



FUNDAÇÃO
UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
MATO GROSSO DO SUL

FACULDADE DE ENGENHARIAS,
ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA

MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Metodologia de Diagnósticos Energéticos e Análises de
Cenários como Estudos Preliminares para Transformar a
Escola Jatobazinho em uma Vila Inteligente (*Smart Village*)**

Juliana Oliveira Montemor

Campo Grande MS
18 de novembro de 2019



FUNDAÇÃO
UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
MATO GROSSO DO SUL

FACULDADE DE ENGENHARIAS,
ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA

MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Metodologia de Diagnósticos Energéticos e Análises de Cenários como Estudos Preliminares para Transformar a Escola Jatobazinho em uma Vila Inteligente (*Smart Village*)

Juliana Oliveira Montemor

Orientador: Prof. Dr. Luigi Galotto Junior

Dissertação apresentada à Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Engenharia Elétrica.

Campo Grande MS
18 de novembro de 2019

Metodologia de Diagnósticos Energéticos e Análises de Cenários como Estudos Preliminares para Transformar a Escola Jatobazinho em uma Vila Inteligente (*Smart Village*)

Dissertação apresentada à Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, para obtenção do título de Mestra em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luigi Galotto Junior
Orientador

Prof. Dr. João Onofre Pereira Pinto

Prof. Dr. Guilherme de Azevedo e Melo

Campo Grande MS
18 de novembro de 2019

A minha família,

Ofereço.

A Deus,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela oportunidade de concluir mais uma etapa e por estar ao meu lado em todos os momentos de dificuldade.

Agradeço aos meus familiares pelo amor incondicional, motivação, apoio, por sempre acreditarem na realização dos meus sonhos e principalmente por compreenderem minha ausência.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luigi Galotto Junior pelo conhecimento transmitido, paciência e incentivo para a realização deste trabalho; ao Prof. Dr João Onofre Pereira Pinto pelas dicas, contribuição na escolha do projeto e pelo intermédio feito com representantes da Escola e ao Prof. Dr. Ruben Barros Godoy por ter aceitado fazer parte dessa pesquisa.

A toda equipe da Escola Jatobazinho por ter permitido a realização do projeto no local e por sua hospitalidade extraordinária em todos os momentos de visitação.

Aos colegas de mestrado, em especial, Marco Aurélio Duarte Alves e Guilherme Anderson Bragança Fernandes, aos professores e a toda equipe do laboratório de pesquisa BATLAB pela troca de conhecimento e por contribuir de alguma forma com minha formação.

RESUMO

Este trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia de diagnóstico para permitir a realização de estudos de viabilidade técnica e econômica de ações de eficiência energética, automatização e suprimento de energia. Esta metodologia foi aplicada utilizando a Escola Jatobazinho, na região do Pantanal, como estudo de caso para desenvolver um modelo de diagnóstico através de informações, regressão linear simples e dados obtidos no local. Foram realizadas visitas, nas quais foram feitos levantamentos de cargas e dos hábitos de consumo para reproduzir as condições atuais de consumo de energia, água e combustível no local. Também foram instalados medidores de energia elétrica para a obtenção dos dados reais de consumo e demanda a cada 1 minuto durante 20 dias em diferentes blocos simultaneamente. Estes dados permitiram a validação e o ajuste do modelo para que fique mais coerente com a realidade. Posteriormente, o modelo criado é utilizado como base para criação e comparação de diferentes cenários que propõem mudanças no consumo e na produção de energia buscando minimizar o uso de geradores e o gasto com diesel. Assim, com base na previsão dos impactos e dos investimentos necessários às mudanças, são realizadas as análises de viabilidade técnica e econômica para cada cenário a fim de possibilitar a melhor escolha diante da realidade no local.

Palavras-Chave: Cenários, Energia, Estudo de viabilidade econômica, Estudo de viabilidade técnica, Modelo de diagnóstico.

ABSTRACT

This work consists in the development of a diagnostic methodology to allow the realization of technical and economic feasibility studies of actions of energy efficiency, automation and energy supply. This methodology was applied using the Jatobazinho School, in the region of Pantanal, as a case study to develop a diagnosis model through information, simple linear progression and data obtained in the place. Visits where were done surveys of loads that reproduce the current consumption conditions of energy, water and fuel in the place. Also, electric energy meters were installed to obtain the actual consumption and demand data every 1 minute for 20 days in different blocks simultaneously. This data allowed the validation and adjustment of the model to be more consistent with reality. Subsequently, the model created is used as the basis for creating and comparing different scenarios that propose changes in energy consumption and energy production in order to minimize the use of generators and diesel expenses. Thus, based on prediction of the impacts and investments required for the changes, technical and economic feasibility analyzes are carried out for each scenario in order to allow the best choice from the reality in the place.

Keywords: Diagnostic model, Economic feasibility study, Energy, Scenarios, Technical feasibility study.

LISTA DE FIGURAS

<i>Número</i>		<i>Página</i>
Figura 2.1	Escola Municipal Rural - Extensão Jatobazinho.	20
Figura 2.2	Geradores a diesel.	20
Figura 2.3	Tratamento de água do local.....	21
Figura 2.4	Medidor de energia RMS.	25
Figura 2.5	Medidor de energia RMS instalado no Bloco 16.	26
Figura 2.6	Curva de carga estimada da Escola Jatobazinho – suprido pela geração a diesel.	27
Figura 2.7	Consumo de energia elétrica (kWh) percentual por carga – suprido pela geração a diesel.	28
Figura 2.8	Curva de carga estimada da Escola Jatobazinho – suprida pela geração fotovoltaica.	28
Figura 2.9	Consumo de energia elétrica (kWh) percentual por carga – suprido pela geração fotovoltaica.	29
Figura 2.10	Percentual gerado (kWh) estimado por cada fonte de energia.....	30
Figura 2.11	Curva de consumo (litros/hora) de óleo diesel estimado por geradores no período lido	31
Figura 2.12	Curvas de cargas do bloco 4 – Dormitório dos coordenadores.....	32
Figura 2.13	Curvas de cargas do bloco 5 – Dormitório dos professores.....	33
Figura 2.14	Curvas de cargas do bloco 7 – Restaurante, dormitório e lavanderia – Medição do restaurante e dormitório.....	34
Figura 2.15	Curvas de cargas do bloco 7 – Restaurante, dormitório e lavanderia – Medição da lavanderia.....	35
Figura 2.16	Curvas de cargas do bloco 10 – Dormitório dos operacionais.	36

Figura 2.17	Curvas de cargas do bloco 12 – Dormitório das meninas.	37
Figura 2.18	Curvas de cargas do bloco 16 – Tratamento de água.	38
Figura 2.19	Curvas de cargas total da Escola Jatobazinho – supridas pela geração a óleo diesel.	39
Figura 2.20	Curvas de cargas dos blocos não medidos – supridas pela geração a óleo diesel.	40
Figura 2.21	Curvas de cargas do bloco 6 – Administração.	41
Figura 2.22	Diagrama da metodologia utilizada para a análise de cenários.	43
Figura 3.1	Curvas de cargas do modelo original e do cenário 1 – Troca de lâmpadas.	48
Figura 3.2	Consumo de diesel do modelo original e do cenário 1 - Troca de lâmpadas.	49
Figura 3.3	Valores acumulados para o cenário 1 - Troca de lâmpadas.....	50
Figura 3.4	Curvas de cargas do modelo original e do cenário 2 – Tratamento de água suprido pela alimentação solar.	52
Figura 3.5	Consumo de diesel do modelo original e do cenário 2 - Tratamento de água suprido pela alimentação solar.	53
Figura 3.6	Valores acumulados para o cenário 2 - Tratamento de água suprido pela alimentação solar.	54
Figura 3.7	Curvas de cargas do modelo original e do cenário 3 – Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.	55
Figura 3.8	Consumo de diesel do modelo original e do cenário 3 - Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.....	56
Figura 3.9	Curva de potência solar, curva de demanda do cenário 3 e curva do armazenador.	57
Figura 3.10	Valores acumulados para o cenário 3 - Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.....	58

Figura 3.11	Curva de potência solar, curva de demanda do cenário 4 e curva do armazenador estimadas.....	59
Figura 3.12	Valores acumulados para o cenário 4 - Escola toda alimentada por um sistema 100% fotovoltaico.	60
Figura 3.13	Curva de demanda da Escola e curva da geração hidrocínética – cenário 5.	61
Figura 3.14	Valores acumulados para o cenário 5 - Escola toda alimentada por um sistema 100% hidrocínético.	62
Figura 3.15	Curva de demanda da Escola e da microgrid (geração hidrocínética + diesel) – cenário 6.	63
Figura 3.16	Valores acumulados para o cenário 6 - Escola alimentada por uma microgrid (geração hidrocínética + diesel).....	64
Figura 3.17	Curva de demanda da Escola e da microgrid (geração fotovoltaica + diesel) – cenário 7.	65
Figura 3.18	Valores acumulados para o cenário 7 - Escola alimentada por uma microgrid (geração fotovoltaica + diesel).	66
Figura 3.19	Curva de demanda da Escola e da microgrid (geração fotovoltaica + hidrocínética + diesel) – cenário 8.....	67
Figura 3.20	Valores acumulados para o cenário 8 - Escola alimentada por uma microgrid (geração fotovoltaica + hidrocínética + diesel).	68

LISTA DE TABELAS

<i>Número</i>		<i>Página</i>
Tabela 2.1.	Tabela de cargas e seus respectivos blocos.	22
Tabela 2.2.	Grupo geradores a diesel no local.	24
Tabela 2.3.	Escala de funcionamento dos grupos geradores.	24
Tabela 2.4.	Sistema fotovoltaico existentes no local.	25
Tabela 2.5.	Energia estimada mensal consumida (kWh) por bloco.	29
Tabela 2.6.	Consumo mensal estimado de energia elétrica, óleo diesel e custo.	30
Tabela 2.7.	Potência (kW) medida e estimada, erro e desvio padrão.	42
Tabela 3.1.	E.V.T. do cenário 1 - Troca de lâmpadas.	49
Tabela 3.2.	E.V.E. do cenário 1 - Troca de lâmpadas.	50
Tabela 3.3.	E.V.T. do cenário 2 - Tratamento de água suprido por alimentação solar. .	53
Tabela 3.4.	E.V.E. do cenário 2 - Tratamento de água suprido por alimentação solar. .	54
Tabela 3.5.	E.V.T do cenário 3 - Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.	56
Tabela 3.6.	E.V.E. cenário 3 - Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.	57
Tabela 3.7.	E.V.T. cenário 4 - Escola toda alimentada por um sistema 100% fotovoltaico. ...	59
Tabela 3.8.	E.V.E. cenário 4 - Escola toda alimentada por um Sistema 100% fotovoltaico. ...	60
Tabela 3.9.	E.V.T. cenário 5 - Escola toda alimentada por um sistema 100% hidrocínético.	61
Tabela 3.10.	E.V.E. cenário 5 - Escola toda alimentada por um sistema 100% hidrocínético.	62

Tabela 3.11. E.V.T. cenário 6 - Escola alimentada por uma <i>microgrid</i> (geração hidrocínética + diesel).....	63
Tabela 3.12. E.V.E. cenário 6 - Escola alimentada por uma <i>microgrid</i> (geração hidrocínética + diesel).....	64
Tabela 3.13. E.V.T. cenário 7 - Escola alimentada por uma <i>microgrid</i> (geração fotovoltaica + diesel).....	65
Tabela 3.14. E.V.E. cenário 7 - Escola alimentada por uma <i>microgrid</i> (geração fotovoltaica + diesel).....	66
Tabela 3.15. E.V.T. cenário 8 - Escola alimentada por uma <i>microgrid</i> (geração fotovoltaica + hidrocínética + diesel).....	67
Tabela 3.16. E.V.E. cenário 8 - Escola alimentada por uma <i>microgrid</i> (geração fotovoltaica + hidrocínética + diesel).....	68
Tabela 3.17. E.V.T. mensal de todos os cenários.	69
Tabela 3.18. E.V.E. mensal de todos os cenários.	70
Tabela 3.19. E.V.T.E. de todos os cenários.....	71

