, extravasão, ventilação e respiro, assim como as conexões e registros necessários à instalação, foram considerados como 15% do custo total do sistema.

A potência da motobomba calculada e selecionada é de  $\frac{1}{2}$  CV, que equivale a 368 W. Foi estipulado um tempo de funcionamento diário igual a 4 horas. O número de dias de funcionamento no mês foi considerado igual a 22. O valor da tarifa cobrada pela CELESC foi obtido através dos dados fornecidos pela Coordenadoria Geral de Educação de Santa Catarina. Chegou-se a uma média de 0,549 R\$/kWh, incluindo todos os impostos. Pela Equação 3.5, o custo mensal de energia elétrica com o uso das motobombas é de R\$ 17,78.

Tabela 4.5. Investimento inicial para a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.

<b>Material</b>	<b>Qtde.</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Reservatório 15.000 litros (inferior)	2	3.539,00	7.078,00
Reservatório 3.000 litros (descarte)	2	899,90	1.799,80
Reservatório 1.500 litros (superior)	1	496,22	496,22
Reservatório 1.000 litros (superior)	4	285,49	1.141,96
Motobomba BCR-2000 Schneider ½ CV	2	478,00	956,00
Filtro Ciclo D'água 3000	1	8.990,00	8.990,00
Freio d'água	4	56,92	227,68
Boia de nível	2	35,65	71,30
Válvula solenoide	1	199,00	199,00
Boia flutuante para sucção	2	299,00	598,00
Clorador (hipoclorito de cálcio base 65%)	2	39,50	79,00
Chave boia	5	27,90	139,50
Mão de obra	20 dias	130,00/dia	2.600,00
Tubulações, conexões e registros	---	(15% do total)	3.656,47
<b>Custo total</b>			<b>28.032,93</b>

Por meio das Equações 3.6 e 3.7 foram calculadas as economias mensais obtidas nos nove cenários analisados. O período de retorno do investimento, valor presente líquido e taxa interna de retorno, utilizando taxa mínima de atratividade igual a 1%, inflação de 0,16% ao mês (inflação para o mês de setembro de 2017) e vida útil do sistema igual a 20 anos, foram calculadas por meio do programa Netuno 4. Os valores da tarifa de água cobrada pela CASAN, utilizados nos cálculos, são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Valores da tarifa de água para a categoria pública.

<b>Faixa de consumo (m³)</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Até 10	62,27/mês
Maior que 10	10,333/m³

Fonte: CASAN (2017).

A Tabela 4.7 apresenta os resultados obtidos na análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. Nota-se que a implantação do sistema obteve bons resultados econômicos, visto que a taxa interna de retorno é maior que a taxa mínima de atratividade (1% ao mês) em todos os cenários analisados. Dessa forma, pode-se afirmar que a implantação do sistema de

aproveitamento de água de chuva é viável economicamente na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.

Tabela 4.7. Análise econômica para os cenários analisados na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.

Consumo de água (L/pessoa.dia)	Demanda de água de chuva (%)	Economia mensal (R\$)	Payback descontado (meses)	Valor presente líquido (R\$)	Taxa interna de retorno (%)
10,85	60	910,81	36	65.946,20	3,43
	70	1.093,34	32	76.074,94	3,79
	80	1.515,61	29	84.875,04	4,09
14,27	60	1.012,09	29	84.233,55	4,07
	70	1.197,57	26	94.705,09	4,43
	80	1.612,00	25	103.206,23	4,72
28,45	60	1.099,74	21	126.683,26	5,53
	70	1.282,12	20	136.359,38	5,86
	80	1.665,89	20	141.787,56	6,05

O investimento inicial com materiais e mão de obra necessários à implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva também foi calculado para a EEB Ildfonso Linhares (Tabela 4.8).

Tabela 4.8. Investimento inicial para a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva na EEB Ildfonso Linhares.

Material	Qtde.	Custo (R\$)	Total (R\$)
Reservatório 15.000 litros (inferior)	1	3.539,00	3.539,00
Reservatório 3.000 litros (descarte)	1	899,90	899,90
Reservatório 1.000 litros (superior)	1	285,49	285,49
Reservatório 500 litros (superior)	1	139,90	139,90
Motobomba BCR-2000 Schneider ½ CV	2	478,00	956,00
Filtro Ciclo D'água 2000	1	7.540,00	7.540,00
Freio d'água	2	56,92	113,84
Boia de nível	1	35,65	35,65
Válvula solenoide	1	199,00	199,00
Boia flutuante para sucção	1	299,00	299,00
Clorador (hipoclorito de cálcio base 65%)	1	39,50	39,50
Chave boia	2	27,90	55,80
Mão de obra	15 dias	130,00/dia	1.950,00
Tubulações, conexões e registros	---	(15% do total)	2.407,96
<b>Custo total</b>			<b>18.461,04</b>

A motobomba selecionada também é de ½ CV. Considerando o tempo de funcionamento igual a 2 horas por dia (devido ao menor consumo) e o número de dias de funcionamento no mês igual a 22, tem-se que o custo mensal de energia elétrica com o uso das motobombas é igual a R\$ 8,89.

A Tabela 4.9 apresenta os resultados da análise econômica para os cenários analisados. Percebe-se que, para os cenários com menores consumos, o projeto não é viável economicamente, visto que não há período de retorno do investimento e a taxa interna de retorno é menor que a taxa mínima de atratividade.

Tabela 4.9. Análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva na EEB Ildefonso Linhares.

Consumo de água (L/pessoa.dia)	Demanda de água de chuva (%)	Economia mensal (R\$)	Payback descontado (meses)	Valor presente líquido (R\$)	Taxa interna de retorno (%)
1,45	60	159,14	não há	-1.294,20	0,91
	70	305,12	não há	-110,32	0,99
	80	389,63	não há	-151,70	0,99
2,86	60	185,67	83	13.595,05	1,82
	70	347,90	69	17.972,95	2,07
	80	437,54	60	22.102,76	2,29
3,84	60	211,68	60	22.337,07	2,31
	70	387,50	51	27.337,28	2,58
	80	479,08	46	31.573,72	2,80

#### 4.6. Estratégias para redução do consumo de energia elétrica

##### 4.6.1. Características do sistema de iluminação das escolas

Um dos maiores problemas verificados na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires foi no sistema de iluminação. A Tabela 4.10 apresenta todos os pontos de iluminação, tipo e quantidade de luminárias e lâmpadas, além da potência das lâmpadas. Esta tabela não leva em consideração a parte interdita da escola. As lâmpadas dos corredores permanecem acesas 24 horas todos os dias, inclusive nos finais de semana. Até mesmo as lâmpadas dos corredores da parte interdita da escola permanecem acesas o tempo todo. Não há na escola nenhum tipo de sistema com sensor de presença para acendimento automático das lâmpadas. Nos demais ambientes (salas de aula, laboratórios, etc.) as lâmpadas são apagadas manualmente, sendo totalmente dependente da boa vontade dos usuários. Além disso, as salas de aula não possuem ar-condicionado,

portanto, pode se considerar que o mau uso da iluminação artificial faz com que a escola apresente um dos maiores consumos de energia elétrica entre as escolas da Região Metropolitana de Florianópolis.

Tabela 4.10. Pontos de iluminação da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires.

Local	Tipo de luminária	Tipo de lâmpada	Potência (W)	Quantidade de pontos de luminária	Quantidade de lâmpadas por pontos	Total de lâmpadas
Biblioteca	Calha dupla	Fluorescente	40	25	2	50
WC Masc. (Bibl.)	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
	Plafonier com soquete	Incandescente	40	1	1	1
WC Fem. (Bibl.)	Plafonier com soquete	Incandescente	40	2	1	2
Sala de Leitura	Calha dupla	Fluorescente	40	8	2	16
Salas Depósito (Bibl.)	Calha dupla	Fluorescente	40	10	2	20
Convivência/Sala de Dança	Calha dupla	Fluorescente	40	3	2	6
	Calha 3x40 W	Fluorescente	40	2	3	6
	Calha 4x40 W	Fluorescente	40	1	4	4
	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	5	1	5
Laboratório de Química	Calha 3x40 W	Fluorescente	40	8	3	24
Sala de Depósito (Lab.)	Calha 3x40 W	Fluorescente	40	2	3	6
	Calha 3x40 W	Fluorescente	40	6	3	18
Sala Multimídia	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	2	1	2
	Calha dupla	Fluorescente	40	7	2	14
Laboratório de Informática	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	1	1	1
	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	3	1	3
WC Masc.	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	3	1	3
WC Fem.	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	8	2	16
Auditório	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	1	1	1
	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	10	1	10
	Plafonier com soquete	Incandescente	40	2	1	2
	Calha dupla	Fluorescente	40	6	2	12
Sala dos Professores	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	2	1	2
	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
WC Masc. (Prof.)	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
WC Fem. (Prof.)	Plafonier com soquete	Incandescente	40	1	1	1
Secretaria	Calha dupla	Fluorescente	40	23	2	46
WC Secretaria	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
Rádio Escola	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
Sala Depósito Materiais	Calha dupla	Fluorescente	40	8	2	16
Salas de Aula	Calha dupla	Fluorescente	40	96	2	192
Refeitório	Calha dupla	Fluorescente	40	16	2	32
WC Masc. (Ref.)	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
WC Fem. (Ref.)	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
Corredores	Calha dupla	Fluorescente	40	35	2	70
	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	5	1	5
	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	9	1	9
	Plafonier com soquete	Incandescente	40	1	1	1
Frente Escola	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	2	1	2
	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	25	1	1	1

A EEB Ildefonso Linhares, por sua vez, não apresenta sinais de gastos desnecessários com iluminação artificial. As lâmpadas dos corredores permanecem acesas apenas no período da noite durante os dias úteis, e o dia todo nos finais de semana, por exigência da companhia de segurança, pois a escola não possui vigia aos sábados e domingos. Além disso, a escola está começando a implantar lâmpadas LED no seu sistema de iluminação, o que trará ainda mais economia de energia para a escola. A Tabela 4.11 apresenta os pontos de iluminação, tipo e quantidade de luminárias e lâmpadas da edificação.

Tabela 4.11. Pontos de iluminação da EEB Ildefonso Linhares.

Local	Tipo de luminária	Tipo de lâmpada	Potência (W)	Quantidade de pontos de luminária	Quantidade de lâmpadas por pontos	Total de lâmpadas
Secretaria	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	2	1	2
Direção	Plafonier com soquete	LED compacta	9	2	1	2
Recepção	Calha dupla	Fluorescente	40	4	2	8
Hall Entrada	Plafon	LED	25	1	1	1
Sala 01 - Professores	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	6	1	6
Sala 02	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	6	1	6
Sala 03 - Coordenação	Calha dupla	Fluorescente	40	6	2	12
Sala 04	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	6	1	6
Sala 05	Plafon	LED	25	8	1	8
Sala 06	Plafonier com soquete	LED compacta	9	6	1	6
Sala 07	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	6	1	6
Sala 08	Plafonier com soquete	LED compacta	9	7	1	7
Sala 09	Plafonier com soquete	LED compacta	9	7	1	7
Sala 10	Calha dupla	Fluorescente	40	6	2	12
Sala 11	Calha dupla	Fluorescente	40	6	2	12
Sala 12	Calha dupla	Fluorescente	40	6	2	12
Sala 13 - Informática	Plafonier com soquete	LED compacta	9	6	1	6
Sala 14	Calha dupla	Fluorescente	40	6	2	12
Sala 15	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	6	1	6
Sala Rádio	Calha dupla	Fluorescente	20	2	2	4
Sala Educação Física	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
WC Masc.	Plafonier com soquete	LED compacta	9	2	1	2
WC Fem.	Plafonier com soquete	LED compacta	9	2	1	2
Cozinha	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	3	1	3
WC Masc. - Prof.	Plafonier com soquete	LED compacta	9	1	1	1
WC Fem. - Prof.	Plafonier com soquete	LED compacta	9	1	1	1
Sala Projetos	Calha dupla	Fluorescente	40	1	2	2
Cozinha Funcionários	Plafonier com soquete	LED compacta	20	2	1	2
Sala Fanfarra	Plafonier com soquete	LED compacta	9	1	1	1
Sala Armário Func.	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	1	1	1
Depósito Materiais	Calha dupla	Fluorescente	40	2	1	2
Biblioteca	Plafonier com soquete	LED compacta	9	7	1	7
Corredores	Plafonier com soquete	Fluorescente compacta	20	29	1	29
Pátio/Refeitório	Plafonier com soquete	LED compacta	9	6	1	6
Frente Escola	Refletores	Fluorescente compacta	25	2	1	2
Estacionamento	Refletores	Fluorescente compacta	25	1	1	1
Quadra Descoberta	Refletores	Vapor metálico	250	5	1	5
Lateral Escola	Refletores	Mista	250	1	1	1

#### *4.6.2. Avaliação dos níveis de iluminância das salas de aula*

A visita à Escola de Educação Básica Prof. Aníbal Nunes Pires foi realizada no dia 23 de setembro de 2017. O céu apresentava-se nublado no momento das medições. É importante ressaltar que os resultados obtidos para os níveis de iluminância somente são válidos para as condições existentes durante a medição.

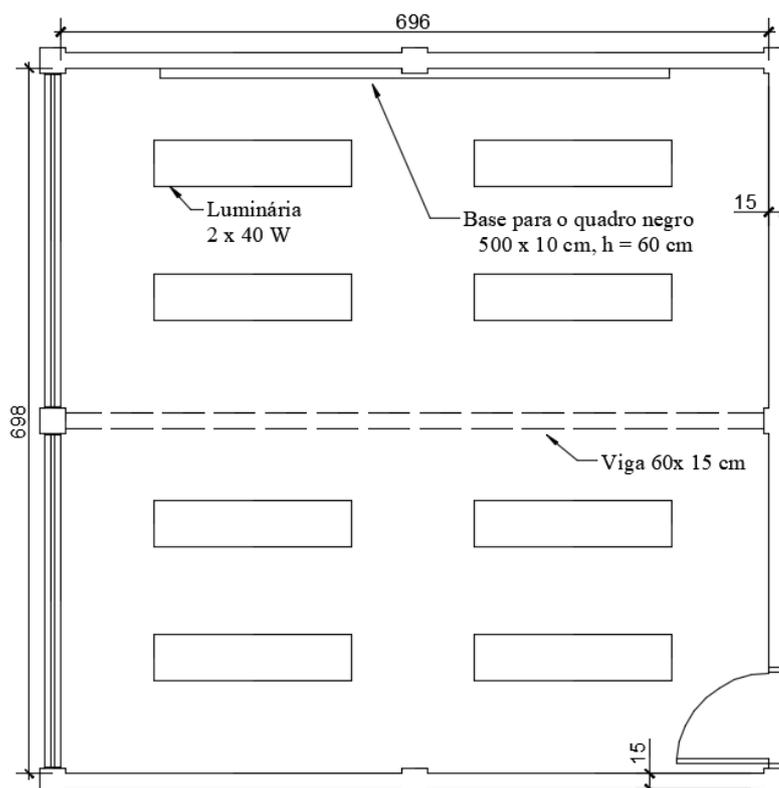
Todas as salas de aula possuem o mesmo padrão construtivo. As paredes são de alvenaria convencional, enquanto os elementos estruturais (vigas, pilares e lajes) são de concreto armado. As dimensões internas são de 6,96 m de comprimento por 6,98 m de largura e o pé-direito é de 2,97 m. As paredes são pintadas na cor creme, enquanto o teto é pintado na cor branca. As salas possuem duas janelas com 3,30 m de comprimento por 1,60 m de altura cada, com peitoril de 1,00 m e orientação voltada para norte ou sul. O quadro negro possui dimensões de 5,00 m de largura por 1,25 m de altura, sendo sustentado por uma base em concreto de mesmas dimensões do quadro e espessura de 10 cm. A distância vertical entre o plano de trabalho e o plano das luminárias ( $H_m$ ) é igual a 2,16 m. A porta da sala de aula é de 2,10 x 0,90 m. Com relação à estrutura, as salas possuem quatro pilares de 25 x 25 cm, localizados no centro de cada lado da sala, além de uma viga de 60 cm de altura por 15 cm de base que atravessa o centro da sala.

Cada sala de aula da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires contém um sistema de iluminação com oito luminárias, sendo que cada luminária é composta por duas lâmpadas fluorescentes tubulares com potência de 40 W. Dessa forma, há nas salas de aula uma densidade de potência instalada de 13,17 W/m<sup>2</sup>. A Figura 4.21 mostra a vista interna de uma das salas de aula da escola, enquanto a Figura 4.22 apresenta a planta com detalhes do padrão construtivo. Foram escolhidas duas salas (uma com orientação norte e outra com orientação sul) para a avaliação dos níveis de iluminância.

Figura 4.21. Sala de aula padrão da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires (setembro de 2017).



Figura 4.22. Planta baixa das salas de aula da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires (sem escala).



De acordo com a NBR ISO/CIE 8995: Iluminância de Ambientes de Trabalho, a iluminância média requerida para salas de aula é de 300 lux, enquanto para os quadros negros a iluminância média requerida é de 500 lux. As Tabelas 4.12 e 4.13 apresentam a classificação dos níveis de iluminância no período diurno para as salas de aula e para os quadros, respectivamente. Estes valores foram calculados de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 4.12. Classificação dos níveis de iluminância para salas de aula.

<b>Intervalo de iluminância</b>	<b>Zona</b>	<b>Classificação</b>
< 160 lux	insuficiente	ruim
160 a 210 lux	transição inferior	regular
210 a 390 lux	suficiente	bom
390 a 2000 lux	transição superior	regular
> 2000 lux	excessiva	ruim

Tabela 4.13. Classificação dos níveis de iluminância para os quadros das salas de aula.

<b>Intervalo de iluminância</b>	<b>Zona</b>	<b>Classificação</b>
< 300 lux	insuficiente	ruim
300 a 350 lux	transição inferior	regular
350 a 650 lux	suficiente	bom
650 a 2000 lux	transição superior	regular
> 2000 lux	excessiva	ruim

O número mínimo de pontos necessários para a verificação dos níveis de iluminância no período diurno (calculado de acordo com a Equação 3.9) é igual a 14. Porém, optou-se por uma malha de 25 pontos, divididos em áreas aproximadamente iguais.

As Figuras 4.23 e 4.24 ilustram os níveis de iluminação medidos para as salas 1 e 2 da EEB Aníbal Nunes Pires, respectivamente, além de apresentarem a variação da iluminância de acordo com a distância medida a partir da janela. Os pontos cinza e alaranjado representam as iluminâncias mínimas e máximas, respectivamente. Percebe-se que, no período diurno, os níveis de iluminância são muito mais altos nas mesas próximas à janela e vão diminuindo à medida que se afastam desta. Além disso, há variação muito maior entre os valores mínimos e máximos próximos à janela. Esta variação tende a diminuir quando aumenta-se a distância. Nota-se também que, com as lâmpadas apagadas (apenas iluminação natural), grande parte das salas permanece com insuficiência de iluminação. Com as lâmpadas acesas (iluminação natural + artificial), nenhuma área das salas obtém classificação ruim de iluminância, tendo essa classificação variado entre regular e bom. Apenas os quadros negros aparecem com partes insuficientes de iluminância. Dessa forma, é possível concluir que o sistema de iluminação das salas da escola funciona de forma regular, atendendo aos requisitos da norma.

Para a avaliação da iluminação artificial no período noturno, foram escolhidos pontos na sala de aula de acordo com a Figura 3.4, porém, com apenas quatro pontos centralizados (C1, C2, C3 e C4), visto que a sala possui apenas duas linhas de luminárias. Foram medidos os níveis de iluminância de apenas uma sala durante a noite, visto que todas possuem o mesmo padrão construtivo. A Figura 4.25 apresenta os valores dos níveis de iluminância no período noturno nas salas de aula. A iluminância média, calculada de acordo com a Equação 3.10, foi de 327 lux. Este valor atende a exigência da NBR ISO/CIE 8995:2013.

Figura 4.23. Níveis de iluminância da sala 1 (orientação norte) na EEB Aníbal Nunes Pires (em lux).

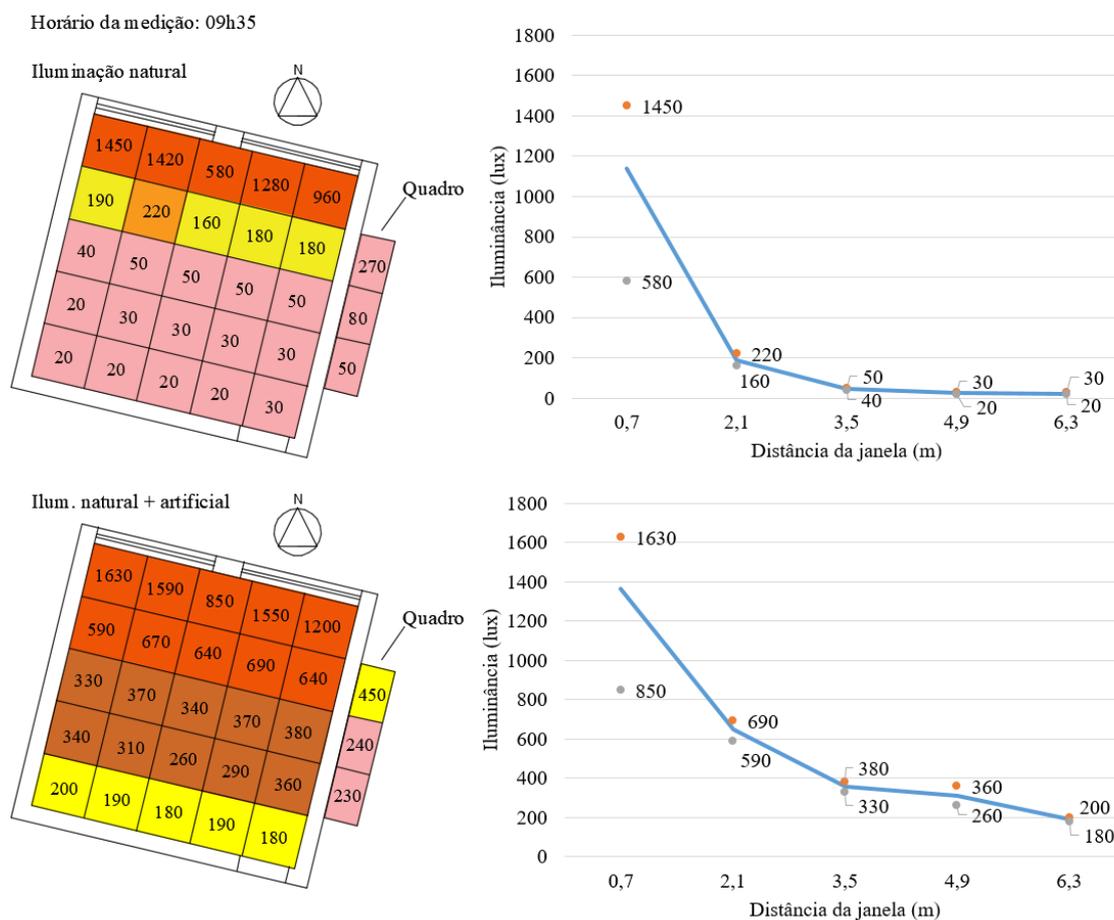


Figura 4.24. Níveis de iluminância da sala 2 (orientação sul) na EEB Aníbal Nunes Pires (em lux).

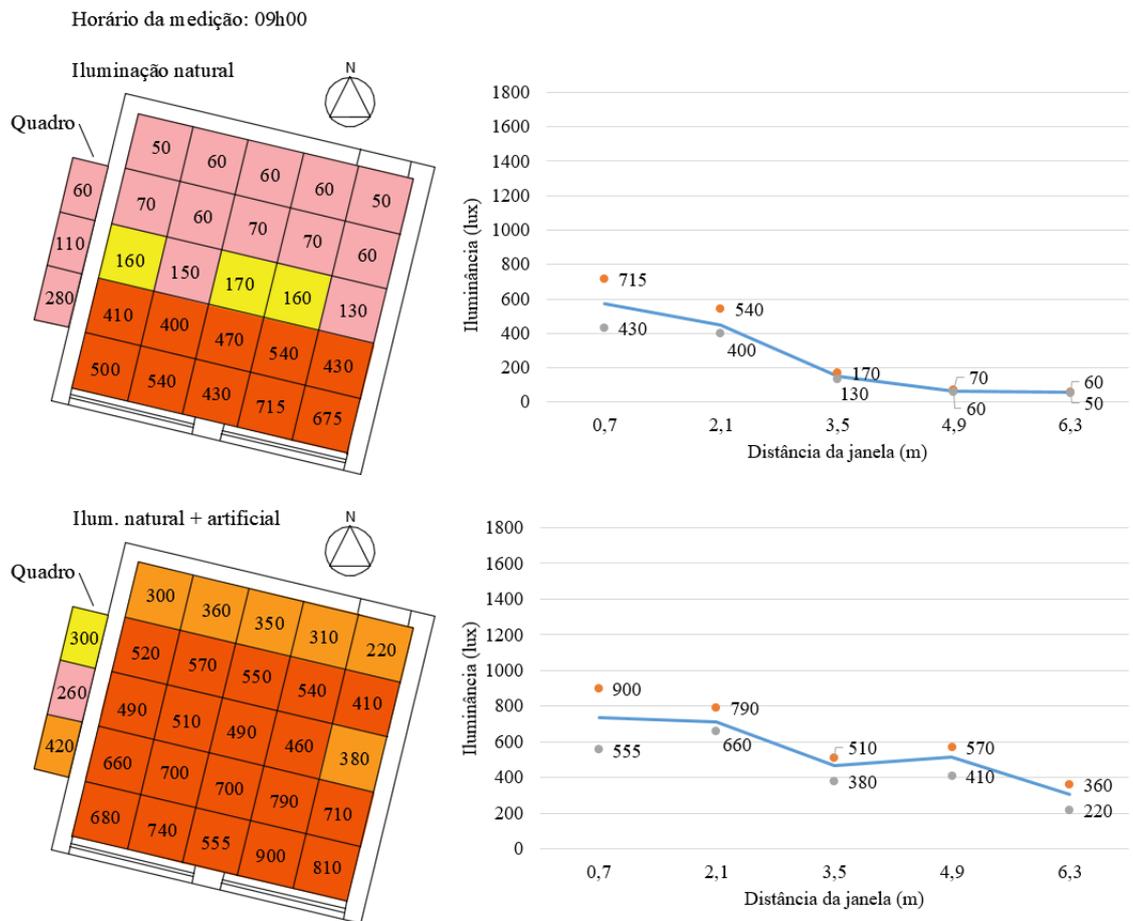
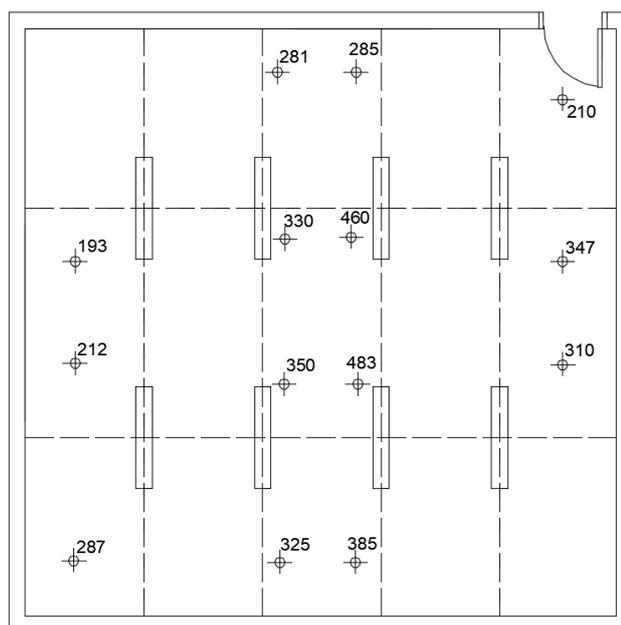


Figura 4.25. Níveis de iluminância no período noturno nas salas de aula da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires (sem escala), em lux.