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Sigla</i>	<i>Significado</i>
<i>IEEE</i>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers.</i>
CC	Corrente Contínua.
E.V.T.	Estudo de viabilidade técnica.
E.V.E.	Estudo de viabilidade econômica.
E.V.T.E.	Estudo de viabilidade técnica e econômica.
<i>LED</i>	<i>Light Emitting Diode.</i>
TIR	Taxa interna de retorno.
VPL	Valor presente líquido.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia.
CDI	Certificado de Depósito Interbancário.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Contextualização do Problema	13
1.2. Justificativa para o Desenvolvimento do Trabalho	14
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo Geral.....	15
1.3.2. Objetivos Específicos.....	15
1.4. Revisão Bibliográfica	16
1.5. Organização do Trabalho.....	17
2. Metodologia e Desenvolvimento	19
2.1. Estudo de Caso – A Escola Jatobazinho	19
2.2. Visitas Técnicas	21
2.3. Proposta de Modelo para Diagnóstico Energético	26
2.4. Comparação: Estimativa X Medições obtidas	31
2.5. Metodologia de Análise de Cenários	42
2.6. Conclusão do Desenvolvimento	46
3. Resultados	47
3.1. CENÁRIO 1 – Troca das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de <i>LED</i>	47
3.2. CENÁRIO 2 – Tratamento de água suprido por um sistema fotovoltaico sem armazenamento de energia	51
3.3. CENÁRIO 3 – Câmaras frias, lavanderia e bebedouro alimentados por um sistema fotovoltaico com armazenadores de energia	55
3.4. CENÁRIO 4 – Escola Jatobazinho alimentada por um Sistema 100% fotovoltaico com armazenadores de energia.....	58
3.5. CENÁRIO 5 – Escola Jatobazinho alimentada por um Sistema 100% hidrocínético	60
3.6. CENÁRIO 6 – Escola Jatobazinho alimentada por uma <i>microgrid</i> (sistema hidrocínético + gerador a óleo diesel)	62
3.7. CENÁRIO 7 – Escola Jatobazinho alimentada por uma <i>microgrid</i> (sistema fotovoltaico + gerador a óleo diesel)	64
3.8. CENÁRIO 8 – Escola Jatobazinho alimentada por uma <i>microgrid</i> (sistema hidrocínético + sistema fotovoltaico + gerador a óleo diesel)	66
3.9. Comparação entre os Cenários.....	68

3.10. Conclusão do Capítulo de Resultados	71
4. Conclusões Gerais	73
5. Referências	75

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a visão geral deste trabalho, a partir da explicação do problema e as motivações que levaram à escolha do tema, bem como uma breve revisão bibliográfica sobre trabalhos semelhantes no mundo. Finalizando com a definição clara dos objetivos e organização do trabalho.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Apesar de estar acessível à maioria da população mundial, ainda existem muitos locais onde a energia elétrica continua inacessível. De acordo com a ONU, apesar de todos os avanços científicos da humanidade, 1,5 bilhão de pessoas ainda vivem sem energia elétrica no mundo até 2015 [1]. A ausência da energia elétrica causa diversos problemas como a impossibilidade de estudar à noite, a dificuldade de acesso à informação, o desperdício de comida por falta de geladeira, entre outros. Esta ausência ocorre principalmente em áreas remotas, onde geralmente é economicamente inviável fornecer eletricidade através da implantação e manutenção de um sistema de transmissão e distribuição. Por outro lado, grupos geradores como alternativas também possuem alto custo de instalação, manutenção e de combustíveis (normalmente óleo diesel), o que leva ao uso restrito desta opção.

Além do aspecto econômico, o fornecimento de energia elétrica também causa impactos ambientais, seja pelo desmatamento necessário à construção de um sistema de transmissão e distribuição, pela queima de combustíveis fósseis ou pela emissão de gases tóxicos, como monóxido e dióxido de carbono, compostos de enxofre e particulados. Além dos problemas causados ao meio ambiente, como alterações climáticas na fauna e na flora, a saúde humana também pode ser afetada, como descrito em:

A poluição do ar pode resultar em asma, doença pulmonar obstrutiva crônica e câncer de pulmão. A exposição prolongada pode aumentar as infecções respiratórias na população em geral. As crianças e os

idosos são mais vulneráveis a partículas finas e outras substâncias tóxicas no ar [2].

Em nível regional, o Estado de Mato Grosso do Sul também possui comunidades em área isoladas, com dificuldade de acesso, sem rede elétrica ou mesmo sinal de telefonia móvel, como na região do Pantanal, onde o acesso às comunidades ribeirinhas normalmente é feito de barco e a principal opção disponível para energia elétrica é através de grupos geradores a diesel. No aspecto ambiental, o Pantanal é a maior planície alagada do mundo e considerada pela UNESCO Patrimônio Natural Mundial, com enorme biodiversidade e riquezas naturais. Portanto, todas as formas de produção de energia neste local precisam ser cuidadosamente projetadas do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

Neste trabalho, será utilizado o caso da escola Jatobazinho, que atende às comunidades ribeirinhas na região do Pantanal, como exemplo para a aplicação das análises propostas para a utilização e principalmente o abastecimento da energia elétrica. Esta escola atualmente utiliza energia elétrica a partir de grupos geradores abastecidos por óleo diesel, também transportado por barco. Apesar de ter um bloco totalmente alimentado por energia solar fotovoltaica, ainda é uma parcela pequena comparado à demanda energética total da escola, visto que a maioria desta demanda é predominantemente para fins essenciais, sendo refrigeração de alimentos, tratamento de água para consumo e lavanderia. O seu uso é bem controlado com escala de funcionamento dos grupos geradores em horários específicos, ou seja, a energia elétrica não está sempre disponível. É feita uma apresentação mais detalhada desta escola e de suas características com diversas informações e medições realizadas no local, com o objetivo de analisar e propor cenários para a melhoria das condições atuais.

1.2. JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este trabalho se justifica devido à existência de tecnologias para o aproveitamento de fontes renováveis de energia elétrica juntamente com a existência atual de comunidades em áreas isoladas ainda com dificuldades para o abastecimento de energia elétrica. Desta forma é possível contribuir reduzindo todos os aspectos possíveis que impeçam a aplicação destas soluções aos problemas apresentados.

A disponibilidade de tecnologias mais avançadas de comunicação e processamento de dados também viabiliza maior inteligência em diversas aplicações da sociedade, como no trânsito (*smart transit*), nas cidades (*smart cities*), nas redes elétricas (*smart grids*) e também em pequenas comunidades (*smart villages*). Este conceito de *smart village* aplicado em uma comunidade isolada também pode entrar em conjunto com as fontes renováveis de modo a tornar mais eficiente o uso dos recursos e aumentar a viabilidade da aplicação.

Além dos aspectos tecnológicos, este trabalho também foi motivado por interesse social, em auxiliar as comunidades que se encontram em locais isolados e sem rede de distribuição de energia elétrica como é o caso da Escola Jatobazinho.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia de diagnóstico energético para avaliar a viabilidade de utilização de tecnologias para o abastecimento de energia e água, automatização como *smart village* e ações de eficiência energética em comunidades remotas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Utilizar a escola Jatobazinho na região do Pantanal como estudo de caso e obter informações das instalações locais e dos hábitos de consumo.
- Desenvolver um modelo de diagnóstico que reproduza as condições atuais de consumo de energia, água e combustível.
- Elencar as ações que podem ser tomadas no local com o intuito aumentar a eficiência, reduzir os custos e impactos ambientais, tanto no uso quanto na geração de energia elétrica.
- Aplicar as ações elencadas no modelo de diagnóstico e realizar análises de viabilidade técnica e econômica para cada solução.

1.4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O *IEEE* [3] [4] *Smart Village* tem sido um fomento para transições socioeconômicas e tecnológicas em áreas da África, Índia e do Pacífico Sul. Na Índia, em conjunto com a *Global Himalayan Expedition* (GHE), existem vários projetos de eletrificação em CC, cujo objetivo principal é fornecer energia limpa, educação e acesso à internet por meio de energia solar às regiões remotas no Himalaia. O Monastério *Lingshed*, a Escola *Lingshed* e o laboratório de computação *Himalayan Innovation Center* com acesso à internet via satélite, servidor *offline* com conteúdo de educação digital e cinco *Raspberry PI* computadores são exemplos de projetos que já foram concluídos e estão em funcionamento [5] [6].

Com o propósito de ajudar famílias de áreas rurais na Nigéria o proprietário da empresa *Green Village Electricity* (GVE) lançou em 2013 o primeiro projeto comunitário em Egbeke o que contribuiu com o desenvolvimento socioeconômico do local. Anos depois formou uma parceria com o *IEEE*, o Banco da Nigéria e o Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas a fim de construir três microrredes nas comunidades de Bisanti, Kolwa e Onono-Anam sendo que a *microgrid* de Bisanti possui 24 kW, atende mais de 200 residências e empresas e é a maior na Nigéria [5] [7].

Em Camarões, a empresa *Renewable Energy Innovations Cameroon* (REIC) juntamente com o *IEEE* executou vários projetos de iluminação solar e bombeamento de água para organizações, hospitais e povoados. Criaram na vila de Sabongari um motor a diesel para *backup* a partir de peças de automóveis, pois estas são encontradas com facilidades nas aldeias e permite fácil manutenção por mecânicos de automóveis [5].

Sabendo que 68% da população rural não tem acesso a água potável e 59% não tem saneamento adequado na Papua Nova Guiné, o *IEEE Smart Village* e a *Transform International* uniram-se para levar eletricidade, intranet, educação e água potável para a comunidade Madan na Província de Jiwak através de dezenas de microrredes solares [5] [8].

No Brasil, na cidade de Araras na região da Amazônia, foi realizado um trabalho para instalar um sistema híbrido que combina geradores a diesel com sistema fotovoltaico sem armazenamento de energia. O gerador a diesel é o responsável pelo abastecimento básico e os painéis são fontes auxiliares, destinadas a minimizar o consumo de diesel nos períodos de alta radiação solar [9].

Em Ilha Solteira, São Paulo, na Ilha da Ferradura instalou-se um sistema solar fotovoltaico em quatro residências, das quais duas abrigavam moradores residentes há mais de 20 anos no local. O estudo, de autoria do “Grupo de Pesquisa em Fontes Alternativas e Aproveitamento de Energia” da UNESP de Ilha Solteira, relata brevemente a respeito de experiências realizadas em outros países em desenvolvimento (baseado em literatura) e a respeito das visitas temporárias para monitorar o sistema instalado no local [10].

Desenvolvido em uma área isolada do Pantanal Sul Matogrossense, Escola Jatobazinho, a pesquisa apresentada em [11] consiste na avaliação de um sistema de bombeamento de água alimentado por energia fotovoltaica. Nela constam resultados experimentais, análise de custos, eficiência do sistema sem uso de baterias e para a aplicação foram levantados dados de consumo, perda de carga e radiação local, resultando no volume do reservatório no ano de 2012. Por fim foi feita uma previsão da oferta de água bombeada através de técnicas de inteligência artificial com a utilização de dados meteorológicos.

Pesquisas apresentam uma forma de geração de energia sustentável que tem sido explorada a partir de oceanos e rios sem a necessidade de barragens e represas além do fornecimento contínuo de energia elétrica. Em [12] [13], estudos a respeito do chamado sistema de energia hidrocínética, sua característica técnica, aspectos econômicos e impactos ambientais mostram que apesar de ainda ser uma tecnologia considerada cara para a implantação possui um impacto relativamente baixo ou até mesmo nulo quando comparado com outras fontes. Duas turbinas que funcionam com diferentes princípios e estão instaladas e em fase de teste em Nova York e na Irlanda são apresentadas por [12] e o uso do sistema hidrocínético para bombeamento de água em [13].

No Brasil já existem empresas que fornecem turbinas hidrocínéticas ou rodas d’água com geradores acoplados e prontas para uso, sendo necessário apenas a fixação do equipamento no rio e a manutenção periódica de baixo custo, conforme [14].

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A partir do Capítulo 2, é apresentado o local de aplicação da pesquisa, a metodologia utilizada para o desenvolvimento do modelo de diagnóstico energético e a explicação da criação dos cenários a serem avaliados.

No Capítulo 3, são apresentadas as análises de viabilidade técnica e econômica de cada cenário analisado.

No Capítulo 4, são apresentadas as conclusões finais do estudo.

2. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são apresentados: a Escola Jatobazinho, local de aplicação da pesquisa; assim como as estimativas geradas a partir das visitas; as regressões lineares parametrizadas para o ajuste do modelo aos dados; e comparações realizadas com as medições. Por fim, uma breve explicação da metodologia utilizada na análise de cenários afim de chegar aos resultados apresentados no próximo capítulo.

2.1. ESTUDO DE CASO – A ESCOLA JATOBAZINHO

No ano de 2006 uma antiga pousada localizada às margens do Rio Paraguai foi adquirida por Teresa Cristina Ralston Bracher a fim de implementar ações para o desenvolvimento socioambiental da região. Após um estudo local foi constatada a necessidade de uma escola que atendesse a comunidade Ribeirinha. Diante desta visão, fez-se uma parceria entre a idealizadora e a Secretaria de Educação do Município de Corumbá, Mato Grosso do Sul, e em 2009 a antiga pousada passou a ser chamada de Escola Jatobazinho de Ensino Fundamental I, com atendimento aos alunos de primeira à quarta série (atualmente denominados alunos de primeiro ao quinto ano do Ensino Fundamental de nove anos). A Figura 2.1 apresenta uma visão geral da Escola.

O tipo de ensino aplicado é constituído pelo regime de alternância, ficando todos envolvidos instalados na unidade escolar durante um determinado período, ou seja, chegam na segunda-feira à tarde e regressam para suas residências após o almoço de sábado. Atualmente são atendidos 44 alunos, entre 5 anos e 11 anos, por 31 funcionários que fornecem serviços como ensino, transporte, alimentação, limpeza e administração, que favorecem uma educação adequada e qualificada às crianças que ali frequentam.

Figura 2.1. Escola Municipal Rural - Extensão Jatobazinho.



Fonte: Autoria própria.