A visita à Escola de Educação Básica Ildelfonso Linhares, por sua vez, foi realizada no dia 30 de setembro de 2017. O céu apresentava-se chuvoso no momento das medições.

As salas de aula da escola apresentam diferentes padrões, tanto no sistema de iluminação quanto no construtivo. A escola possui salas com orientações das janelas voltadas para leste, sul e norte. Dessa forma, foram escolhidas três salas (2, 4 e 10, uma de cada orientação) para a avaliação dos níveis de iluminância.

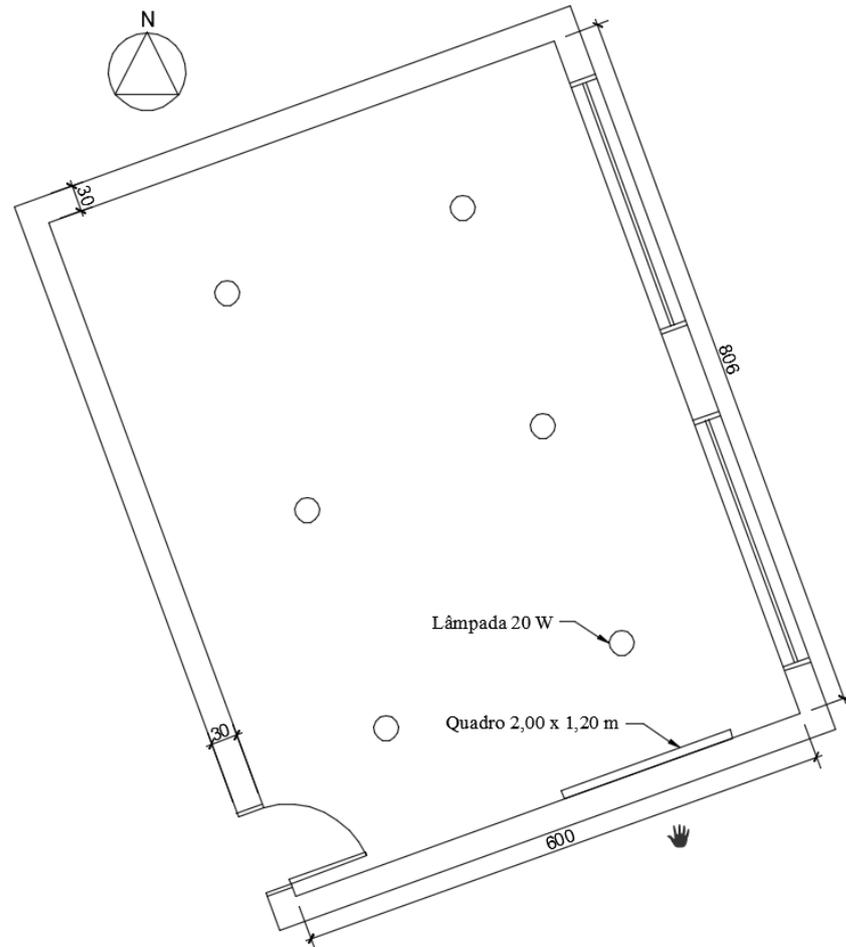
A sala 2 (orientação leste) possui dimensões internas de 8,06 m de comprimento por 6,00 m de largura e pé-direito de 3,06 m. As paredes são pintadas em tons de azul e amarelo, enquanto o forro da sala de aula é de PVC branco. As duas janelas possuem 3,00 m de comprimento por 1,40 m de altura cada, com peitoril de 1,20 m. A porta possui dimensões de 2,10 x 0,90 m. As mesas possuem altura do plano de trabalho igual a 0,75 m e o quadro possui dimensões de 2,00 m de largura por 1,20 m de altura. A distância vertical entre o plano de trabalho e o plano das luminárias ( $H_m$ ) é igual a 2,11 m.

O sistema de iluminação da sala de aula conta com seis lâmpadas fluorescentes compactas de 20 W cada. Dessa forma, há no ambiente uma densidade de potência instalada de apenas 2,48 W/m<sup>2</sup>. A Figura 4.26 mostra a vista interna da sala 2, enquanto a Figura 4.27 apresenta a planta baixa desta.

Figura 4.26. Sala 2 da EEB Ildelfonso Linhares (setembro de 2017).



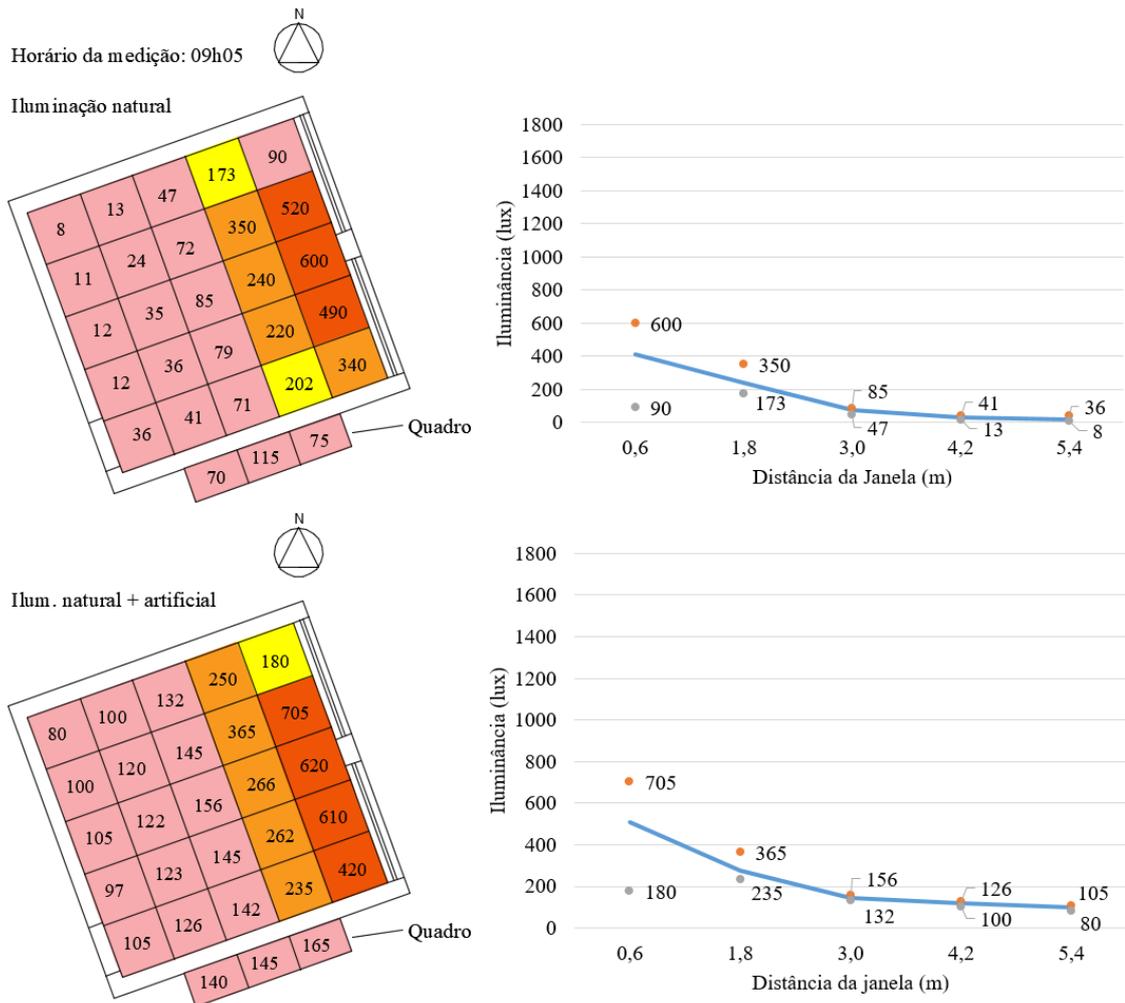
Figura 4.27. Planta baixa da sala 2 (sem escala).



Para as três salas avaliadas, o número mínimo de pontos necessários para a verificação dos níveis de iluminância no período diurno (calculado de acordo com a Equação 3.9) foi igual a 14. Em todos os casos, optou-se mais uma vez por uma malha de 25 pontos, divididos em áreas aproximadamente iguais.

Através da Figura 4.28, que ilustra os níveis de iluminância da sala 2, é possível perceber que, devido ao baixo valor da densidade de potência instalada (apenas  $2,48 \text{ W/m}^2$ ), o ambiente tem em sua grande maioria insuficiência de iluminação, independente se as lâmpadas encontram-se acesas ou não. Os únicos lugares onde obteve-se iluminância regular ou boa foram nas mesas próximas à janela.

Figura 4.28. Níveis de iluminância da sala 2 (orientação leste) da EEB Ildefonso Linhares (em lux).



Com relação à iluminação artificial (período noturno), a sala 2 obteve iluminância média de 94 lux. A iluminância média encontra-se bem abaixo do valor requerido pela NBR ISO/CIE 8995 (300 lux). O quadro também teve iluminância bem abaixo à requerida (500 lux), com valores variando entre 80 e 95 lux.

A sala 4 possui características semelhantes à sala 2, porém possui suas janelas com orientação voltada para sul. As janelas tinham uma de suas folhas impedidas de abrir devido à instalação de ar-condicionado sobre a própria janela. As dimensões internas da sala são de 8,03 m de comprimento por 6,03 m de largura e pé-direito de 2,97 m. As paredes são pintadas em azul e rosa, enquanto o forro da sala de aula é também de PVC branco. As duas janelas possuem 3,00 m de comprimento por 1,40 m de altura cada, com peitoril de 1,20 m e a porta é de 2,10 x 0,90 m. As mesas possuem altura do plano de trabalho igual a 0,75 m e o quadro possui dimensões de 3,05 m de

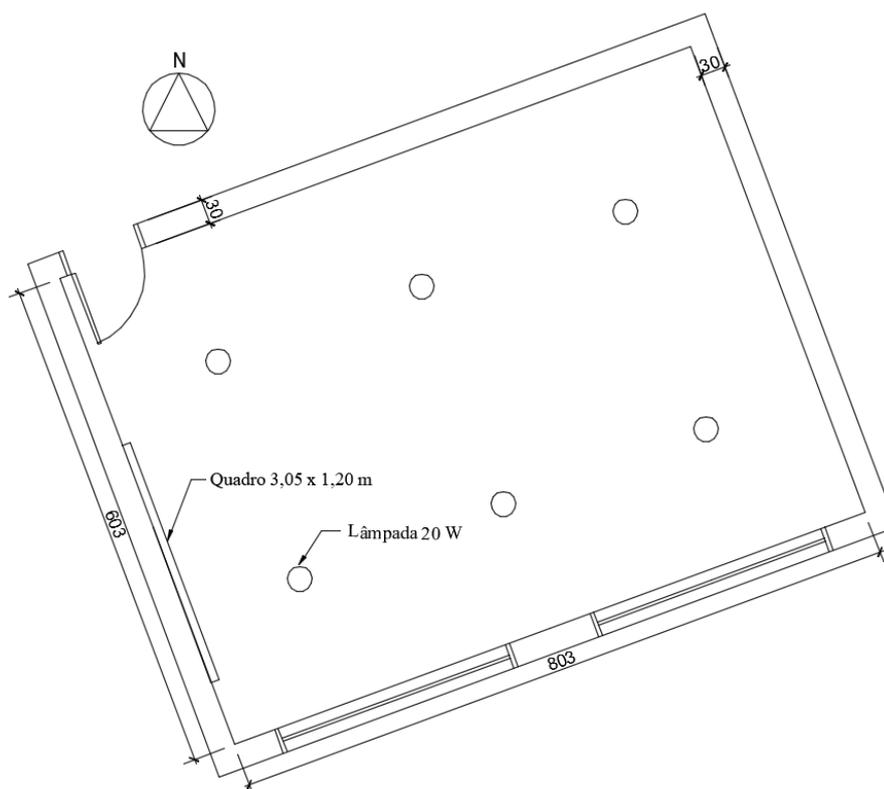
largura por 1,20 m de altura. A distância vertical entre o plano de trabalho e o plano das luminárias ( $H_m$ ) é igual a 2,02 m.

O sistema de iluminação da sala 4 é igual ao da sala 2, com seis lâmpadas fluorescentes compactas de 20 W cada (densidade de potência instalada igual a 2,48 W/m<sup>2</sup>). A Figura 4.29 mostra a vista interna da sala 4, enquanto a Figura 4.30 apresenta a planta baixa.

Figura 4.29. Sala 4 da EEB Ildefonso Linhares (setembro de 2017).