Localizada a 90 km de Corumbá seu acesso é feito apenas de barco ou avião de pequeno porte o que dificulta a chegada das redes elétricas do Sistema Interligado Nacional (SIN) para prover energia ao local. Desta forma, o abastecimento de energia elétrica é realizado por meio de geradores a diesel e de algumas placas fotovoltaicas, mas devido ao alto custo do diesel em determinados períodos do dia a energia elétrica da escola permanece ligada apenas para atender cargas importantes, como as câmaras frias ou é interrompida. A Figura 2.2 apresenta os geradores responsáveis por prover energia elétrica.

Figura 2.2. Geradores a diesel.



Fonte: Autoria própria.

O fato de a Escola estar localizada em uma área remota também implica na inexistência do fornecimento de água tratada por meio de empresas do ramo, tornando-se necessário o tratamento adequado no local a partir da captação da água do rio. Figura 2.3 mostra uma visão geral do bloco onde é realizado o tratamento de água.

Figura 2.3. Tratamento de água do local.



Fonte: Autoria própria.

2.2. VISITAS TÉCNICAS

Este trabalho se baseia em dados coletados através de visitas ao local objeto de estudo, somando um total de três visitas. Inicia-se com uma visita a Jatobazinho com a finalidade de ter contato direto com os moradores, vivenciar o dia a dia deles, fazer registros fotográficos, verificar as cargas existentes em cada bloco (total de 16 blocos) e as fontes de energia responsáveis por suprir a demanda do local. Neste primeiro momento o levantamento foi feito através da observação e da coleta de informação obtida através dos funcionários responsáveis pelo funcionamento da Escola. Na Tabela 2.1, Tabela 2.2, Tabela 2.3, Tabela 2.4 estão presentes todas as informações coletadas, sendo adicionado um novo bloco à Tabela 2.1, bloco 17, para adicionar informações e cargas da área externa.

Tabela 2.1. Tabela de cargas e seus respectivos blocos¹.

Bloco	Fonte de Energia	Cargas	Potência Total (W)
1 – Casa Barcos e Alojamento	Gerador 1 ou 2	Tomada	1.300
		Lâmpada Fluorescente	380
2 – Ateliers	Gerador 1 ou 2	Tomada	2.800
		Liquidificador	700
		Batedeira	300
		Lâmpada Fluorescente	420
	Sistema Solar 1	Switch	20
	Placa Solar 2	Roteador	20
3 - Casa de Máquinas	Gerador 1, 2, 3 ou 4	Lâmpada Fluorescente	80
		Tomada	400
		Exaustor	800
4 – Dormitório dos Coordenadores	Sistema Solar 3	Ponto de Iluminação Solar	220
		Roteador	20
	Gerador 1 ou 2	Tomada	3.200
		Lâmpada Fluorescente	500
		Máquina de Gelo	150
		Freezer Vertical 66 L	73
		TV 32"	50
		Notebook	150
		Receptor de Antena	15
5 - Dormitório dos Professores	Gerador 1 ou 2	Lâmpada Fluorescente	820
		Tomada	5.500
		TV 40"	90
		Freezer Vertical 142L	95
		Notebook	975
		Receptor de Antena	15
	Sistema Solar 4	Lâmpada	60
		Tomada	500
		Roteador	20
6 – Administração (Casa Sede)	Sistema Solar 5 Gerador 1 ou 2	Lâmpada	240
		Cafeteira	1.500
		Ventilador	1.050
		Tomada	1.000
		CPU	2.000
		Monitor	150
		Notebook	150
		Impressora	30
	Gerador 3 ou 4	Tomada	300
	Sistema Solar 6	Roteador	20
		Rádio de Comunicação (Externa)	100

¹ Apesar da tabela estar representada de maneira resumida, com as cargas e a potência total, foi coletada também a quantidade existente de cada carga.

Bloco	Fonte de Energia	Cargas	Potência Total (W)
7 - Restaurante, Lavanderia e Dormitório	Gerador 1 ou 2	Tomada	500
		Lâmpada Fluorescente	500
		TV 42"	90
		Processador de Alimentos	370
		Receptor de Antena	15
		Batedeira Grande	350
		Batedeira Pequena	300
		Cilindro	350
		Liquidificador	350
		Freezer Vertical 66 L	75
		Máquina de Waffle	700
		Fatiador de Alimentos	290
		Centrifuga	170
		Máquina de Lavar Roupas 220V	450
Máquina de Lavar Roupa 127V	920		
8 - Câmara Fria	Gerador 1, 2, 3 ou 4	Câmara Fria	2.000
		Câmara Fria	2.400
		Tomada	0
		Lâmpada Fluorescente	60
		Cortador de Carne	500
		Moedor de Carne	736
		Bebedouro	300
9 - Sala de Leitura	Gerador 1 ou 2	Lâmpada Fluorescente	400
		Tomada	700
10 - Dormitório dos Operacionais	Gerador 1 ou 2	Lâmpada Fluorescente	700
		Tomada	7.000
		Receptor de Antena	15
		Freezer Vertical 142L	95
		Notebook	150
		TV 40"	90
	Sistema Solar 7	Roteador	20
11 - Horta e Depósitos	Gerador 1 ou 2	Lâmpada Fluorescente	120
		Tomada	600
12 - Dormitório Alunas	Gerador 1 ou 2	Lâmpada Fluorescente	640
		Tomada	2.200
13 - Dormitório Alunos	Gerador 1 ou 2	Lâmpada Fluorescente	640
		Tomada	1.700
14 - Galpão de Atividades	Gerador 1 ou 2	Tomada	400
		Lâmpada Fluorescente	80
15 - Salas de Aula	Gerador 1 ou 2	Tomada	7.100
		Lâmpada Fluorescente	780
		TV 32"	50
		Home Theater	50
16 - Tratamento de Água	Gerador 1 ou 2	Bomba 1 (Coleta do rio p/ decantar)	3.700
		Bomba 2 (Entrada para filtros)	2.200
		Bomba 3 (Limpeza da decantação)	750
		Bomba 4 (Carrega caixa alta)	2.200
	Sistema solar 8	Bomba 5 (Carrega caixa alta)	250
	Gerador 1 ou 2	Bomba 6 (Coleta para horta)	2.200

Bloco	Fonte de Energia	Cargas	Potência Total (W)
	Sistema Solar 8	Bomba 7 (Carrega caixa alta da horta)	250
17 - Área Externa	Gerador 1 ou 2	Bomba (Piscina)	1.000
		Bomba (Esgoto)	736
		Bomba (Lavagem de barcos)	370
		Postinhos (Lâmpada fluorescente)	576
		Refletores	1.000
		Lâmpadas	700
		Tomadas	200
POTÊNCIA INSTALADA (W)			77.301

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2.2. Grupo geradores a diesel no local.

Número do Gerador	Potência (W)
1	40.000
2 (<i>backup</i> ou reserva do gerador 1)	28.000
3	8.800
4 (<i>backup</i> ou reserva do gerador 3)	8.800

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2.3. Escala de funcionamento dos grupos geradores².

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Manhã	9h as 12h	7h as 11h	7h as 11h	7h as 11h	7h as 11h	05h30 as 14h	8h as 11h
Tarde	13h as 16h30	13h as 17h	13h as 17h	13h as 17h	13h as 17h	14h as 17h	13h as 17h
Noite	17h30 as 21h40						

Fonte: Autoria própria.

² Os horários marcados em amarelo se referem ao horário de funcionamento dos geradores 1 ou 2, que atendem toda a Escola, e os marcados em verdes se referem aos geradores 3 ou 4, que atendem apenas as câmaras frias e o bebedouro.

Tabela 2.4. Sistema fotovoltaico existentes no local.

Nº do Sistema	Informações do Sistema	Nº do Sistema	Informações do Sistema
Solar 1	1 Pannel Fotovoltaico 200 Wp ³	Solar 5	8 Painéis Fotovoltaicos 255 Wp (cada)
	1 Controlador de carga		4 Controladores de carga
	1 Bateria Estacionária 100 Ah		1 Inversor 2000 VA
Solar 2	1 Pannel Fotovoltaico 200 Wp ³	Solar 6	8 Baterias Estacionárias 220 Ah
	1 Controlador de carga		1 Pannel Fotovoltaico 200 Wp ³
	1 Bateria Estacionária 150 Ah		1 Controlador de carga
Solar 3	1 Pannel Fotovoltaico 200 Wp ³	Solar 7	1 Bateria Estacionária 150 Ah
	1 Controlador de carga		1 Pannel Fotovoltaico 200 Wp ³
	1 Inversor 3000 W		1 Controlador de carga
	1 Bateria Estacionária		1 Inversor
Solar 4	1 Pannel Fotovoltaico 200 Wp ³	Solar 8	1 Bateria Estacionária 150 Ah
	1 Controlador de carga		5 Painéis Fotovoltaicos 200 Wp ³ (cada)
	1 Inversor 3000 W		
	1 Bateria Estacionária 150 Ah		1 Controlador de carga

Fonte: Autoria própria.

Posteriormente foi realizada uma nova visita ao local, desta vez para efetuar a instalação de 9 medidores de energia, pretendendo, com isso, validar o modelo proposto. Os equipamentos utilizados foram do fabricante RMS, modelo MARH VI, Figura 2.4, e foram cedidos pela concessionária de energia elétrica ENERGISA de Campo Grande.

Figura 2.4. Medidor de energia RMS.



Fonte: Autoria própria.

³ Valor estimado devido os dados dos painéis não estarem disponíveis e eles serem antigos.

Oito dos equipamentos foram instalados nos blocos a fim de obter informações individuais e um deles instalado no quadro geral da Escola, sendo registrados parâmetros elétricos (tensão, corrente, potência ativa e potência reativa) em intervalos periódicos de 1 minuto durante 20 dias, exceto no bloco 6 que ficou instalado durante 11 dias. Os registros ficaram armazenados na memória de massa de cada equipamento durante o período de medição e no término do evento foram descarregados em um computador, com *software ANAWIN* instalado, sendo este o responsável por ler os parâmetros contidos no armazenamento e permitir a abertura dos dados no programa *EXCEL* para a montagem de planilhas, tabelas, gráficos e assim realizar a análise dos dados. A Figura 2.5 apresenta a instalação de um dos equipamentos.

Figura 2.5. Medidor de energia RMS instalado no Bloco 16.



Fonte: Autoria própria.

2.3. PROPOSTA DE MODELO PARA DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

O modelo proposto é baseado na estimação das curvas de cargas obtidas através dos dados coletados nas visitas, do uso da regressão linear simples, através do *software MATLAB* e de planilhas montadas no *software EXCEL* observando os 17 blocos da Escola separadamente. Realizou-se uma divisão da geração, diesel e solar, e das cargas existentes, iluminação, tomadas⁴, cargas gerais, refrigeração⁵, ventilação e bombeamento⁶ e estas foram

⁴ Para a estimativa da curva de carga considerou-se um fator de 5% na potência total das tomadas.

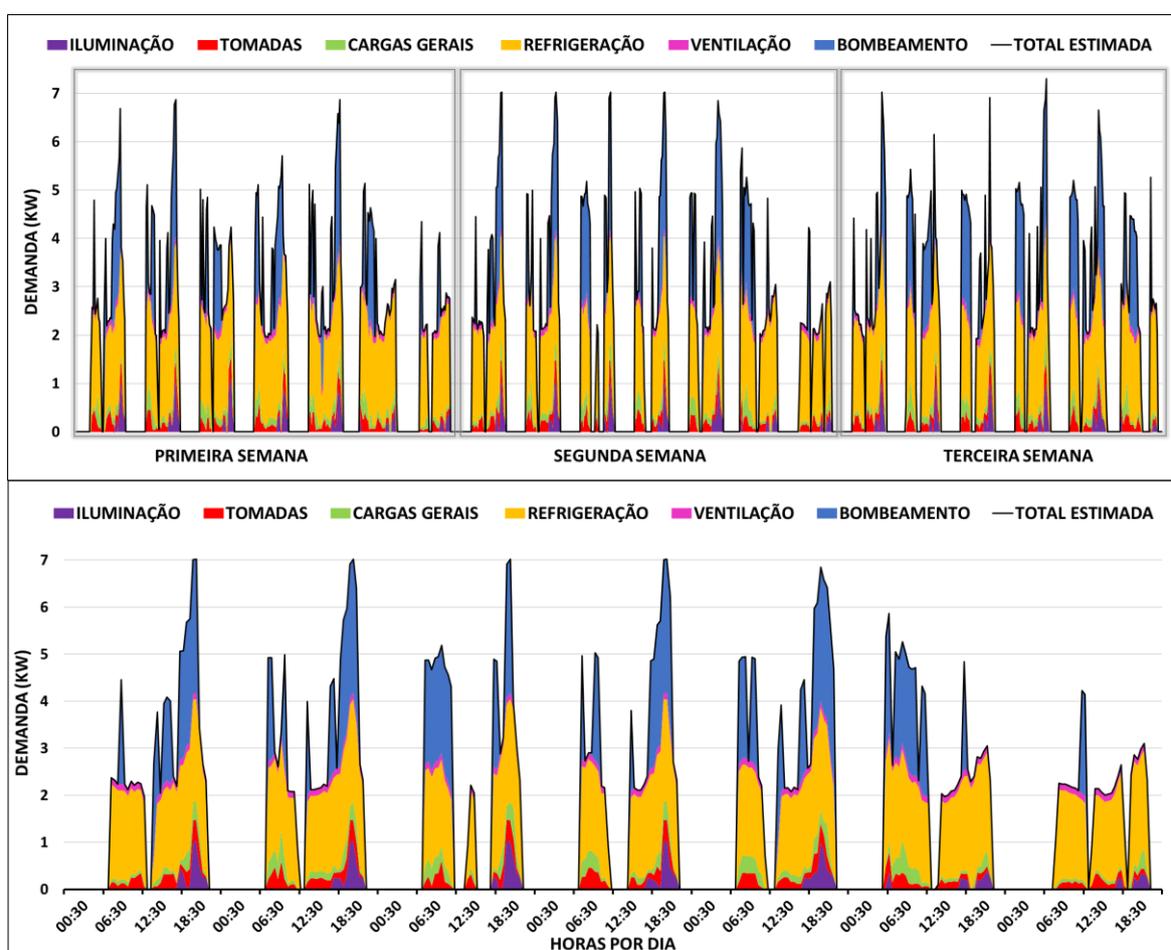
⁵ Para a estimativa da curva de carga considerou-se um fator de 55% na potência nominal das câmaras frias e freezers.

⁶ Para a estimativa da curva de carga considerou-se um fator de 55% na potência nominal das bombas.

estimadas em intervalos de 30 em 30 minutos. Assim foi possível prever a curva de carga semanal o que consequentemente resultou no consumo (kWh).

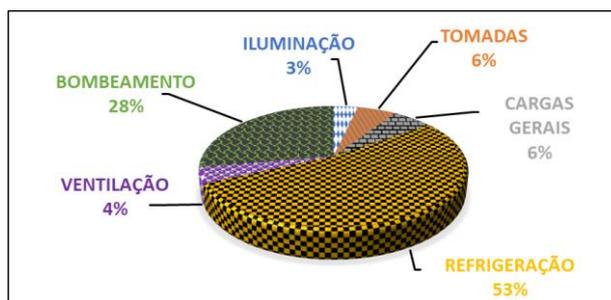
A Figura 2.6 apresenta a curva de carga estimada da Escola, a partir de 20 dias lidos, para a geração a diesel seguida do *zoom* da segunda semana e a Figura 2.7 mostra o percentual que cada carga representa quando comparadas ao consumo (kWh). Ambas mostram que as cargas de maiores demanda são o bombeamento e a refrigeração.

Figura 2.6. Curva de carga estimada da Escola Jatobazinho – suprida pela geração a diesel.



Fonte: Autoria própria.

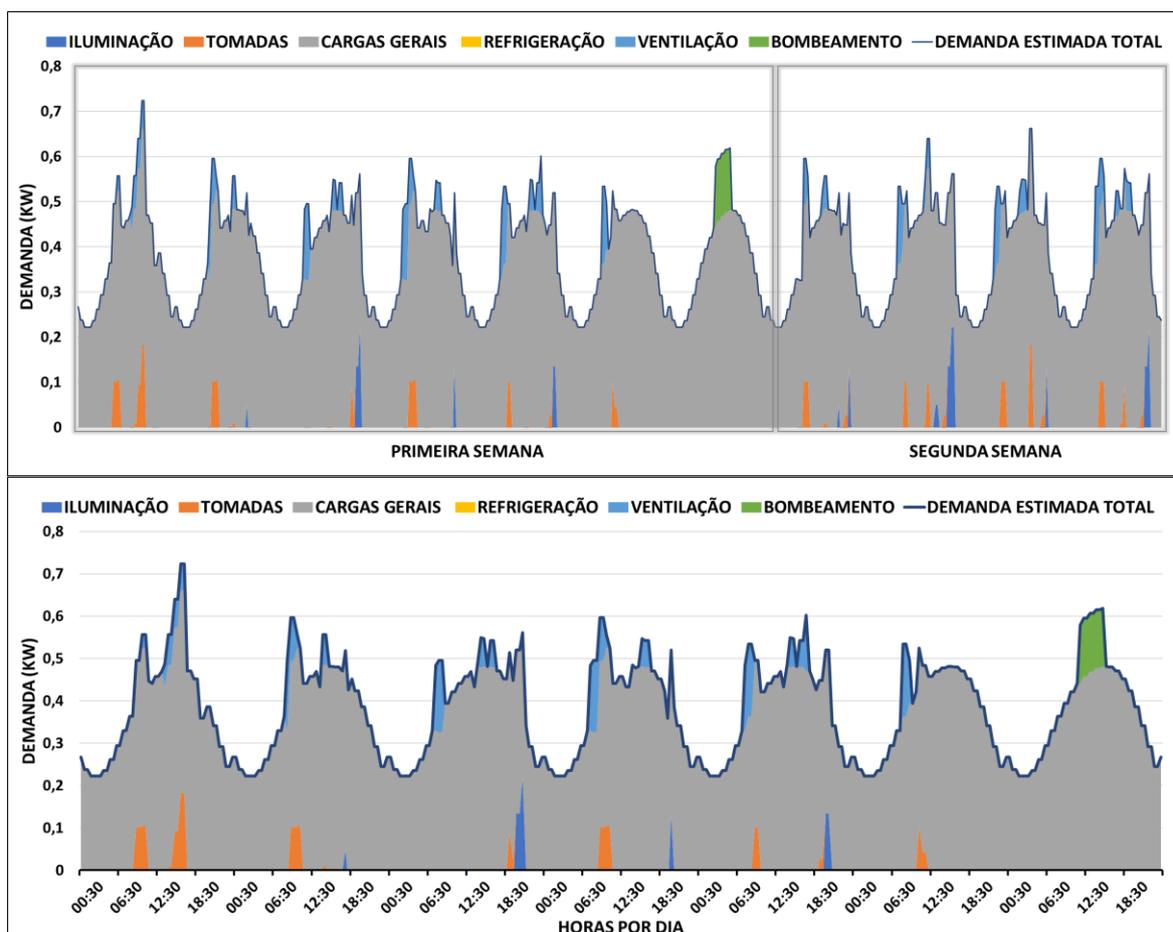
Figura 2.7. Consumo de energia elétrica (kWh) percentual por carga – suprido pela geração a diesel.



Fonte: Autoria própria.

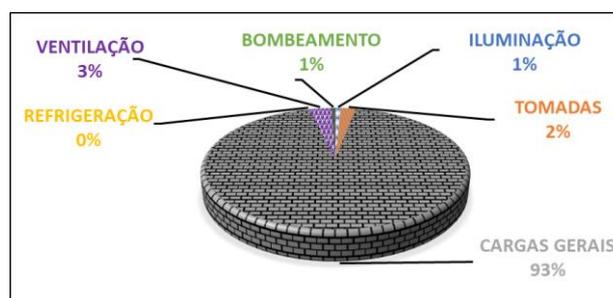
A Figura 2.8 mostra a curva de carga estimada, a partir de 11 dias lidos, para a geração fotovoltaica existente e a Figura 2.9, o percentual que cada carga representa quando comparadas ao consumo (kWh). Apesar da geração fotovoltaica presente ainda ser mínima, ela é responsável por suprir todo bloco 6 e com isso a maior demanda vem das cargas gerais.

Figura 2.8. Curva de carga estimada da Escola Jatobazinho – suprida pela geração fotovoltaica.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2.9. Consumo de energia elétrica (kWh) percentual por carga – suprido pela geração fotovoltaica.



Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar na Tabela 2.5 a energia consumida (kWh) mensal por bloco e de acordo com os valores encontrados o bloco 8, refrigeração, e bloco 16, tratamento de água são os mais significativos.

Tabela 2.5. Energia estimada mensal consumida (kWh) por bloco.

Bloco	Energia a Diesel (kWh)	Energia Fotovoltaica (kWh)
Bloco 1	33,62	0
Bloco 2	3,14	28,8
Bloco 3	58,28	0
Bloco 4	63,34	14,4
Bloco 5	90,24	14,4
Bloco 6	0	205,49
Bloco 7R⁷	66,04	0
Bloco 7L⁸	37,66	0
Bloco 8	432,96	0
Bloco 9	5,39	0
Bloco 10	155,54	14,4
Bloco 11	1,44	0
Bloco 12	40,51	0
Bloco 13	3,43	0
Bloco 14	1,64	0
Bloco 15	8,66	0
Bloco 16	398,78	1,5
Bloco 17	36,26	0

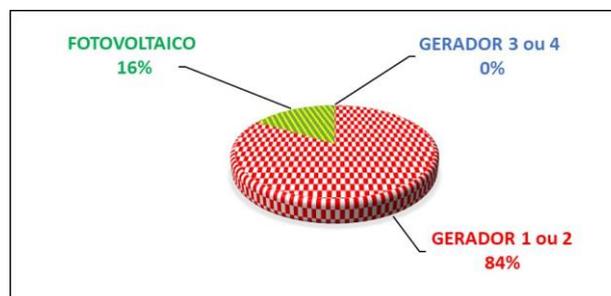
Fonte: Autoria própria.

⁷ Bloco 7R – Restaurante, dormitório e lavanderia – Potência do restaurante e dormitório.

⁸ Bloco 7L – Restaurante, dormitório e lavanderia – Potência da lavanderia.

A Figura 2.10 mostra o percentual gerado estimado por cada fonte de energia durante o período lido, sendo que os geradores 3 e 4 não foram utilizados.

Figura 2.10. Percentual gerado (kWh) estimado por cada fonte de energia.



Fonte: Autoria própria.

Conforme apresentado a geração à diesel é realizada por quatro grupo-geradores, Tabela 2.2, sendo que estes não trabalham em paralelo. A operação das máquinas é feita uma por vez por determinado tempo sendo que os grupo-geradores 1 ou 2 atendem todas as cargas do local e os grupo-geradores 3 ou 4 são de menor potência e alimentam separadamente os circuitos das cargas mais críticas, que são a câmara fria e o bebedouro.

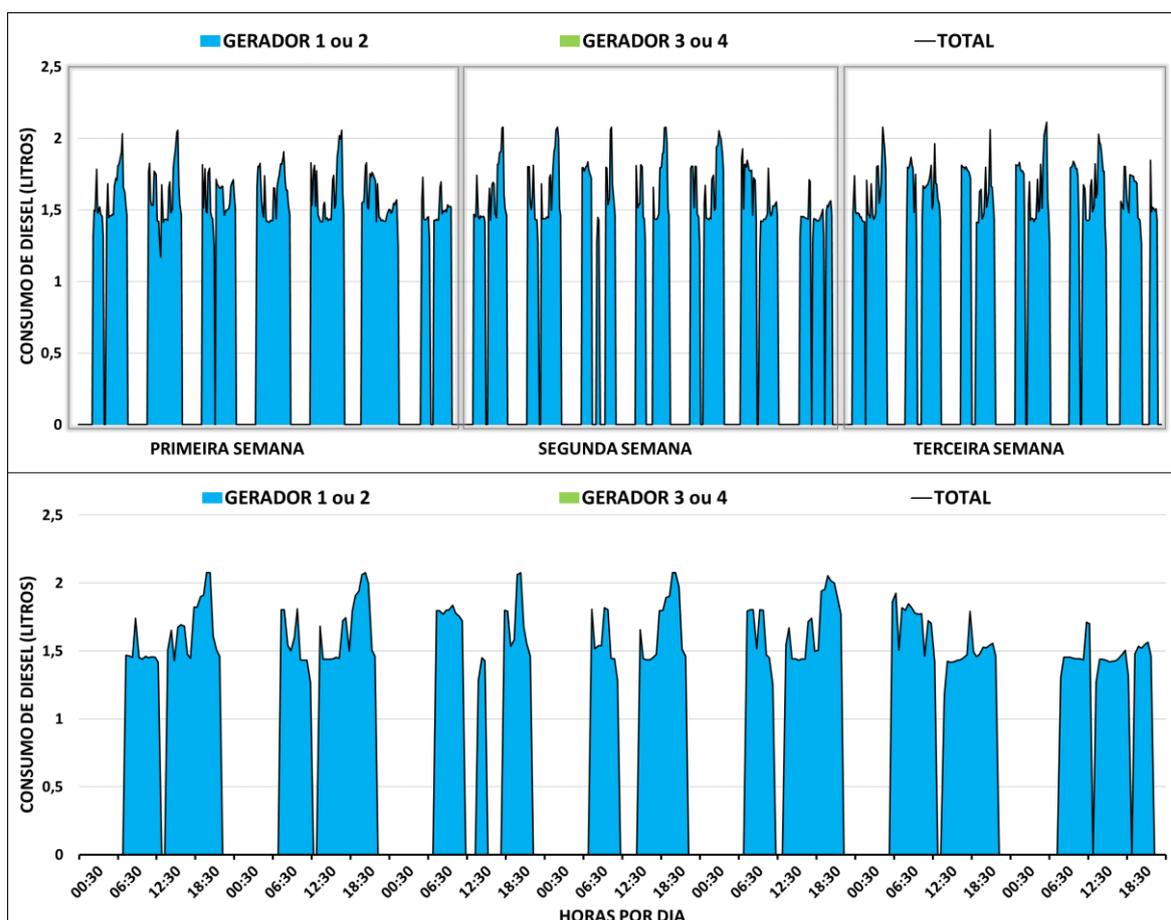
A partir dos dados de placa presente nos geradores foi possível acessar catálogos [15] [16] de equipamentos similares do mesmo fabricante e checar informações de consumo (litros/kWh) o que permitiu calcular a quantidade de combustível gasto para suprir a demanda prevista e conseqüentemente o valor pago por esta despesa considerando R\$ 4,45/litro o custo do diesel entregue na Escola. A Figura 2.11 apresenta a curva de consumo de óleo diesel estimado seguida do *zoom* da segunda semana, enquanto que a Tabela 2.6 mostra os valores mensal do consumo de energia elétrica e de óleo diesel além do valor gasto com combustível.