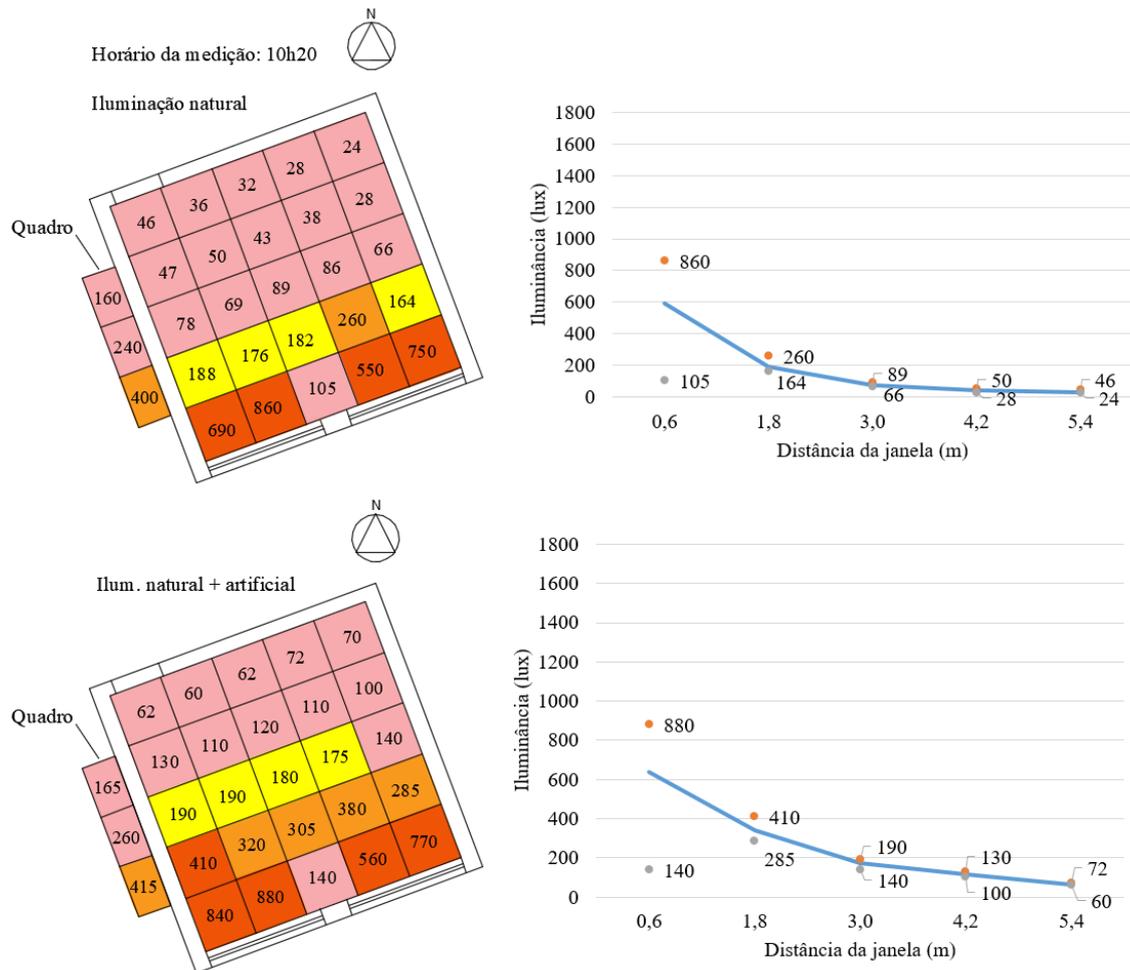


Figura 4.30. Planta baixa da sala 4 (sem escala).



A Figura 4.31 ilustra os níveis de iluminância da sala 4. Percebe-se que a iluminação tem comportamento bastante parecido ao da sala 2, sendo que ambas possuem baixa densidade de potência instalada, resultando em uma grande área do ambiente com iluminância insuficiente.

Figura 4.31. Níveis de iluminância da sala 4 (orientação sul) da EEB Ildefonso Linhares (em lux).



A iluminação artificial (período noturno) também teve desempenho ruim, com iluminância média igual a 76 lux e iluminância no quadro variando entre 65 e 70 lux.

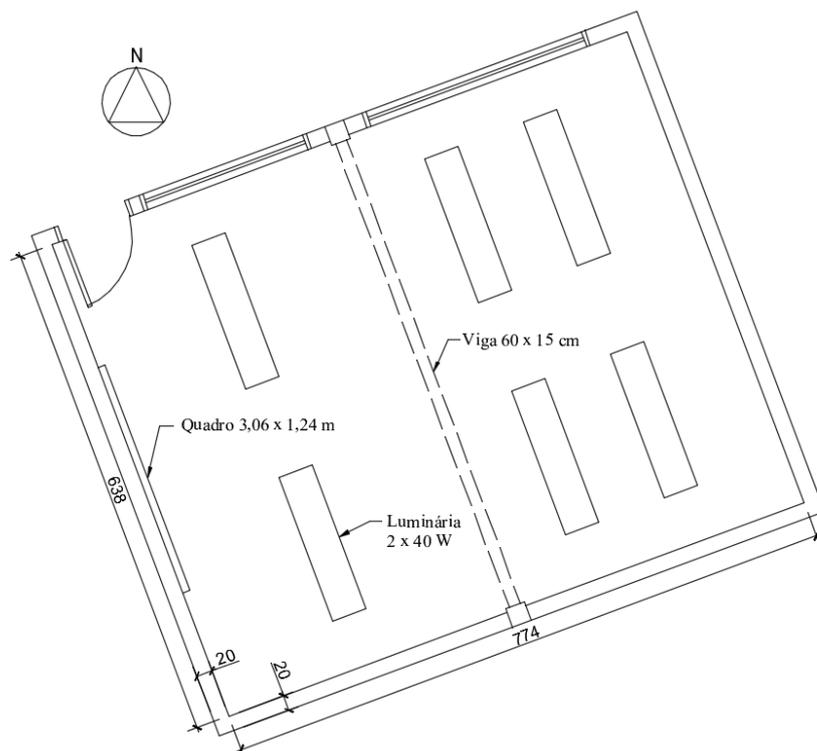
A sala 10 possui padrão bem diferente das salas 2 e 4. O sistema de iluminação conta com seis luminárias, cada uma com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, resultando em uma potência instalada de 9,72 W/m<sup>2</sup>. As dimensões da sala são de 7,74 m de comprimento por 6,38 m de largura, com pé direito de 2,81 m. A distância vertical entre o plano de trabalho e o plano das luminárias ( $H_m$ ) é igual a 2,06 m. As paredes são pintadas nas cores rosa e azul, e o teto na cor branca. A sala possui duas

janelas (orientadas a norte), uma com 2,25 m e outra com 3,00 m de comprimento, ambas com altura de 1,40 m e peitoril de 1,20 m. As mesas possuem altura do plano de trabalho igual a 0,75 m e o quadro possui dimensões de 3,06 m de largura por 1,24 m de altura. Há ainda dois pilares de 25 x 25 cm localizados no centro de cada uma das paredes laterais e uma viga de 60 cm de altura por 15 cm de base atravessando o centro da sala. A Figura 4.32 mostra a vista interna da sala 10 da EEB Ildefonso Linhares, enquanto a Figura 4.33 apresenta a planta baixa da sala.

Figura 4.32. Sala 10 da EEB Ildefonso Linhares (setembro de 2017).



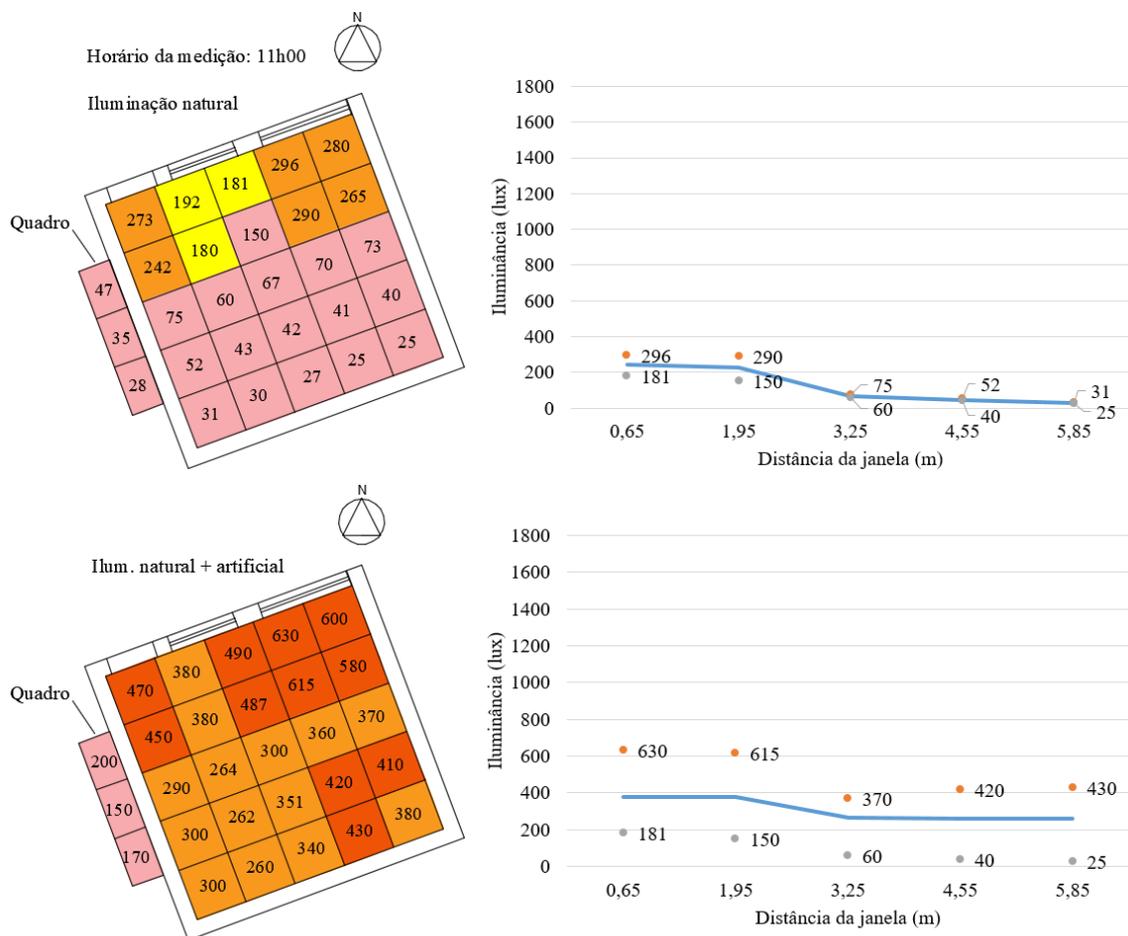
Figura 4.33. Planta baixa da sala 10 (sem escala).



A Figura 4.34 ilustra os níveis de iluminação da sala 10. Com as lâmpadas acesas, é possível observar que são atingidas classificações dos níveis de iluminância entre regular e bom no período diurno, com exceção do quadro, que possui insuficiência de iluminância.

Com relação à iluminação artificial no período noturno, a iluminância média obtida para a sala 10 foi de 257 lux, um pouco abaixo do valor recomendado. No quadro, as iluminâncias foram insuficientes, variando entre 140 e 195 lux.

Figura 4.34. Níveis de iluminância da sala 10 (orientação norte) da EEB Ildefonso Linhares (em lux).



A Tabela 4.14 resume os resultados encontrados para os níveis de iluminância das salas de aula das escolas analisadas. É possível perceber que os sistemas de iluminação das salas da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires possuem bom desempenho, atendendo à norma tanto no período diurno quanto noturno. Quanto ao sistema de iluminação da EEB Ildefonso Linhares, nota-se que o desempenho está bem aquém ao

exigido por norma, sendo que a iluminação é insuficiente em grande percentual das salas, tanto durante o dia quanto à noite.

Tabela 4.14. Resumo da avaliação dos sistemas de iluminação das salas de aula das escolas analisadas.

Escola	Sala	Áreas com iluminação insuficiente (%)		Noturno ( $\geq 300$ lux)
		Ilum. natural	Ilum. natural + artificial	
EEB Prof. Aníbal Nunes Pires	1	60	0	327
	2	48	0	327
EEB Ildefonso Linhares	2	64	60	94
	4	64	48	76
	10	64	0	257

#### 4.6.3. Mudanças no sistema de iluminação artificial

Para as salas de aula da EEB Aníbal Nunes Pires, que possuem oito luminárias com duas lâmpadas tubulares fluorescentes de 40 W cada, foi proposta a mudança das lâmpadas existentes por lâmpadas LED tubulares de potência igual a 20 W, vida mediana de 25.000 horas, fluxo luminoso igual a 1.850 lm (eficiência luminosa de 92,5 lm/W) e temperatura da cor igual a 6.500 K. As lâmpadas existentes na escola atualmente possuem vida mediana de 7.500 horas e fluxo luminoso de 2.600 lm (eficiência de 65 lm/W). Ou seja, a simples troca de uma lâmpada por outra traria uma economia de energia de 50% e um tempo de vida 3,3 vezes maior.

Vale ressaltar que as mudanças propostas para estas salas visam principalmente a redução no consumo de energia e não o aumento nos níveis de iluminância, visto que o sistema de iluminação destas obteve bom desempenho.