Tabela 2.6. Consumo mensal estimado de energia elétrica, óleo diesel e custo.

Período	Unidade	Geradores	Gerador 1 ou 2	Gerador 3 ou 4	Sistema Fotovoltaico
Mensal	Energia (kWh)	1.436,83	1.436,83	0	278,99
	Consumo (L)	1.347,67	1.347,67	0	0
	Custo (R\$)	5.781,52	5.781,52	0	0

Fonte: Autoria própria.

Figura 2.11. Curva de consumo (litros/hora) de óleo diesel estimado por geradores no período lido.



Fonte: Autoria própria.

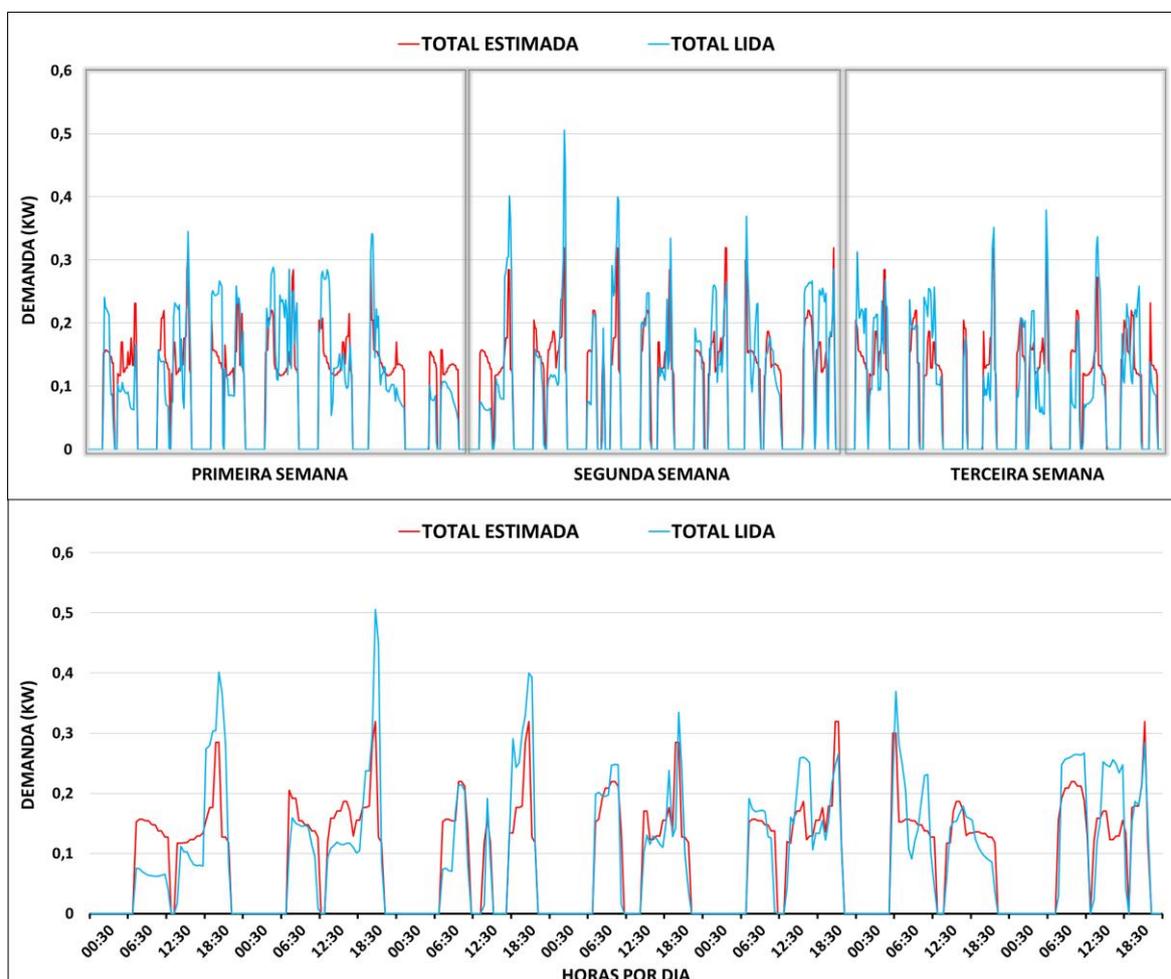
2.4. COMPARAÇÃO: ESTIMATIVA X MEDIÇÕES OBTIDAS

Para tornar possível a comparação entre os resultados lidos e estimados, fez-se necessário inicialmente o cálculo da média das potências para a equiparação dos tempos de amostragem. A estimativa foi feita considerando intervalos de 30 minutos e as medições a cada 1 minuto. Como 30 minutos é suficiente para o tipo de análises propostas, as medições foram recalculadas para este período de amostragem.

Os equipamentos instalados permaneceram em operação durante 20 dias sendo que a medição se iniciou em uma Segunda feira às 00:00. As Figura 2.12, Figura 2.13, Figura 2.14, Figura 2.15, Figura 2.16, Figura 2.17, Figura 2.18, Figura 2.19, Figura 2.20 e Figura 2.21 apresentam as curvas de cargas lidas e estimadas juntamente com o *zoom* na segunda semana.

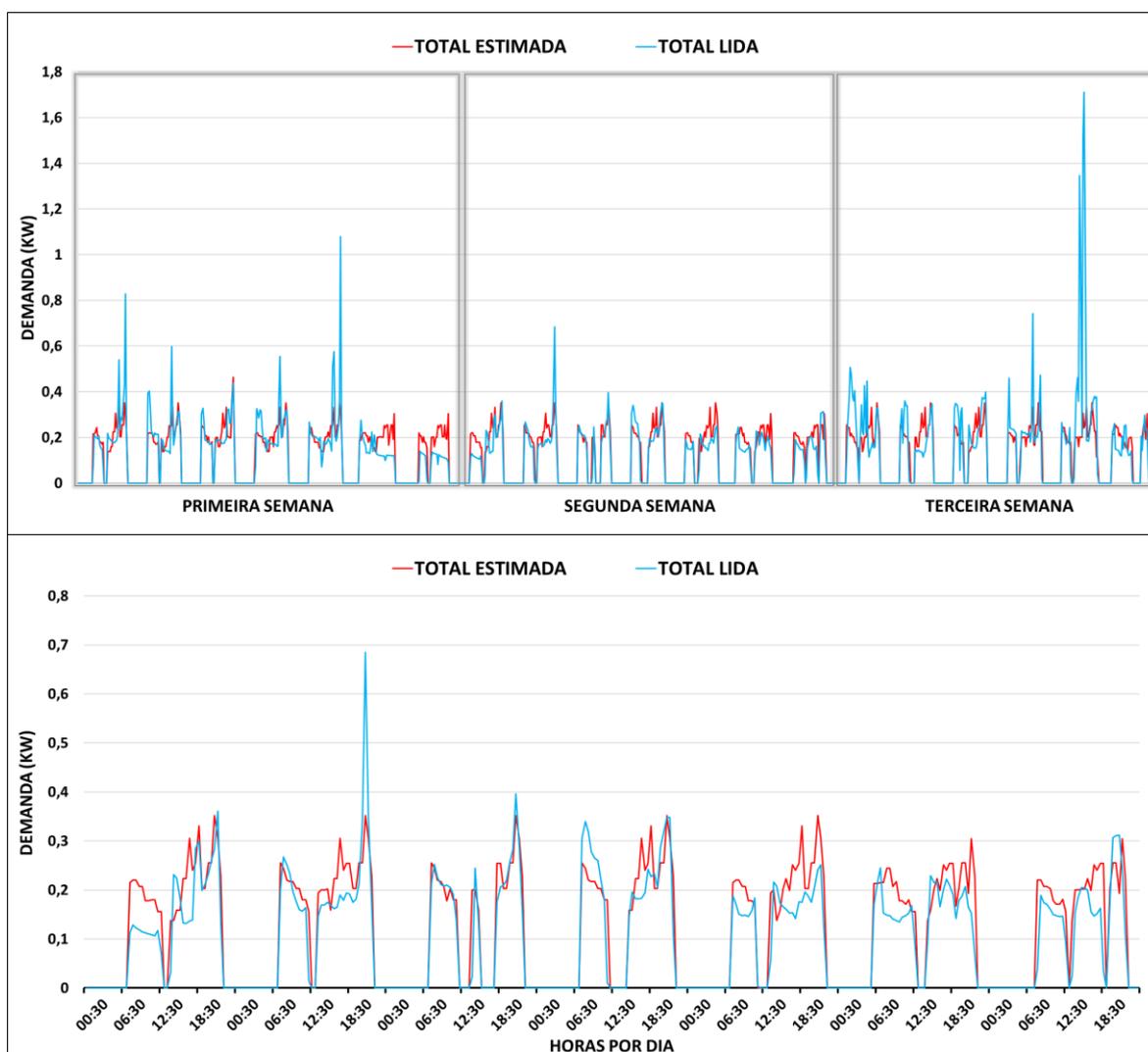
Conforme a Tabela 2.3 no período da tarde o grupo-gerador que deveria estar em operação é o 3 ou o 4, que atendem apenas o bloco da câmara fria e o bebedouro. Porém, no período de leitura, pode-se observar nas curvas presentes nas Figura 2.12, Figura 2.13, Figura 2.14, Figura 2.15, Figura 2.16, Figura 2.17, Figura 2.18, Figura 2.19 e Figura 2.20 que também houve consumo de outras cargas o que, conseqüentemente, indicou a operação dos grupo-geradores 1 ou 2. Ainda que medições fossem realizadas na escola para o histórico de 12 meses ou mais não seria possível garantir que o cálculo fosse exato para o perfil de consumo futuro de água e energia da escola, pois além da operação dos grupo-geradores não ser automática a necessidade de cada semana pode variar com o número de alunos, ampliações ou reduções, e mudanças de hábitos locais.

Figura 2.12. Curvas de cargas do bloco 4 – Dormitório dos coordenadores.



Fonte: Autoria própria.

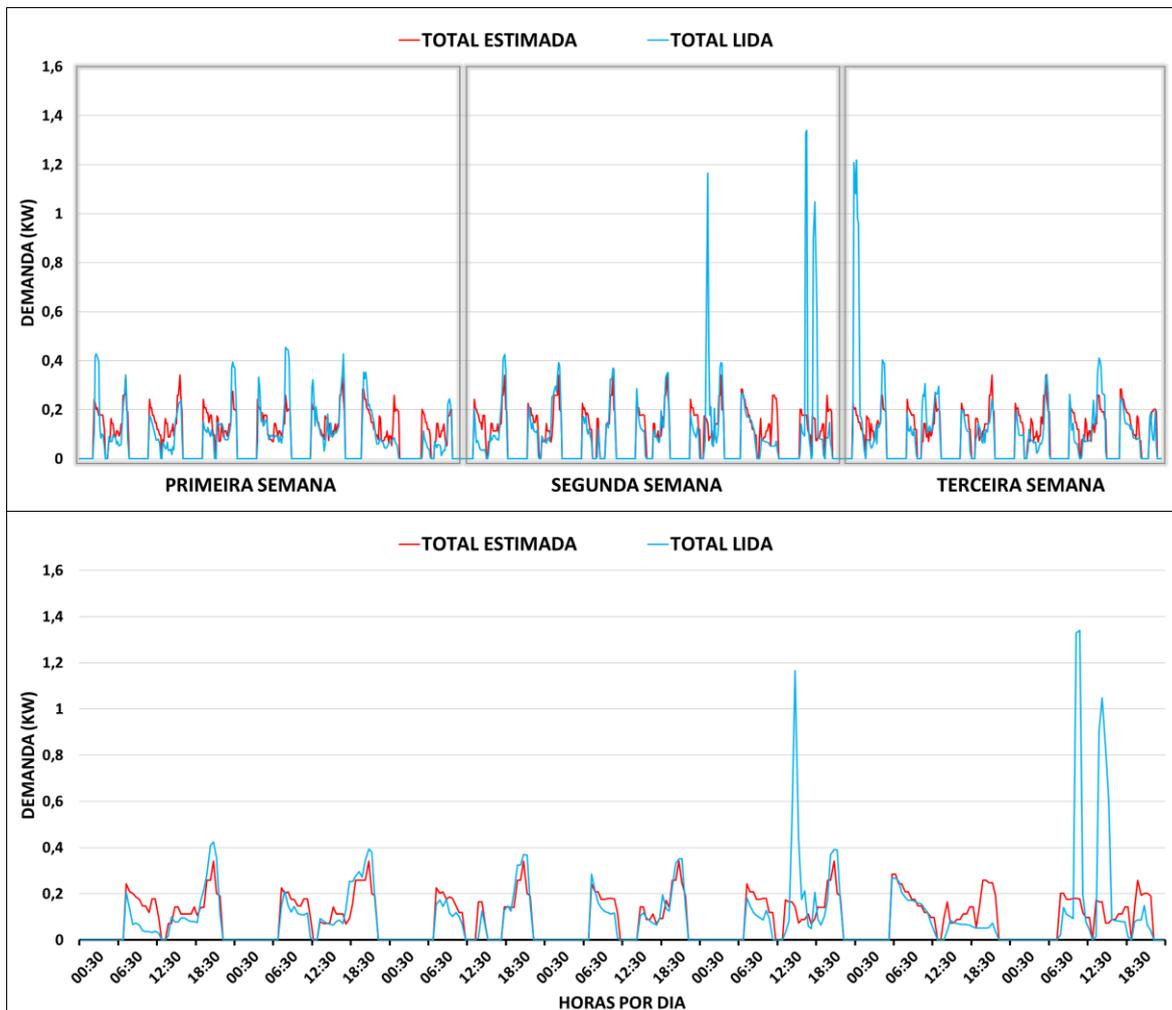
Figura 2.13. Curvas de cargas do bloco 5 – Dormitório dos professores.