A partir da Equação 3.11, foi determinado o número de lâmpadas necessário para atender a iluminância exigida no ambiente (300 lux). A área das salas de aula é de 48,58 m<sup>2</sup> (6,98 x 6,96 m). A sala de aula pode ser considerada um ambiente limpo, assim, tem-se um fator de depreciação ( $F_d$ ) igual a 0,80, de acordo com a Tabela 3.3. Como as cores das salas são claras (teto na cor branca e paredes e planos de trabalho na cor creme), foram consideradas as refletâncias do teto, paredes e planos de trabalho como sendo 0,7, 0,5 e 0,1, respectivamente. Estes valores estão dentro dos valores recomendados pela NBR ISO/CIE 8995:2013. Dessa forma, considerando as luminárias existentes (refletor de alumínio de alto brilho, sem aletas), e o índice de local ( $K$ ) das salas, calculado por meio da Equação 3.8 e igual a 1,61, tem-se que o coeficiente de utilização ( $C_{ut}$ ) é igual a 0,571, de acordo com a Tabela 3.2.

Portanto, o número mínimo de lâmpadas necessário para atender a iluminância exigida no ambiente é igual a 18. Porém, adotou-se um número de 20 lâmpadas (dez luminárias com duas lâmpadas cada) por sala, para obter melhor simetria das luminárias.

Por meio da Equação 3.12, calculou-se a nova iluminância média para as salas de aula da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. O valor obtido para o início da operação do sistema foi de 435 lux, atendendo à exigência de 300 lux da NBR ISO/CIE 8995:2013.

Nas salas de aula não é possível estimar uma redução no tempo de uso da iluminação artificial. Assim, o potencial de economia de energia elétrica das salas está inteiramente relacionado à maior eficiência das lâmpadas escolhidas.

Considerando a substituição em cada sala das 16 lâmpadas de 40 W existentes por 20 lâmpadas de 20 W, o tempo de uso igual a 330 horas mensais (15 horas por dia, 22 dias por mês), e o número total de 12 salas, tem-se, pela Equação 3.13, uma redução mensal no consumo de energia elétrica igual a 950 kWh. Isto geraria uma economia monetária mensal de R\$ 521,77 (considerando tarifa média de R\$ 0,549/kWh).

Para os corredores, foi proposta apenas a troca das lâmpadas existentes por lâmpadas de mesmo fluxo luminoso, porém com menor potência (e, portanto, maior eficiência). Os corredores possuem 35 luminárias com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W cada, cinco lâmpadas fluorescentes compactas de 20 W e outras cinco de 25 W, além de uma lâmpada incandescente de 40 W. Foi proposta a substituição de todas as lâmpadas existentes por 45 luminárias com duas lâmpadas LED tubulares de 20 W cada, totalizando 90 lâmpadas. Além disso, foi proposta também a instalação de sensores de movimento para acendimento automático das lâmpadas, visto que um dos maiores problemas da escola é a utilização excessiva e desnecessária da iluminação artificial nos corredores (lâmpadas ficam acesas 24 horas por dia, todos os dias, inclusive nos finais de semana).

Com a instalação do sistema de acendimento automático com sensor de movimento, haveria redução no uso da iluminação artificial nos corredores de, no mínimo, 368 horas mensais (192 horas nos finais de semana, considerando 24 horas de redução de uso durante 8 dias no mês, e 176 horas nos dias úteis, considerando 8 horas de redução de uso durante 22 dias no mês).

O potencial de economia de energia elétrica nos corredores, portanto, é gerado pelo aumento da eficiência das lâmpadas escolhidas e também pela redução no tempo de uso da iluminação artificial.

Pela Equação 3.13, considerando o novo tempo de uso da iluminação no corredor igual a 352 horas mensais (16 horas por dia, 22 dias por mês), tem-se que a economia mensal gerada pelo aumento na eficiência das lâmpadas é igual a 445 kWh. A economia mensal devido à redução no tempo de uso, dado pela Equação 3.14, é igual a 1.128 kWh. Conseqüentemente, a economia mensal total de energia elétrica obtida para as mudanças realizadas nos corredores é igual a 1.573 kWh. Este valor representaria uma economia de R\$ 863,69 por mês.

Ademais, as lâmpadas dos corredores da parte interdita da escola também permanecem acesas 24 horas por dia, todos os dias, incluindo finais de semana. A área da parte interdita equivale a 42% do total de área construída. Considerando a potência total das lâmpadas existentes nos corredores da parte não interdita (3,065 kW) e as 720 horas mensais de funcionamento destas (24 horas durante 30 dias), e multiplicando proporcionalmente aos 42% de área da parte interdita, poderia ser atingida uma economia mensal de 1.598 kWh. Esta economia seria alcançada apenas separando o acendimento das lâmpadas das duas partes da escola e mantendo as lâmpadas da parte interdita apagadas. Esta redução no consumo poderia resultar em economia mensal de R\$ 877,13.

No total, somando as salas de aula, os corredores e a parte interdita, o potencial total de economia de energia para a EEB Prof. Aníbal Nunes Pires é de 4.121 kWh. Isto representaria uma economia de R\$ 2.262,58 por mês. Estes valores são representativos, visto que o consumo mensal médio de energia elétrica da escola durante o período analisado (janeiro de 2016 a maio de 2017, excluindo-se o mês de dezembro) foi de 6.689 kWh, o que representa um potencial de economia de 62%. A Tabela 4.15 apresenta, em resumo, a economia de energia elétrica gerada por meio das mudanças propostas para o sistema de iluminação.

Tabela 4.15. Economia de energia elétrica na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires após as mudanças propostas.

Ambiente	Iluminância média (lux) antes das mudanças	Iluminância média (lux) após as mudanças	Potência instalada existente (W)	Potência instalada após mudanças (W)	Tempo mensal atual de uso (horas)	Tempo mensal de uso após mudanças (horas)	Redução mensal no consumo (kWh)	Economia mensal (R\$)	Potencial de economia de energia elétrica (%)
Salas de aula	327	435	7.680	4.800	330	330	950	521,77	62
Corredores	*	*	3.065	1.800	720	352	1.573	863,69	
Interditado	*	*	2.219	2.219	720	0	1.598	877,13	
<b>Total</b>							<b>4.121</b>	<b>2.262,58</b>	

\*Valores não medidos neste estudo.

Para a EEB Ildefonso Linhares, também foram propostas mudanças para as salas de aula e corredores. As mudanças no sistema de iluminação das salas com padrão semelhante ao das salas 2 e 4 se fazem extremamente necessárias, visto que os níveis de iluminância destas apresentaram-se bem aquém do valor exigido pela NBR ISO/CIE 8995:2013. As propostas de mudanças nas salas com padrão semelhante ao da sala 10, no entanto, foram feitas principalmente visando a redução no consumo de energia, visto que o sistema de iluminação desta sala teve bom desempenho.

A lâmpada escolhida para as mudanças foi novamente a LED tubular de 20 W, vida mediana de 25.000 horas, fluxo luminoso igual a 1.850 lm e temperatura da cor igual a 6.500 K. Mais uma vez foram consideradas as refletâncias do teto, paredes e planos de trabalho como sendo 0,7, 0,5 e 0,1, respectivamente, pois as salas de aula possuem forro na cor branca e paredes e planos de trabalhos em cores claras. Através da Equação 3.11, foi calculado o número mínimo de lâmpadas necessário para cada sala. Utilizou-se fator de depreciação igual a 0,80 (ambiente limpo) e coeficiente de utilização de acordo com a Tabela 3.2. Como resultado, o número mínimo de lâmpadas necessário em cada sala para atender a iluminância exigida foi igual a 18. Porém, novamente optou-se por um número de 20 lâmpadas por sala (dez luminárias com duas lâmpadas cada), por questões de simetria.

As novas iluminâncias médias para o início da operação do sistema, calculadas por meio da Equação 3.12, para as salas 2, 4 e 10, respectivamente, são 438, 444 e 434 lux. Em todos os casos atende-se à exigência da NBR ISO/CIE 8995:2013.

Nas 12 salas de aula existentes na escola, tem-se um total de 24 lâmpadas fluorescentes compactas de 20 W, 8 lâmpadas LED de 25 W, 18 lâmpadas LED compactas de 9 W e 48 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, resultando em uma potência total de 2.762 W.

Com a substituição das lâmpadas existentes por 240 lâmpadas LED tubular de 20 W necessárias para atender a iluminância exigida, haveria um aumento de 673 kWh/mês no consumo de energia da escola (considerando o mesmo tempo de uso, 15 horas por dia, 22 dias por mês), resultando em um acréscimo de R\$ 369,22 nas contas mensais de energia elétrica.

É importante ressaltar que, mesmo com o aumento no consumo, estas mudanças se fazem necessárias, visto que os níveis de iluminância atuais de grande parte das salas de aula estão muito abaixo do valor exigido pela NBR ISO/CIE 8995:2013.

Para os corredores foram propostas a substituição das 29 lâmpadas fluorescentes compactas de 20 W por lâmpadas LED compactas de 9 W, que são equivalentes em

fluxo luminoso (810 lúmens), além do uso de sensores de movimento para acendimento automático, visando a redução no tempo de uso das lâmpadas. As 18 lâmpadas LED compactas de 9 W existentes nas salas de aula podem ser reaproveitadas nos corredores, restando assim 11 lâmpadas que devem ser adquiridas.

Portanto, a redução no consumo de energia elétrica com a mudança nos corredores foi obtida através do aumento na eficiência das lâmpadas e da redução do tempo de uso do sistema de iluminação artificial.

Através da Equação 3.13, obteve-se uma redução de 112 kWh no consumo mensal de energia com o aumento na eficiência das lâmpadas, considerando o novo tempo de uso das lâmpadas igual a 352 horas (16 horas por dia, 22 dias por mês). Este valor representa economia de R\$ 61,65 mensais. Com relação à redução no consumo alcançada pela redução do tempo de uso das lâmpadas, o valor obtido, através da Equação 3.14, foi de 213 kWh por mês (economia de R\$ 116,94 mensais). Foi considerada a redução no tempo de uso das lâmpadas igual a 368 horas por mês (192 horas nos finais de semana, considerando 24 horas de redução de uso durante 8 dias no mês, e 176 horas nos dias úteis, considerando 8 horas de redução de uso durante 22 dias no mês).

No total, somando as salas de aula e os corredores, tem-se um aumento no consumo de energia elétrica igual a 347 kWh por mês, o que representa um acréscimo de R\$ 190,04 nas contas mensais. Comparado ao consumo médio mensal da escola de 2.717 kWh (entre janeiro de 2016 e maio de 2017, excluindo-se o mês de dezembro), esta diferença representa aumento de aproximadamente 13% no consumo de energia. A Tabela 4.16 apresenta, em resumo, os resultados obtidos após as mudanças propostas para a EEB Ildefonso Linhares.

Tabela 4.16. Resultados obtidos após as mudanças no sistema de iluminação da EEB Ildefonso Linhares.

Ambiente	Iluminância média (lux) antes das mudanças	Iluminância média (lux) após as mudanças	Potência instalada existente (W)	Potência instalada após mudanças (W)	Tempo mensal atual de uso (horas)	Tempo mensal de uso após mudanças (horas)	Redução mensal no consumo (kWh)	Economia mensal (R\$)	Potencial de economia de energia elétrica (%)
Salas de aula	94, 76, 257*	438, 444, 434*	2.762	4.800	330	330	-673***	-369,22***	-13***
Corredores	**	**	580	261	720	352	326	178,82	
<b>Total</b>							<b>-347***</b>	<b>-190,40***</b>	

\*Iluminâncias médias das salas 2, 4 e 10, respectivamente.

\*\*Valores não medidos no estudo.

\*\*\*O sinal negativo indica aumento no consumo de energia elétrica.

#### 4.6.4. Análise econômica das mudanças no sistema de iluminação artificial

A Tabela 4.17 apresenta o investimento inicial necessário para a realização das mudanças no sistema de iluminação na EEB Prof. Aníbal Nunes Pires. Os custos iniciais resumem-se em materiais luminotécnicos e elétricos e mão de obra necessária para a instalação. Foi considerado o reaproveitamento das luminárias existentes, visto que as lâmpadas LED tubulares orçadas são compatíveis a estas, necessitando apenas a retirada dos reatores das luminárias. Dessa forma, fez-se necessário o acréscimo de duas luminárias em cada uma das 12 salas e mais 10 luminárias nos corredores, totalizando 34 unidades. O sensor de presença orçado é de teto e tem alcance de 7 metros. Os corredores da EEB Prof. Aníbal Nunes Pires totalizam 131 metros. Assim, foram necessários 19 sensores localizados de forma igualmente espaçada pelos corredores. O custo com a mão de obra foi estimado através de consultas com empreiteiras que realizam serviços de instalações elétricas. O valor é apenas uma estimativa, visto que para um orçamento mais preciso seria necessário o projeto elétrico completo da edificação, com as modificações propostas. O custo com cabos flexíveis, eletrodutos, caixas de medição, caixas de inspeção, interruptores, disjuntores e quadros de distribuição foi estipulado como 15% do custo total do investimento inicial, visto que grande parte das instalações elétricas existentes foram reutilizadas.

Tabela 4.17. Investimento inicial para as mudanças no sistema de iluminação da EEB  
Prof. Aníbal Nunes Pires.

<b>Material</b>	<b>Qtde.</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Lâmpada LED tubular 20 W	330	17,99	5.936,70
Luminária de calha dupla com refletor de alumínio de alto brilho, sem aletas, com suportes inclusos	34	24,60	836,40
Sensor de presença	19	26,50	503,50
Mão de obra	10 dias	130,00	1.300,00
Cabos flexíveis, eletrodutos, caixas de medição, caixas de inspeção, interruptores, disjuntores, quadros de distribuição	---	(15 % do total)	1.241,49
<b>Custo total</b>			<b>9.818,09</b>

Considerando os custos com o investimento inicial e economia mensal de R\$ 2.262,43, o tempo de retorno do investimento, calculado por meio da Equação 3.17 e considerando taxa mínima de atratividade igual a 1% ao mês, é de apenas 5 meses. O valor presente líquido, calculado por meio da Equação 3.18, é igual a R\$ 10.504,30. A taxa de retorno do investimento, calculada por meio da Equação 3.19, é de 4,91% ao mês. Através destes resultados é possível perceber que as mudanças propostas, além de necessárias, são também viáveis economicamente e possuem tempo de retorno curto.

Para a EEB Ildefonso Linhares, foi considerada a reutilização de 18 luminárias já existentes nas salas de aula da escola. Assim, faz-se necessário a compra de 102 luminárias. Além disso, foi considerada também a reutilização das 18 lâmpadas LED compactas de 9 W existentes na escola, restando, assim, 11 lâmpadas a serem adquiridas. Os corredores totalizam 126 metros, dessa forma, devem ser instalados 18 sensores de presença (fixados no teto, com 7 metros de alcance). A Tabela 4.18 apresenta o investimento inicial necessário para a realização das mudanças no sistema de iluminação.

Tabela 4.18. Investimento inicial para as mudanças no sistema de iluminação da EEB Ildefonso Linhares.

<b>Material</b>	<b>Qtde.</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Lâmpada LED tubular 20 W	240	17,99	4.317,60
Lâmpada LED compacta 9 W	11	8,59	94,49
Luminária de calha dupla com refletor de alumínio de alto brilho, sem aletas, com suportes inclusos	102	24,60	2.509,20
Sensor de presença	18	26,50	477,00
Mão de obra	20	130,00	2.600,00
Cabos flexíveis, eletrodutos, caixas de medição, caixas de inspeção, interruptores, disjuntores, quadros de distribuição	---	(15% do total)	1.499,74
<b>Custo total</b>			<b>11.498,03</b>

Por haver aumento no consumo de energia elétrica e conseqüentemente acréscimo nas contas mensais após as mudanças, não há retorno do investimento.

#### 4.7. Resumo dos resultados

As Tabelas 4.19 e 4.20 apresentam, de forma resumida, os resultados das estratégias de redução de consumo de água potável e energia elétrica nas escolas analisadas, respectivamente.

Através da análise dos resultados, percebe-se que as estratégias propostas para a EEB Prof. Aníbal Nunes Pires são extremamente necessárias e viáveis economicamente, principalmente pelos altos consumos de água potável e energia elétrica apresentados. Por outro lado, os resultados mostram que as mudanças propostas para a EEB Ildefonso Linhares não trazem bom retorno financeiro, sendo algumas vezes até inviáveis economicamente. Isto se deve ao fato de que a escola possui baixos consumos de água e energia. Porém, as mudanças no sistema de iluminação, mesmo trazendo aumento no consumo, continuam sendo necessárias, a fim de adequar os níveis de iluminância das salas de aula às exigências da NBR ISO/CIE 8995:2013.

Tabela 4.19. Resumo dos resultados das estratégias de redução no consumo de água potável nas edificações escolares analisadas.

Escola	Volume reservatório inferior (litros)	Volume reservatório superior (litros)	Investimento inicial (R\$)	Potencial de economia (%)	Redução no consumo (litros/dia)	Payback descontado (meses)	Valor presente líquido (R\$)	Taxa interna de retorno (%)
EEB Prof. Aníbal Nunes Pires	30.000	5.500	28.032,93	32,68 a 62,46	2.996 a 5.431	20 a 36	65.946,20 a 141.787,56	3,43 a 6,05
EEB Ildefonso Linhares	15.000	1.500	18.461,04	53,31 a 78,14	542 a 1.574	*	-1.294,20 a 31.573,72	0,91 a 2,80

\*Em alguns cenários analisados não houve retorno do investimento, enquanto nos demais foram obtidos períodos de retorno entre 46 e 83 meses.

Tabela 4.20. Resumo dos resultados no consumo de energia elétrica com as mudanças no sistema de iluminação artificial das escolas.

Escola	Iluminância média (lux) antes das mudanças	Iluminância média (lux) após as mudanças*	Investimento inicial (R\$)	Potencial de economia (%)	Redução no consumo (kWh/mês)	Payback descontado (meses)	Valor presente líquido (R\$)	Taxa interna de retorno (%)
EEB Prof. Aníbal Nunes Pires	327	435	9.818,09	62	4.121	5	10.504,30	4,91
EEB Ildefonso Linhares	94, 76, 257**	438, 444, 434**	12.231,45	-13***	-348***	Não há	-	-

\*Iluminâncias médias no início da operação do sistema.

\*\*Iluminâncias médias das salas 2, 4 e 10, respectivamente.

\*\*\*O sinal negativo indica aumento no consumo de energia elétrica.

## 5. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar dados de consumo de água potável e energia elétrica de escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis, assim como avaliar estratégias de redução de consumo destes insumos em duas escolas selecionadas para análise. Sabe-se que as edificações escolares são um dos tipos de edificação que mais consomem água e energia. Isto se deve ao fato de que as escolas possuem um grande número de agentes consumidores, que muitas vezes não possuem sensibilidade com relação à sustentabilidade, e também não têm a responsabilidade direta pelo pagamento das contas de água e energia.

Neste estudo, foram analisados dados de consumo de cem escolas. Obteve-se uma grande variabilidade nos índices de consumo de água (0,81 a 30,42 litros/aluno.dia) e energia (0,31 a 66,47 kWh/aluno.mês), o que já era esperado, conforme visto em estudos anteriores. Esta ampla variabilidade está relacionada principalmente às atividades desenvolvidas, hábitos dos usuários e também ao uso racional destes insumos nas escolas.

Com os valores dos índices de consumo em mãos, foram selecionadas duas escolas para a avaliação da redução de consumo de água e energia através de um sistema de aproveitamento de água de chuva e de mudanças no sistema de iluminação artificial. A escolha foi feita considerando uma escola com altos índices de consumo de água e energia (EEB Prof. Aníbal Nunes Pires, 17,13 litros/aluno.dia e 15,09 kWh/aluno.mês) e uma escola com baixos índices de consumo (EEB Ildefonso Linhares, 3,12 litros/aluno.dia e 4,80 kWh/aluno.mês).

Notou-se que na escola com baixos índices de consumo de água existiam aparelhos economizadores, tais como torneiras de lavatório com fechamento automático e vasos sanitários com caixa de descarga acoplada *dual flush*, enquanto na escola com alto consumo as torneiras dos lavatórios eram de fechamento manual e os vasos sanitários com válvula de descarga. Estes tipos de aparelhos fazem com que o consumo de água da escola seja totalmente dependente do bom senso dos usuários. Dessa forma, a falta de consciência com relação ao meio ambiente pode elevar e muito o consumo na edificação.

Com relação ao consumo de energia elétrica, a escola com baixo consumo apresentou alguns problemas em seu sistema de iluminação, com iluminâncias insuficientes na maioria das salas de aula. Na escola com alto consumo, por sua vez, foi

verificado o uso desmedido do sistema de iluminação artificial, sendo registrado grande desperdício em toda a escola, o que poderia ser facilmente evitado.

Isto posto, foram verificados os potenciais de economia de água potável e energia elétrica gerados através da implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva e de mudanças no sistema de iluminação artificial das escolas.

Na escola com altos consumos (EEB Prof. Aníbal Nunes Pires), obteve-se potenciais de economia de água potável variando de 32,68 a 62,46%, o que representa redução no consumo de água potável entre 2.996 e 5.431 litros/dia. O tempo de retorno do investimento para a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva variou de 20 a 36 meses. Com relação à energia elétrica, o potencial de economia foi de 62%, com redução mensal de 4.121 kWh. O tempo de retorno do investimento para as mudanças no sistema de iluminação é de 5 meses.

Na escola com baixos consumos (EEB Ildefonso Linhares), foram obtidos potenciais de economia de água potável entre 53,31 e 78,14%, representando redução no consumo de água potável de 542 a 1.574 litros/dia. Nos cenários com demanda de água de chuva igual a 60% não houve retorno do investimento, enquanto nos demais foram obtidos períodos de retorno entre 46 e 83 meses. Quanto à energia elétrica, houve um aumento de 348 kWh no consumo mensal, o que equivale a 13% de aumento no consumo. É importante ressaltar que, mesmo com este aumento, as mudanças propostas são necessárias, visto que o sistema de iluminação da EEB Ildefonso Linhares mostrou-se ineficiente, com grande parte das salas de aula apresentando níveis de iluminância insuficientes.

Através dos resultados expostos, é possível notar que algumas escolas possuem grande potencial de economia de água potável e energia elétrica. Porém, antes de qualquer proposta de modificação, faz-se necessário um estudo completo dos índices de consumo e condições existentes nas edificações, a fim de se obter resultados preliminares da eficiência das mudanças propostas. Neste estudo, percebe-se que as mudanças propostas para a EEB Prof. Aníbal Nunes Pires se mostraram muito mais viáveis economicamente do que na EEB Ildefonso Linhares.

Estes resultados confirmam que, com uma análise prévia da edificação, é possível uma redução expressiva nos consumos de água potável e energia elétrica em edificações escolares. Dessa forma, estas têm grande potencial de contribuição no âmbito ambiental, pois, através de estratégias sustentáveis, podem auxiliar no combate à escassez dos recursos hídricos e também reduzir significativamente os impactos gerados pelo processo de geração de energia utilizada na iluminação artificial.

## **5.1. Limitações do trabalho**

O presente trabalho apresentou algumas dificuldades e limitações para sua realização, tais como:

- Não houve a possibilidade da análise de projetos hidrossanitários ou elétricos das escolas, visto que estas não possuíam os projetos;
- Os dados de consumo de água potável foram obtidos para apenas 62 das 100 escolas analisadas não sendo possível a avaliação do consumo de água potável para todas as escolas.
- Os dados de área construída foram obtidos para apenas 32 das 100 escolas analisadas, não sendo possível a avaliação do consumo de energia elétrica por área construída para todas as escolas.
- A medição dos níveis de iluminância para cada sala de aula foi feita em apenas um dia e em um único horário. Dessa forma, não há como avaliar a interferência das condições do céu e interferência da intensidade e orientação dos raios solares nos níveis de iluminância.

## **5.2. Sugestões para trabalhos futuros**

Algumas sugestões para trabalhos futuros são:

- Avaliar o potencial de economia de água potável em edificações escolares através da utilização de aparelhos economizadores e por meio do reúso de água cinza;
- Avaliar o potencial de economia de energia elétrica por meio da substituição de aparelhos de ar-condicionado existentes por aparelhos mais eficientes;
- Analisar correlações entre o consumo de energia elétrica e algumas características da edificação, tais como área de fachada, área de cobertura, área envidraçada, entre outras.
- Avaliar desperdícios de água potável através de vazamentos nos aparelhos ou no sistema hidráulico predial das edificações escolares;
- Avaliar o potencial de economia de energia através de mudanças no sistema de iluminação artificial de outros ambientes da edificação escolar, tais como bibliotecas, auditórios, ginásios, entre outros.
- Fazer medições dos níveis de iluminância em mais dias no ano, e também em mais horários do dia, a fim de avaliar a interferência das condições do céu e interferência da intensidade e orientação dos raios solares nos níveis de iluminância.

## Referências

ANGELONI, J. L.; SERAFIM, E. S.; MICHELS, L. B.; STURM, W. **Eficiência energética nas escolas públicas na Região do Vale Araranguá**. In: Seminário de extensão Universitária da Região Sul, 2013, Florianópolis. Anais do 31º SEURS, 2013.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **NBR 15227/2007: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. 8 p., 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO/CIE 8995/2013: Iluminação de ambientes de trabalho**. 54 p., 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220/2003: Desempenho térmico de edificações**. 66 p., 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5413/1992: Iluminância de interiores**. 13 p., 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 5382/1985: Verificação de iluminância de interiores**. 4 p., 1985.

BOTELHO, A. N. **Estimativa dos usos finais de água potável na Universidade Federal de Santa Catarina**. Relatório (Iniciação Científica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

CASAN. **Companhia Catarinense de Águas e Saneamento**. Disponível em: <<http://www.casan.com.br>>. Acesso em: 25 set. 2017.

CELESC. **Centrais Elétricas de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br>>. Acesso em: 25 set. 2017.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações Elétricas**. 6.ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2009. 512 p.

CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6.ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2006. 465 p.

FARINA, M.; MAGLIONICO, M.; POLLASTRI, M.; STOJKOV, I. **Water consumption in public schools**. Procedia Engineering, v.21, p.929-938, 2011.

FASOLA, G. B. **Usos finais de água potável em escolas de Florianópolis**. Relatório (Iniciação Científica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

FERREIRA, D. F. **Aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis – SC**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FRANDOLOSO, M. A. L. **Boas Práticas de Construção Sustentável: Escolas Solares Passivas**. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável / X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Construção Sustentável/Construcción Sostenible., 2004. p. 1-14.

FERREIRA, D. B.; MORETTI, R. S. **A contribuição de tecnologias de energia passiva para a eficiência energética e qualidade ambiental de escolas públicas: o caso do uso da luz natural em escolas de climas tropicais**. Arq.Urb. v. 11, p. 208, issn: 1984-5766, 2014.

GÓES, C. Escolas municipais cariocas: potencial de sustentabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010. p. 1-10.

GONÇALVES, O. M.; ILHA, M. S. O.; AMORIM, S. V.; PEDROSO, L. P. Indicadores de Uso Racional da Água para Escolas de Ensino Fundamental e Médio. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 63, jul./set. 2005.