Fonte: Autoria própria.

No bloco 7 foram colocados dois medidores um para mensurar dados do restaurante e dormitório e o outro para a lavanderia. Essa necessidade surgiu após verificar-se que o alimentador que chegava até o bloco sofria uma derivação antes de ir para o quadro de distribuição onde uma parte desta derivação seguia direto para o cômodo da lavanderia.

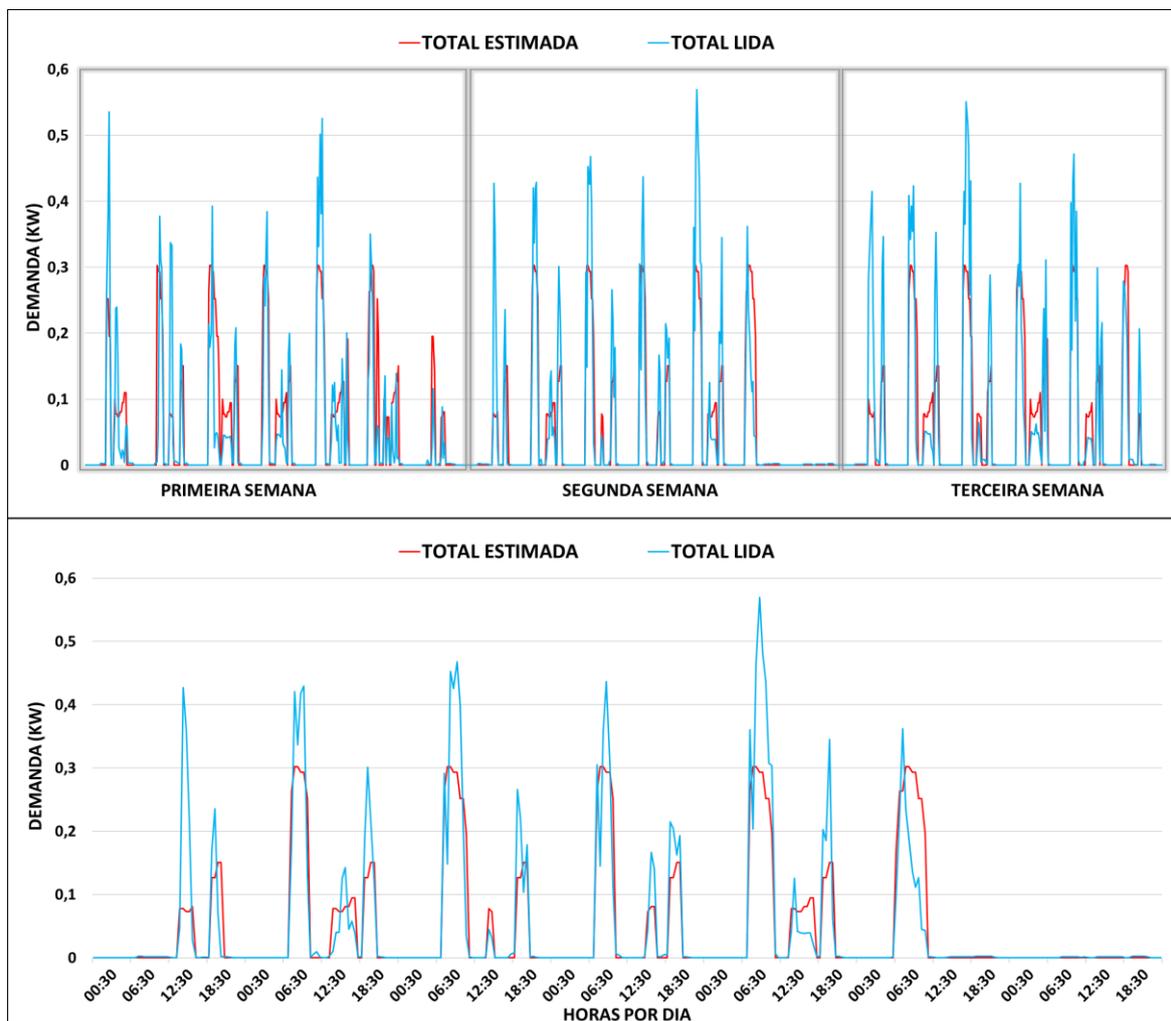
Figura 2.14. Curvas de cargas do bloco 7R – Restaurante, dormitório e lavanderia – Medição do restaurante e dormitório.



Fonte: Autoria própria.

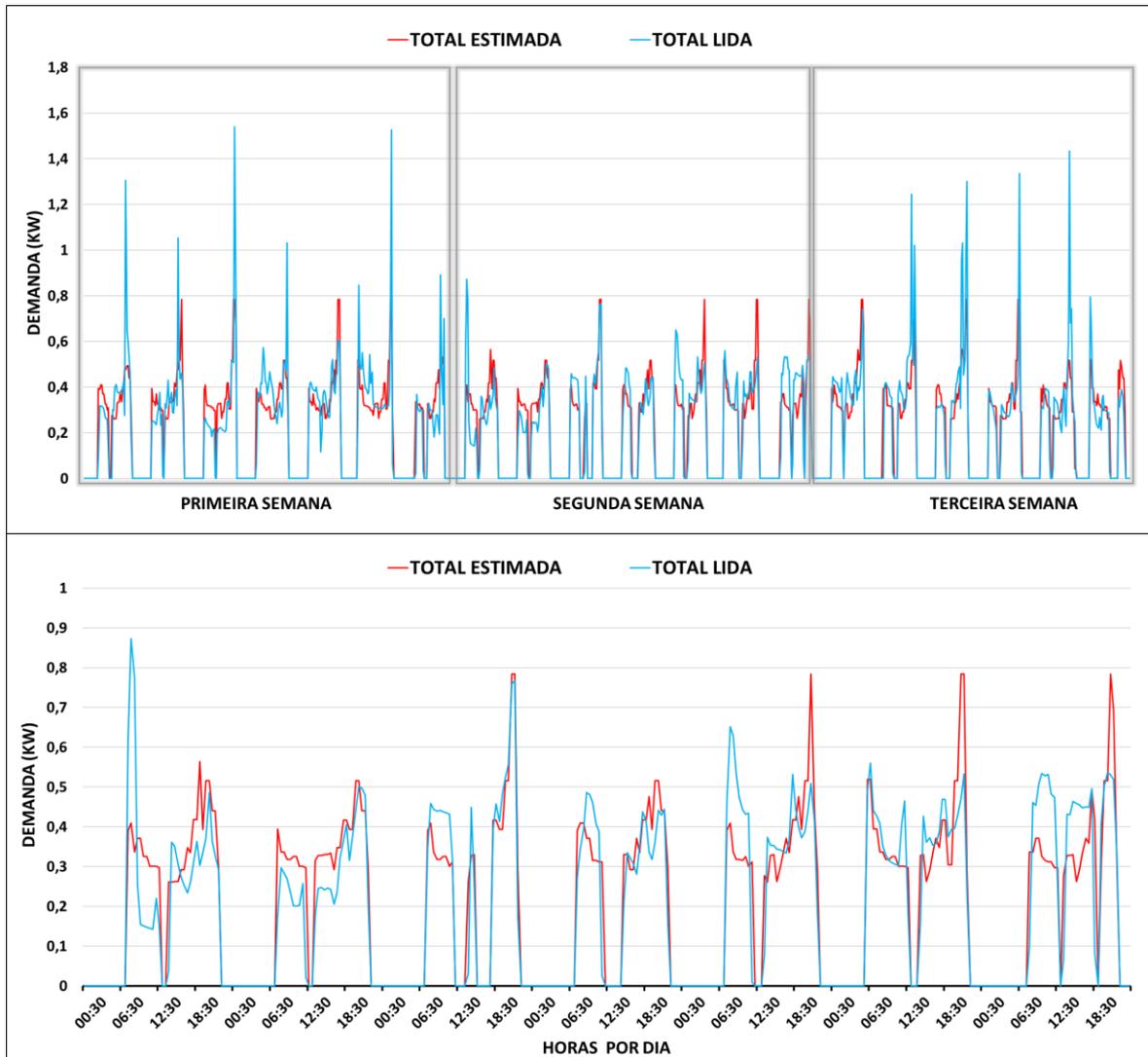
No bloco 7L, lavanderia, as únicas cargas presentes são três máquinas de lavar roupas e uma centrífuga. Toda iluminação deste local está ligada no bloco 7R.

Figura 2.15. Curvas de cargas do bloco 7L – Restaurante, dormitório e lavanderia – Medição da lavanderia.



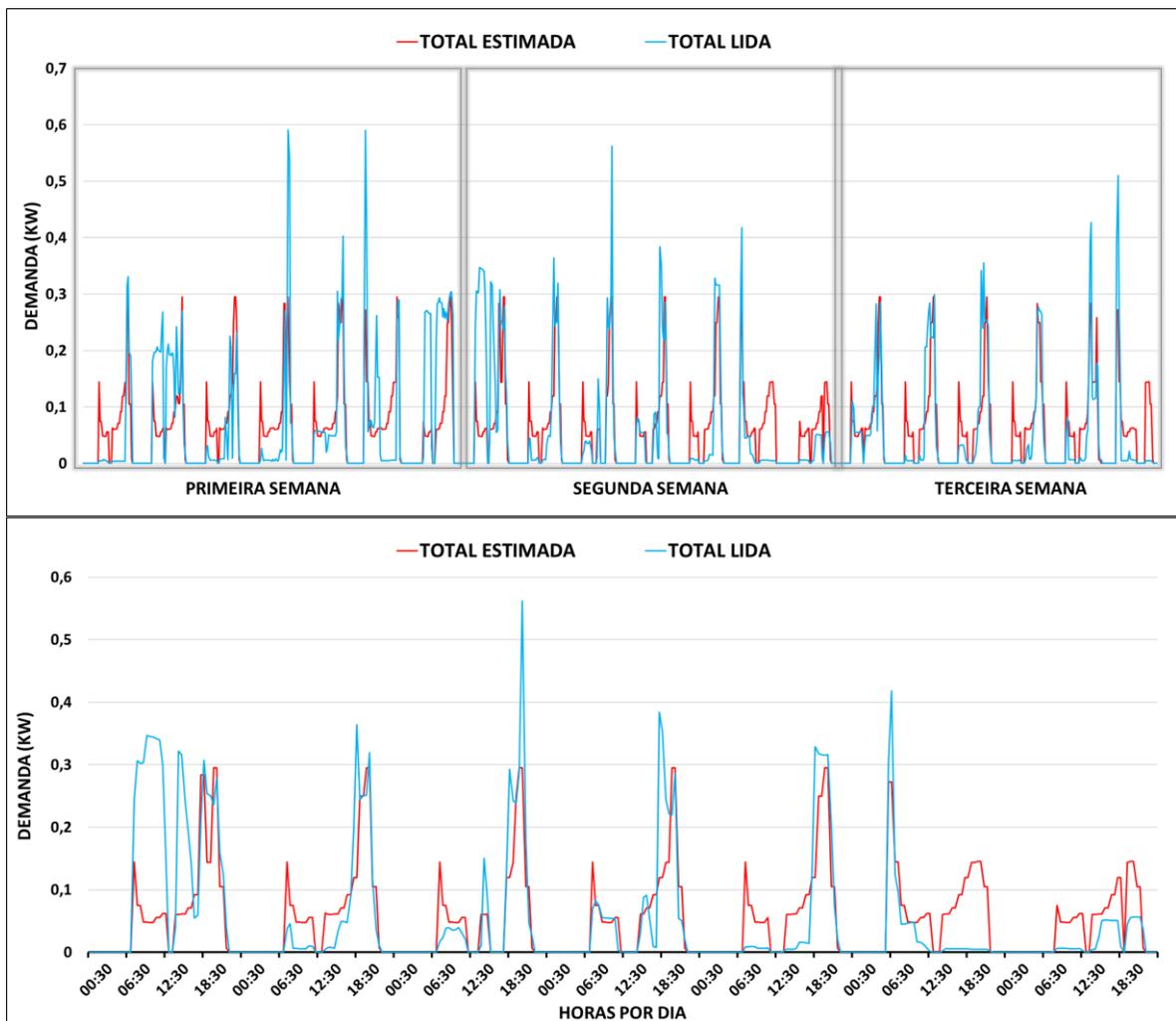
Fonte: Autoria própria.

Figura 2.16. Curvas de cargas do bloco 10 – Dormitório dos operacionais.



Fonte: Autoria própria.

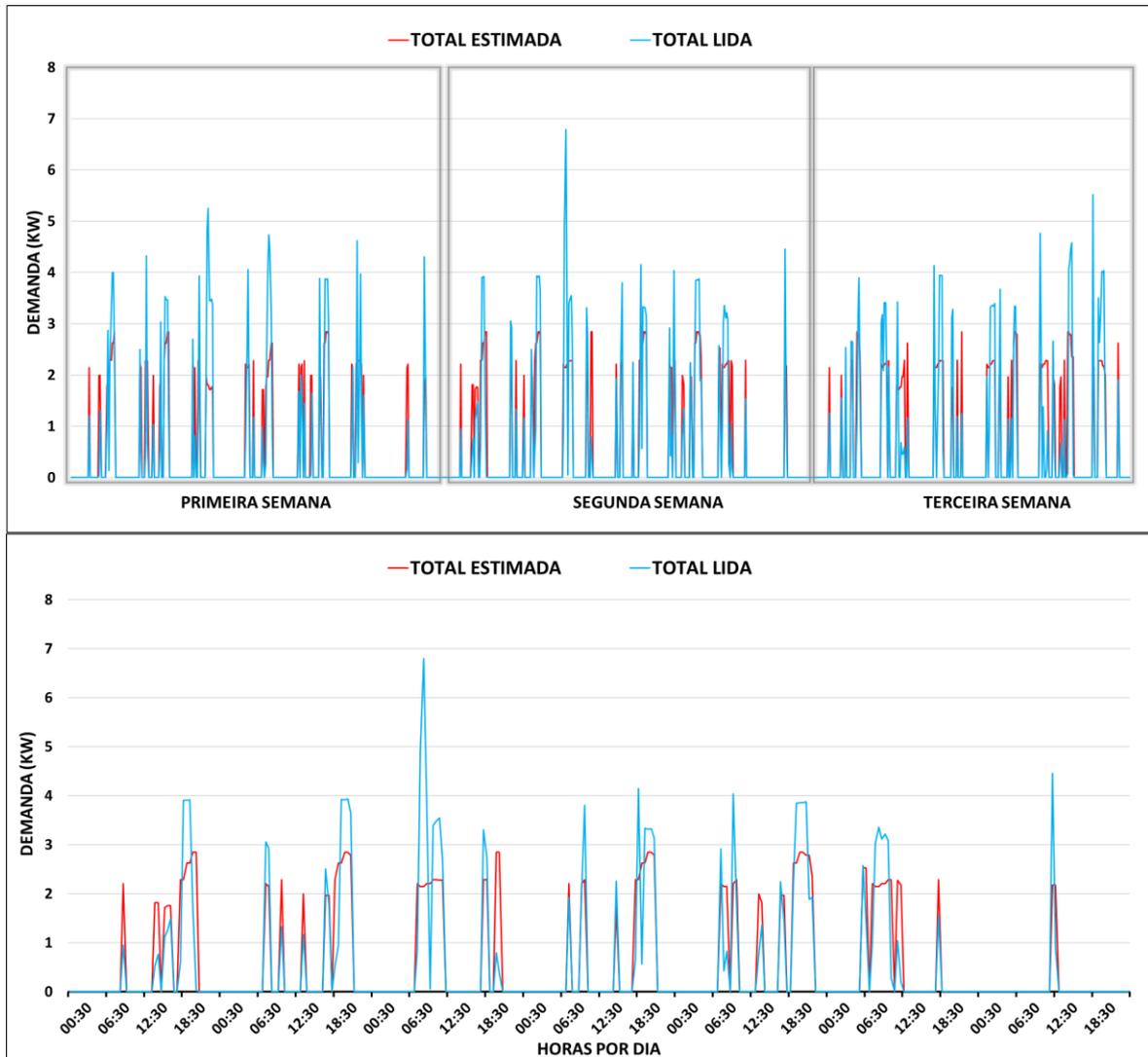
Figura 2.17. Curvas de cargas do bloco 12 – Dormitório das meninas.



Fonte: Autoria própria.

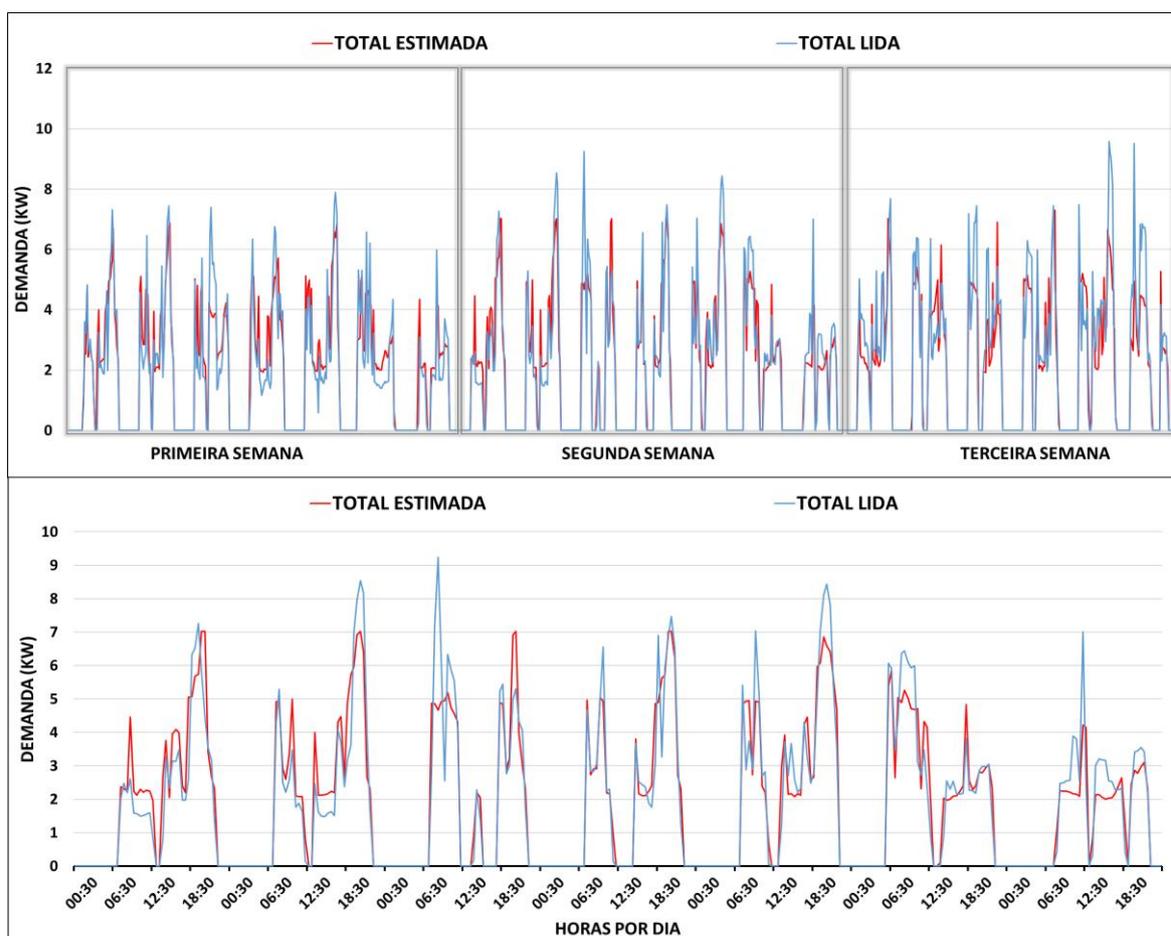
No bloco de tratamento de água não existem lâmpadas nem tomadas, sendo as bombas responsável por todo o consumo.

Figura 2.18. Curvas de cargas do bloco 16 – Tratamento de água.



Fonte: Autoria própria.

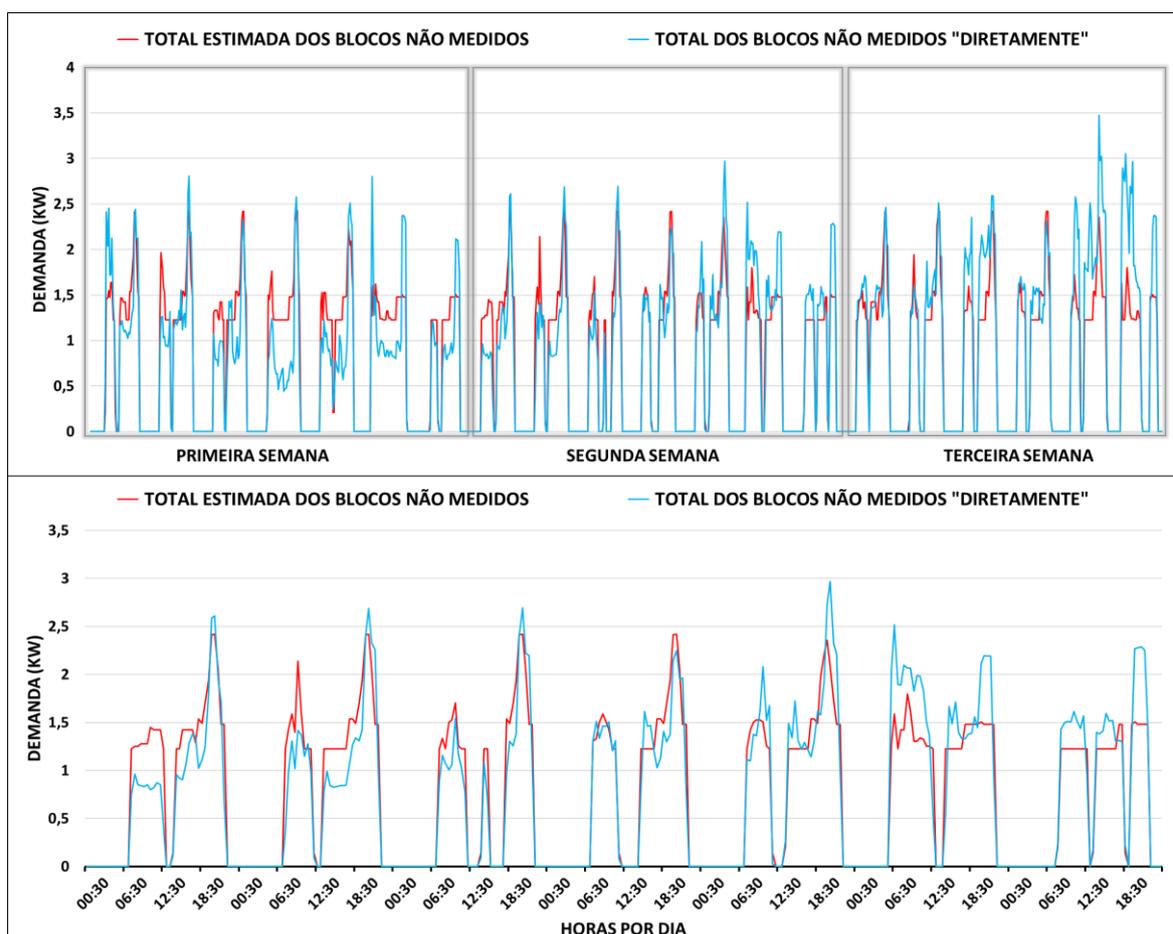
Figura 2.19. Curvas de cargas total da Escola Jatobazinho – supridas pela geração a óleo diesel.



Fonte: Autoria própria.

A partir da soma da potência dos blocos lidos e da potência total da Escola que também foi medida foi possível estimar a curva de carga total dos blocos não lidos apresentada na Figura 2.20.