GREEN BUILDING CHALLENGE - GBC. Green Building Challenge: evaluación medioambiental en los edificios. In: FORO ARCA - ARQUITECTURA Y CALIDAD DE VIDA: perspectivas de futuro, la práctica de la sostenibilidad en la Arquitectura y el Urbanismo, 2003, Barcelona. **Anales ...** Barcelona: CSCAE / COAC, 2003. 1 CD.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. Avaliação das condições de iluminação natural nas salas da Universidade Federal de Santa Catarina. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1997, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 1997. p. 183-188.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. Netuno 4. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.

GOOGLE. **Google Earth**. Versão 7.3.0. 2015. Nota (Florianópolis). Disponível em: <<https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 03 out. 2017.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <[www.ibge.com.br](http://www.ibge.com.br)>. Acesso em: 25 set. 2017.

ILHA, M. S. O.; PEDROSO, P. L.; YWASHIMA, L. A. Indicadores de consumo de água em escolas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2008 CD-ROM.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de Água Pluvial Para Fins Não Potáveis em Instituição de Ensino**: Estudo de Caso em Florianópolis (SC). Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MELO, N. A.; SALLA, M. R.; OLIVEIRA, F. R. G.; FRASSON, V. M. Consumo de água e percepção dos usuários sobre o uso racional de água em escolas estaduais do Triângulo Mineiro. **Ciência & Engenharia**, v. 2, p. 1-9, 2014.

NAKAGAWA, A. K. **Caracterização do consumo de água em prédios universitários**: O caso da UFBA. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Ênfase em Produção Limpa – MEPLIM) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES, O. M. Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios. São Paulo. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo, n. 247, 1999.

PIETROBON, C. E. ; LAMBERTS, Roberto ; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional do consumo elétrico final em edifícios escolares climatizados e suas variações com elementos arquitetônicos e paisagísticos de proteção solar. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador. **ANAIS**. Salvador : ANTAC, 1997. p. 364-366.

PEREIRA, F. O. R.; BOGO, A. J. Análise do Potencial de Conservação de Energia Elétrica Em Escolas Pela Utilização da Iluminação Natural. In: NUTAU 98: Arquitetura e Urbanismo: Tecnologias para o Século XXI, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: NUTAU 98, 1998, CD ROM.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Orientação técnica:** Aproveitamento de águas pluviais. Florianópolis, 2016. Disponível em: <[http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/05\\_12\\_2016\\_18.51.38.3e5b3013a01ef5980d1c45d3ad8c7bcc.pdf](http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/05_12_2016_18.51.38.3e5b3013a01ef5980d1c45d3ad8c7bcc.pdf)>. Acesso em: 24 out. 2017.

SANTOS, LCA. **Gestão da água em edificações públicas:** A experiência no prédio da empresa baiana de águas e saneamento S.A. – EMBASA. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Engenharia Ambiental Urbana – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

SOARES, A. E. P. **Análise do Consumo de Água em uma Escola Pública Estadual de Recife-PE.** Monografia de Bacharel em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Recife, PE. 2016.

SOARES, A. E. P.; NUNES, L. G. C. F.; SILVA, S. R. **Diagnóstico dos indicadores de consumo de água em escolas públicas de Recife-PE.** Fórum Ambiental da Alta Paulista, v.13, n.1. 2017.

SOUZA, A. P. A.; JOTA, P. R. S. Índices de Desempenho Energético para o Setor de Escolas Públicas – Estudo de Caso da Cidade de Itabira – MG. In: ENCONTRO

NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENTAC, p. 882-891, 2006.

TRISKA, Y. **Análise energética e financeira de estratégias para o uso racional de água em escola de Florianópolis.** Relatório (Iniciação Científica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

VERAS, A. A. **Eficiência energética nas escolas públicas do estado do Acre:** Estudo de caso da escola Glória Peres. Dissertação (Mestrado em Regularização da Indústria de Energia) – Departamento de Engenharia e Arquitetura – DEAR, Universidade Salvador – UNIFACS, Salvador, 2010.

WERNECK, G. A. M.; BASTOS, L. E. G. A água da chuva como fonte de recursos hídricos para as escolas de Barra do Piraí e os reflexos para o sistema municipal de abastecimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 06, 2006, Florianópolis. **ANAIS DO XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 06,** 2006.

YWASHIMA, L. A. **Avaliação do uso de água em edifícios escolares públicos e análise de viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. 312p.

YWASHIMA, L. A.; ILHA, M. S. O.; CRAVEIRO, S. G.; GONÇALVES, O. M. Método para Avaliação da Percepção dos Usuários para o Uso Racional de água em Escolas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENTAC, p. 3480-3489, 2006.

## **Apêndice**

**Apêndice A:** Tabelas com dados gerais, índices de consumo de água potável, índices de consumo de energia elétrica e consumos de energia elétrica por área construída das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis.

Apêndice A.1. Dados gerais das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis.

<b>Águas Mornas</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Coronel Antônio Lehmkuhl	377	M, V, N	EF, EM
2	EEB Cons. Manoel Philippi	299	M, V	EF, EM
<b>Angelina</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Nossa Senhora	348	M, V	EF, EM
2	EEF João Frederico Heck	51	M, V	EF, AF
3	EEB Norberto Teodoro de Melo	192	M, V, N	EF, EM, AF
<b>Anitápolis</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Altino Flores	271	M, V, N	EF, EM, EMI, AF
<b>Antônio Carlos</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Altamiro Guimarães	1307	M, V, N	EF, EM
<b>Biguaçu</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Cônego Rodolfo Machado	655	M, V	EF, EM
2	EEB Prefeito Avelino Muller	492	M, V	EF
3	EEB Prof. Alexandre Sérgio Godinho	538	M, V	EF
4	EEB Prof. José Brasília	683	M, V	EF
5	EEF Teófilo Teodoro Regis	117	M, V	EF
6	EEM Profª Maria da Glória V. de Faria	936	M, V, N	EM, EMI
7	EEB Profª Eloísa Maria Prazeres de Faria	889	M, V, N	EF, EM
8	EEB Emérita Duarte Silva e Souza	799	M, V, N	EF
9	EEB Profª Tânia Mara Faria e Silva Locks	942	M, V, N	EF, EM
10	EEB Joaquim João Cardoso	107	M, V	EF, AF
11	EEB Profª Maria de Lourdes Scherer	144	M, V	EF, AF
12	EEF Santo Antônio	180	M, V	EF, AF
13	EEF Areias de Cima	90	M, V	EF, AF
14	EIEF Wherá Tupã – Poty Djá	65	M, V	EF, EM
<b>Florianópolis</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Aderbal Ramos da Silva	855	M, V, N	EM
2	EEB América Dutra Machado	419	M, V	EF
3	EEM Pref. Acácio Garibaldi São Thiago	146	N	EM
4	EEM Antônio Paschoal Apóstolo	311	N	EM
5	EEB Prof. Aníbal Nunes Pires	451	M, V, N	EF, EM, EMI, Mag.
6	EEF Baldicero Filomeno	157	M, V	EF, AF
7	EEB Dom Jaime de Barros Câmara	447	M, V, N	EF, EM, EMI
8	EEB Edith Gama Ramos	578	M, V	EF
9	EEF General José Vieira da Rosa	195	M, V	EF, AF
10	EEB Getúlio Vargas	826	M, V, N	EF, EM, EMI, Mag.
11	EEB Prof. Henrique Stodieck	512	M, V, N	EF, EM

Apêndice A.1. Dados gerais das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis (continuação).

<b>Florianópolis</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
12	EEB Hilda Theodoro Vieira	303	M, V, N	EF
13	EEB Ildefonso Linhares	576	M, V, N	EF, EM
14	EEB Intendente José Fernandes	1839	M, V, N	EF, EM
15	EEB Irineu Bornhausen	468	M, V	EF
16	EEB Jornalista Jairo Callado	492	M, V	EF
17	EEB José Boiteux	468	M, V	EF
18	EEF Júlio da Costa Neves	851	M, V	EF, EM
19	EEB Jurema Cavalazzi	318	M, V	EF, EM
20	EEB Profª Laura Lima	963	07h45 às 21h50	EF, EM
21	EEB Lauro Muller	423	M, V, N	EF, EM
22	EEB Leonor de Barros	569	M, V, N	EF, EM
23	EEB De Muquem	841	M, V	EF
24	EEM Jacó Anderle	1603	M, V, N	EM
25	EEB Padre Anchieta	932	M, V, N	EF, EM
26	EEB Pero Vaz de Caminha	526	M, V	EF
27	EEB Porto do Rio Tavares	459	M, V	EF
28	EEB Presidente Roosevelt	393	M, V, N	EF, EM
29	EEB Rosa Torres de Miranda	436	M, V	EF
30	EEB Rosinha Campos	225	M, V	EF
31	EEB Tenente Almachio	946	M, V, N	EF, EM
32	EEF Severo Honorato da Costa	139	M, V	EF
33	EEB Simão José Hess	1023	M, V, N	EF, EM
34	EEB Januária Teixeira da Rocha	140	M, V	EF, AI
<b>Governador Celso Ramos</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Profª Maria Amália Cardoso	114	N	EM, EF
2	EEB Dr. Aderbal Ramos da Silva	459	M, V, N	EF, EM
<b>Palhoça</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Gov. Ivo Silveira	1523	M, V, N	EM, Mag.
2	EEB Irmã Maria Teresa	1343	M, V, N	EM
3	EEB João Silveira	1288	M, V, N	EF, EM
4	EEB José Maria Cardoso da Veiga	703	M, V, N	EF, EM, EMI
5	EEB Padre Vicente Ferreira Cordeiro	789	M, V, N	EF, EM
6	EEB Gov. Pedro Ivo F. de Campos	452	M, V	EF
7	EEB Henrique Estefano Koerich	1051	M, V	EF
8	EEB Profª Claudete Maria H. Domingos	620	M, V	EF
9	EEB Profª Maria do Carmo Souza	924	M, V, N	EF, EM
10	EEB Profª Ursulina Senna de Castro	1011	M, V	EF, EM
11	EEB Nicolina Tancredo	754	M, V, N	EF, EM
12	EIEF Itaty	50	M, V, N	EF, EM (EJA)
13	EEB Prof. Benonívio João Martins	1056	M, V, N	EF, EM
14	EEB Senador Renato Ramos da Silva	1122	M, V	EF

Apêndice A.1. Dados gerais das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis (continuação).

<b>Palhoça</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
15	EEF Venceslau Bueno	1418	M, V	EF
16	EEB Vicente Silveira	854	M, V	EF
17	EEF Maria Clementina de Souza Lopes	570	M, V	EF
<b>Rancho Queimado</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Marilda Lênia Araújo	190	M, V, N	EF, EM
2	EEB Roberto Schutz	111	M, V	EF
<b>Santo Amaro da Imperatriz</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Prof. Silveira de Matos	433	M, V, N	EF, EM, Mag.
2	EEB Nereu Ramos	592	M, V, N	EF, EM, EMI
3	EEB Anísio Vicente de Freitas	415	M, V, N	EF, EM
4	EEB Profª Zulma Becker	347	M, V	EF
<b>São Pedro de Alcântara</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Gama Rosa	451	M, V, N	EF, EM
<b>São José</b>				
<b>Nº</b>	<b>Unidade escolar</b>	<b>Alunos</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Ensino</b>
1	EEB Bela Vista	188	M, V	EM, EMI
2	EEB Cecília Rosa Lopes	638	M, V, N	EM, EMI
3	EEB Francisco Tolentino	760	M, V	EF, EM
4	EEB Pres. Juscelino Kubitschek	1187	M, V, N	EF, EM
5	EEB Nossa Senhora da Conceição	879	M, V	EF, EM
6	EEB Prof Maria José Barbosa Vieira	887	M, V, N	EM
7	EEB Prof. Joaquim Santiago	443	M, V, N	EF, EM
8	EEB Prof. Laércio Caldeira de Andrada	817	M, V, N	EF, EM, EMI
9	EEB Wanderley Jr.	1356	M, V, N	EM, EMI, Mag.
10	EEB Aldo Câmara da Silva	493	M, V	EF
11	EEF José Matias Zimmermman	613	M, V, N	EF, EM
12	EEF Cristo Rei	428	M, V	EF
13	EEF Dr. Homero de Miranda Gomes	354	M, V	EF
14	EEB Profª Laurita Dutra de Souza	711	M, V	EF
15	EEB Profª Maria do Carmo Lopes	861	M, V, N	EF, EM
16	EEF Profª Marcília de Oliveira	730	M, V	EF
17	EEB Prof. Américo Vespúcio Prates	361	M, V	EF
18	EEF Prof. Oswaldo Rodrigues Cabral	536	M, V	EF
19	EEF São Miguel	443	M, V	EF

Funcionamento: M - Matutino, V - Vespertino, N - Noturno. Cada turno possui 4 horas.  
 Ensino: EF - Ensino Fundamental, EM - Ensino Médio, EMI – Ensino Médio Inovador ,  
 AF - Anos Finais, AI - Anos Iniciais, Mag. - Magistério, EJA - Educação de Jovens e Adultos.

Apêndice A.2. Índices de consumo de água potável das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis.

Nº	Escola	Índice de consumo (litros/aluno.dia)	Alunos	Consumo Total Janeiro 2016 - Maio 2017 (m³)
1	EEB Aderbal Ramos da Silva	35,42	855	11145
2	EEB Dayse Werner Salles	30,06	142	1571
3	EEB São Tarcísio	25,15	299	2767
4	EEB América Dutra Machado	24,77	419	3819
5	EEB José Boiteux	22,40	468	3858
6	EEB Getúlio Vargas	18,38	826	5586
7	EEB Anísio Vicente de Freitas	17,44	415	2664
8	EEB Prof. Aníbal Nunes Pires	17,13	451	2843
9	EEB Prof. Alexandre Sérgio Godinho	13,52	538	2677
10	EEB Jurema Cavalazzi	13,33	318	1560
11	EEB Bela Vista	13,14	188	909
12	EEB Januária Teixeira da Rocha	12,77	140	658
13	EEB Roberto Schutz	12,51	111	511
14	EEB Marilda Lênia Araújo	12,39	190	866
15	EEB Profª Zulma Becker	11,89	347	1518
16	EEB Prof. Joaquim Santiago	11,76	443	1917
17	EEB Profª Maria José Barbosa Vieira	10,75	887	3509
18	EEB Jornalista Jairo Callado	10,62	492	1922
19	EEB Prof. Laércio Caldeira de Andrada	9,17	817	2756
20	EEB Simão José Hess	9,12	1023	3434
21	EEB Irineu Bornhausen	9,08	468	1563
22	EEB Nereu Ramos	8,70	592	1896
23	EEF Santo Antônio	8,70	180	576
24	EEB Padre Anchieta	7,96	932	2731
25	EEB Joaquim João Cardoso	7,77	107	306
26	EEB Profª Tânia Mara Faria e Silva Locks	7,75	942	2685
27	EEB Nossa Senhora da Conceição	7,57	879	2450
28	EEB Francisco Tolentino	7,10	760	1986
29	EEB Pero Vaz de Caminha	7,05	526	1364
30	EEB Prof. José Brasília	6,89	683	1732
31	EEB Presidente Roosevelt	6,78	393	981
32	EEB Profª Maria do Carmo Lopes	6,68	861	2117
33	EEB Aldo Câmara da Silva	6,05	493	1098
34	EEB Lauro Muller	5,93	423	923
35	EEB Dr. Aderbal Ramos da Silva	5,90	459	996
36	EEB Prof. Silveira de Matos	5,87	433	936
37	EEB Profª Maria de Lourdes Scherer	5,36	144	284
38	EEB Coronel Antônio Lehmkuhl	5,35	377	742
39	EEB Rosa Torres de Miranda	5,25	436	842
40	EEM Jacó Anderle	5,17	1603	3050
41	EEB Prefeito Avelino Muller	4,61	492	834

Apêndice A.2. Índices de consumo de água potável das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis (continuação).

<b>Nº</b>	<b>Escola</b>	<b>Índice de consumo (litros/aluno.dia)</b>	<b>Alunos</b>	<b>Consumo Total Janeiro 2016 - Maio 2017 (m³)</b>
42	EEB Pres. Juscelino Kubitschek	4,60	1187	2010
43	EEB Prof. Henrique Stodieck	4,44	512	837
44	EEF Profª Marcília de Oliveira	4,33	730	1163
45	EEB Cecília Rosa Lopes	4,31	638	1012
46	EEB De Muquem	4,13	841	1277
47	EEM Profª Maria da Glória Viríssimo de Faria	4,12	936	1419
48	EEF Prof. Oswaldo Rodrigues Cabral	3,99	536	787
49	EEB Profª Eloísa Maria Prazeres de Faria	3,99	889	1304
50	EEB Cons. Manoel Philippi	3,87	299	426
51	EEB Intendente José Fernandes	3,83	1839	2595
52	EEF Baldicero Filomeno	3,60	157	208
53	EEB Emérita Duarte Silva e Souza	3,56	799	1047
54	EEB Profª Laurita Dutra de Souza	3,47	711	908
55	EEB Profª Laura Lima	3,34	963	1185
56	EEB Prof. Valdete Luci Martins Porto	3,16	404	470
57	EEB Ildefonso Linhares	3,12	576	661
58	EEB Altamiro Guimarães	3,02	1307	1454
59	EEB Wanderley Jr.	2,86	1356	1427
60	EEB Hilda Theodoro Vieira	2,22	303	248
61	EEB João Gonçalves Pinheiro	1,47	878	476
62	EEB Edith Gama Ramos	0,81	578	173

Apêndice A.3. Índices de consumo de energia elétrica das escolas públicas estaduais da  
Região Metropolitana de Florianópolis.

Nº	Escola	Índice de consumo (kWh/aluno.mês)	Alunos	Consumo Total Janeiro 2016 - Maio 2017 (kWh)
1	EIEF Itaty	66,47	50	52273
2	EEF João Frederico Heck	25,32	51	20308
3	EEM Prof. Acácio Garibaldi São Thiago	22,88	146	52532
4	EEB Norberto Teodoro de Melo	19,63	192	59277
5	EEB Prof. Aníbal Nunes Pires	15,09	451	107024
6	EEB Nereu Ramos	13,26	592	123442
7	EEB Presidente Roosevelt	11,97	393	73990
8	EEB Profª Maria José Barbosa Vieira	10,54	887	147047
9	EEB América Dutra Machado	10,19	419	67130
10	EEB Gama Rosa	9,82	451	69623
11	EEF Areias de Cima	8,28	90	11724
12	EEB Irineu Bornhausen	8,08	468	59450
13	EEB Rosinha Campos	8,02	225	28390
14	EIEF Wherá Tupã – Poty Djá	7,94	65	8112
15	EEB Altino Flores	7,79	271	33219
16	EEB Rosa Torres de Miranda	7,47	436	51190
17	EEB Marilda Lênia Araújo	7,39	190	22090
18	EEB Hilda Theodoro Vieira	7,16	303	34120
19	EEB Roberto Schutz	6,92	111	12075
20	EEB Getúlio Vargas	6,91	826	89792
21	EEB Prof. Laércio Caldeira de Andrada	6,60	817	84827
22	EEB Anísio Vicente de Freitas	6,56	415	42828
23	EEB Aderbal Ramos da Silva	6,08	855	81715
24	EEF Venceslau Bueno	6,04	1418	134746
25	EEB Edith Gama Ramos	5,99	578	54474
26	EEB Prof. Américo Vespúcio Prates	5,86	361	33260
27	EEB Prof. Henrique Stodieck	5,81	512	46748
28	EEM Antônio Paschoal Apóstolo	5,78	311	28274
29	EEB Cons. Manoel Philippi	5,74	299	26981
30	EEB Joaquim João Cardoso	5,57	107	9379
31	EEB Irmã Maria Teresa	5,43	1343	114656
32	EEM Jacó Anderle	5,42	1603	136569
33	EEB Altamiro Guimarães	5,37	1307	110342
34	EEB Padre Anchieta	5,35	932	78481
35	EEB Profª Maria de Lourdes Scherer	5,34	144	12097
36	EEB Profª Zulma Becker	5,28	347	28840
37	EEB Prof. Silveira de Matos	5,22	433	35532
38	EEB Prof. José Brasília	5,20	683	55881
39	EEB Bela Vista	5,14	188	15210
40	EEB Wanderley Jr.	5,14	1356	109661
41	EEB Januária Teixeira da Rocha	5,11	140	11252
42	EEB Dr. Aderbal Ramos da Silva	5,08	459	36668

Apêndice A.3. Índices de consumo de energia elétrica das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis (continuação).

Nº	Escola	Índice de consumo (kWh/aluno.mês)	Alunos	Consumo Total Janeiro 2016 - Maio 2017 (kWh)
43	EEF Baldicero Filomeno	5,07	157	12520
44	EEB De Muquem	4,98	841	65876
45	EEF Júlio da Costa Neves	4,97	851	66536
46	EEB Profª Laura Lima	4,94	963	74868
47	EEB José Maria Cardoso da Veiga	4,94	703	54635
48	EEB Francisco Tolentino	4,89	760	58457
49	EEB José Boiteux	4,87	468	35811
50	EEB Nossa Senhora da Conceição	4,85	879	67115
51	EEB Ildefonso Linhares	4,80	576	43469
52	EEM Profª Maria da Glória Viríssimo de Faria	4,75	936	69997
53	EEB Prof. Joaquim Santiago	4,74	443	33018
54	EEF Cristo Rei	4,74	428	31900
55	EEB Profª Maria do Carmo Lopes	4,69	861	63490
56	EEB Jornalista Jairo Callado	4,55	492	35210
57	EEF Severo Honorato da Costa	4,55	139	9943
58	EEF Dr. Homero de Miranda Gomes	4,54	354	25262
59	EEB Leonor de Barros	4,52	569	40479
60	EEB Aldo Câmara da Silva	4,51	493	34998
61	EEF Prof. Oswaldo Rodrigues Cabral	4,46	536	37634
62	EEB Dom Jaime de Barros Câmara	4,43	447	31160
63	EEB Prof. Alexandre Sérgio Godinho	4,31	538	36446
64	EEB Prefeito Avelino Muller	4,30	492	33260
65	EEB Gov. Pedro Ivo Figueiredo de Campos	4,21	452	29955
66	EEB Nossa Senhora	4,21	348	23050
67	EEF São Miguel	4,16	443	28990
68	EEF Teófilo Teodoro Regis	4,06	117	7474
69	EEB Coronel Antônio Lehmkuhl	4,02	377	23850
70	EEB Nicolina Tancredo	3,92	754	46450
71	EEB Cecília Rosa Lopes	3,85	638	38629
72	EEB Lauro Muller	3,75	423	24950
73	EEB Gov. Ivo Silveira	3,66	1523	87744
74	EEB Cônego Rodolfo Machado	3,59	655	37009
75	EEB Vicente Silveira	3,45	854	46337
76	EEF Santo Antônio	3,41	180	9667
77	EEB João Silveira	3,35	1288	67803
78	EEB Pero Vaz de Caminha	3,20	526	26500
79	EEB Profª Eloísa Maria Prazeres de Faria	3,17	889	44340
80	EEB Profª Tânia Mara Faria e Silva Locks	3,13	942	46336
81	EEB Profª Claudete Maria Hoffmann Domingos	2,95	620	28720
82	EEB Senador Renato Ramos da Silva	2,91	1122	51430
83	EEB Porto do Rio Tavares	2,87	459	20715
84	EEB Intendente José Fernandes	2,86	1839	82730

Apêndice A.3. Índices de consumo de energia elétrica das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis (continuação).

Nº	Escola	Índice de consumo (kWh/aluno.mês)	Alunos	Consumo Total Janeiro 2016 - Maio 2017 (kWh)
85	EEF Maria Clementina de Souza Lopes	2,85	570	25519
86	EEB Pres. Juscelino Kubitschek	2,83	1187	52890
87	EEB Profª Maria do Carmo Souza	2,79	924	40576
88	EEF General José Vieira da Rosa	2,78	195	8511
89	EEB Henrique Estefano Koerich	2,74	1051	45290
90	EEB Prof. Benonívio João Martins	2,63	1056	43680
91	EEB Emérita Duarte Silva e Souza	2,58	799	32420
92	EEF Profª Marcília de Oliveira	2,57	730	29520
93	EEF José Matias Zimmermman	2,26	613	21790
94	EEB Simão José Hess	2,22	1023	35790
95	EEB Profª Ursulina Senna de Castro	2,12	1011	33730
96	EEB Profª Laurita Dutra de Souza	1,24	711	13810
97	EEB Profª Maria Amália Cardoso	0,89	114	1600
98	EEB Tenente Almachio	0,54	946	8000
99	EEB Jurema Cavalazzi	0,32	318	1600
100	EEB Padre Vicente Ferreira Cordeiro	0,31	789	3881

Apêndice A.4. Consumo de energia elétrica por área construída das escolas públicas estaduais da Região Metropolitana de Florianópolis.

Nº	Escola	Consumo de energia por área construída (kWh/m².mês)	Área Construída (m²)	Consumo Total Janeiro 2016 - Maio 2017 (kWh)
1	EEF Júlio da Costa Neves	7,20	587,50	66536
2	EEF Baldicero Filomeno	4,90	162,30	12520
3	EEB Intendente José Fernandes	4,11	1.281,00	82730
4	EEB Januária Teixeira da Rocha	3,65	195,91	11252
5	EEM Jacó Anderle	2,51	3.460,00	136569
6	EEB Getúlio Vargas	2,48	2.301,41	89792
7	EEB Profª Laura Lima	2,41	1.973,00	74868
8	EEB Edith Gama Ramos	2,26	1.530,00	54474
9	EEB Jornalista Jairo Callado	1,96	1.141,82	35210
10	EEB Rosinha Campos	1,92	941,00	28390
11	EEB De Muquem	1,90	2.207,38	65876
12	EEB Presidente Roosevelt	1,79	2.635,00	73990
13	EEB Ildefonso Linhares	1,78	1.550,00	43469
14	EEB Irineu Bornhausen	1,76	2.150,39	59450
15	EEB Aderbal Ramos da Silva	1,52	3.425,00	81715
16	EEF General José Vieira da Rosa	1,42	381,78	8511
17	EEB José Boiteux	1,36	1.669,00	35811
18	EEB América Dutra Machado	1,28	3.334,54	67130
19	EEB Prof. Henrique Stodieck	1,27	2.340,00	46748
20	EEB Padre Anchieta	1,26	3.965,04	78481
21	EEB Hilda Theodoro Vieira	1,22	1.782,63	34120
22	EEB Prof. Aníbal Nunes Pires	1,21	5.634,92	107024
23	EEB Rosa Torres de Miranda	1,18	2.764,00	51190
24	EEB Pero Vaz de Caminha	1,17	1.437,00	26500
25	EEB Porto do Rio Tavares	1,16	1.134,00	20715
26	EEB Leonor de Barros	1,03	2.490,74	40479
27	EEB Simão José Hess	0,71	3.195,00	35790
28	EEB Dom Jaime de Barros Câmara	0,70	2.829,00	31160
29	EEB Lauro Muller	0,70	2.277,00	24950
30	EEF Severo Honorato da Costa	0,63	1.009,73	9943
31	EEB Tenente Almachio	0,33	1.520,02	8000
32	EEB Jurema Cavalazzi	0,16	640,00	1600