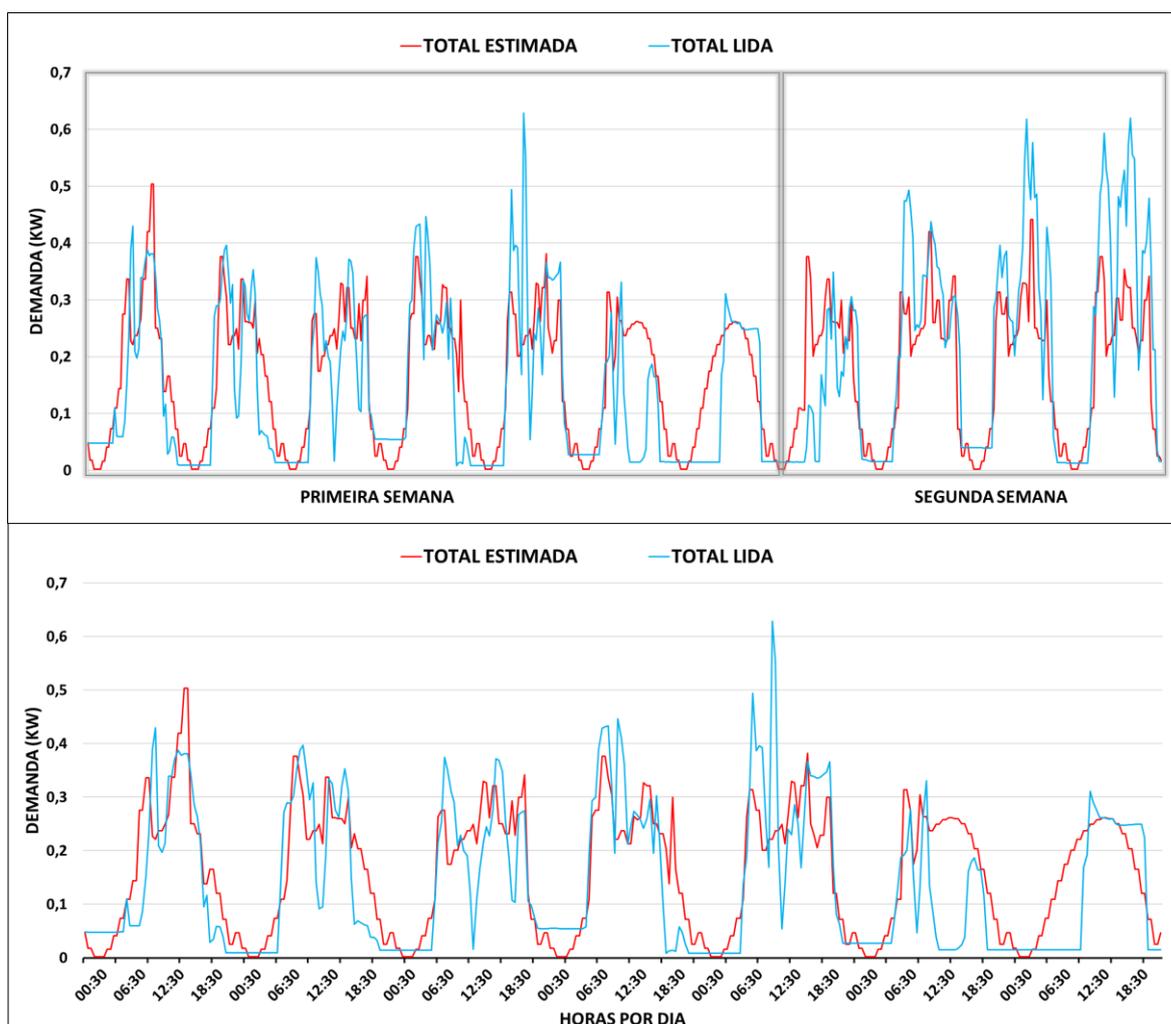
Figura 2.20. Curvas de cargas dos blocos não medidos – supridas pela geração a óleo diesel.



Fonte: Autoria própria.

Devido ao bloco 6 ser atendido exclusivamente por sistema solar fotovoltaico ele não está sendo computado na Figura 2.19, pois a alimentação pelos grupos-geradores só ocorre em caso de algum problema com a geração solar. O equipamento instalado neste bloco permaneceu em funcionamento por 11 dias sendo que a medição se iniciou em uma Segunda feira às 00:00. A Figura 2.21 apresenta a curva de carga medida neste período e da curva de carga estimada.

Figura 2.21. Curvas de cargas do bloco 6 – Administração.



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 2.7 são apresentadas as potências médias medidas e estimadas em cada bloco, juntamente com o erro médio e o desvio padrão do erro. O erro médio não foi nulo devido à erros numéricos das regressões, mas são valores muito menores do que as grandezas estimadas. O desvio padrão do erro indica a precisão do modelo obtido para cada bloco.

Tabela 2.7. Potência (kW) medida e estimada, erro e desvio padrão.

Bloco	Duração das Medições	Potência Medida (kW)	Potência Estimada (kW)	Erro (kW)	Desvio Padrão do Erro (kW)
Bloco 4	20 dias	0,08801471	0,08798041	3,42923E-5	0,052426269
Bloco 5		0,12531486	0,12533117	-1,63127E-5	0,110065854
Bloco 7R⁹		0,09162946	0,09172583	-9,63694E-5	0,119177401
Bloco 7L¹⁰		0,05303988	0,05230235	7,38E-4	0,06393876
Bloco 10		0,21610541	0,21603552	6,98898E-5	0,116822874
Bloco 12		0,05617483	0,05626859	-9,37548E-5	0,07075440
Bloco 16		0,55387098	0,55386263	8,34706E-6	0,69292271
Geral		1,99667397	1,99560215	1,07E-3	0,85632402
Bloco 6	11 dias	0,16546162	0,16540575	5,58732E-5	0,10228893
Blocos não lidos	20 dias	0,81252384	0,81226138	2,62E-4	0,36763309

Fonte: Autoria própria.

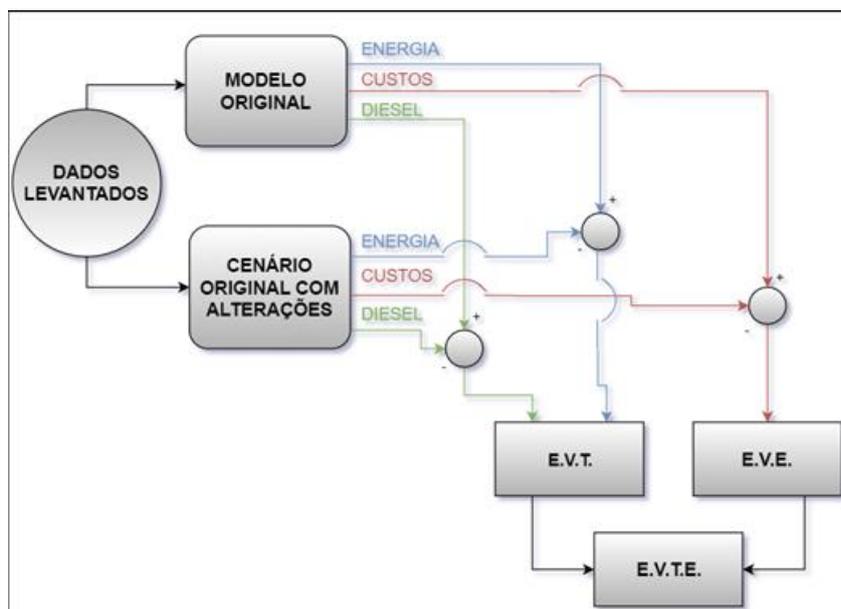
2.5. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE CENÁRIOS

A fim de encontrar a melhor estratégia a ser aplicada no local de estudo foram montados alguns cenários e realizados estudos viabilidade técnica e econômica os quais foram comparados com a situação atual. Estes cenários consistem no modelo de diagnóstico original (situação atual) com modificações específicas de acordo com cada cenário. Estas alterações são possíveis pelo fato de as curvas de carga no modelo original terem sido compostas por um somatório das cargas internas (iluminação, tomadas, cargas gerais, refrigeração, ventilação e bombeamento) com proporções definidas pelas regressões. Assim, é possível retirar e/ou acrescentar cargas elétricas específicas para estimar como ficaria a curva de carga final no modelo original, sempre com a referência dos dados medidos. A Figura 2.22 mostra um diagrama para melhor compreensão.

⁹ Bloco 7R – Restaurante, dormitório e lavanderia – Potência do restaurante e dormitório.

¹⁰ Bloco 7L – Restaurante, dormitório e lavanderia – Potência da lavanderia.

Figura 2.22. Diagrama da metodologia utilizada para a análise de cenários.



Fonte: Autoria própria.

O primeiro cenário criado consiste na mudança de tecnologia da iluminação, onde foram substituídas as lâmpadas fluorescentes pelas lâmpadas de *LED*. A nova curva de carga pode ser calculada com a metodologia apresentada reduzindo proporcionalmente a potência destas cargas específicas de iluminação. Este é o único cenário que se trata de uma alteração no valor da demanda original do local pois, ocorre uma substituição de equipamentos por outros mais eficientes diferentemente dos outros cenários que tratam da alteração/combinção das fontes de energia elétrica ou seja, a demanda nesses cenários continua a mesma e a mudança está presente na adição ou exclusão de uma geração além da quantidade de energia que cada fonte deverá fornecer.

Para dimensionar a potência dos sistemas que envolvem energia solar fotovoltaica, cenário 2, 3, 4, 7 e 8 foram obtidos dados da radiação solar do local através da estação meteorológica do INMET [17]. Com a coleta de dados de vinte dias próximos a data da medição chegou-se no valor de irradiação de 5,57 kWh/dia em média, valor utilizado para dimensionar a potência dos sistemas fotovoltaicos responsáveis por suprir a demanda estimada de cada cenário. Para o cálculo do E.V.E. destes cenários foi considerado um valor aproximado de R\$ 5,50/Wp [18], mas neste não estão inclusos armazenadores de energia portanto, em casos em que a presença de baterias foi indispensável, cenário 3 e 4, encontrou-se a quantidade

necessária e somou ao E.V.E.. Este procedimento foi feito pela curva de potência solar (kW) gerada pelos painéis, a partir da radiação solar diária do local e da energia a ser suprida em cada cenário, e através da subtração desta com a curva de demanda (kW) de cada cenário obteve-se a curva do armazenador (kW) o que conseqüentemente permitiu o cálculo da quantidade de baterias.

No segundo cenário foram feitas alterações na geração de energia no bloco de tratamento de água, onde retirou-se a geração à óleo diesel para a inclusão de um sistema solar fotovoltaico sem baterias. É possível evitar o uso de baterias reorganizando os reservatórios de água para que sejam suficientes para a operação somente durante os períodos ensolarados. Para o E.V.T.E. a carga correspondente a este bloco é totalmente anulada a partir da geração à óleo diesel que é a situação ideal desejada, porém em situação de contingência um quadro de comando poderia permitir o uso dos grupo-geradores para a realização do tratamento. Com isto, este cenário aumenta a confiabilidade que é necessária devido à importância deste tipo de carga para o local.

O terceiro cenário atende dois blocos com geração fotovoltaica, câmara fria e lavanderia, contendo outros dois tipos de cargas consideradas fundamentais: câmara fria e bebedouro. Da mesma forma que o cenário 2, o grupo-gerador poderia ser utilizado para funcionamento em caso de emergência. Porém, ao contrário, este cenário pode não ser possível de utilizar sem banco de baterias. Para isto, a armazenagem de energia deveria ser na forma térmica, semelhante ao que ocorre em grandes *chillers*. Assim, a princípio neste caso foi considerado um sistema fotovoltaico *off-grid* com banco de baterias, para alimentação contínua destas cargas semelhante ao funcionamento na rede elétrica. Pesquisa futuras poderão ser feitas de modo a modificar estas cargas elétricas específica para que elas armazenem a refrigeração necessária permitindo o seu funcionamento fotovoltaico sem a necessidade de armazenadores de energia elétrica.

O quarto cenário foi estimado para atender toda a demanda da Escola com um sistema 100% fotovoltaico. Nesta condição, não haveria consumo de óleo diesel e os grupos-geradores seriam ligados somente em caso de emergência. Para que isto seja possível, é necessária uma considerável quantidade de baterias como é normalmente realizado em sistemas *off-grid*.

Parecido ao cenário anterior, o quinto cenário foi estimando para atender toda demanda do local em estudo, mas com um sistema 100% hidrocínético. A geração de energia elétrica através de roda d'água flutuante acoplada a um gerador elétrico é um meio alternativo que usa apenas a correnteza dos rios, sem a necessidade de construção de barragem, o que minimiza grandes impactos ambientais.

Com o objetivo de explorar e unir as fontes de geração presentes no local, o sexto, sétimo e oitavo cenário tratam de uma *microgrid* controlada por um quadro de comando. No sexto foi dimensionado um sistema hidrocínético capaz de atender uma parte da demanda sendo a restante suprida por um gerador a diesel. O sétimo foi projetado para funcionar a partir de um sistema solar fotovoltaico sem armazenamento de energia, apenas para períodos de sol, juntamente com um gerador a diesel para complementar o fornecimento nos horários restantes. Já o último cenário conta com a união de um sistema hidrocínético, solar fotovoltaico e gerador a diesel.

Para todos os cenários foram feitos estudos de viabilidade técnica através das curvas de carga, consumo de energia (kWh) e diesel (litros), e de viabilidade econômica de acordo com investimentos necessários e economia gerada durante os meses. As tabelas de viabilidade técnica apresentam apenas parâmetros referentes a geração a diesel, pois esta é a fonte que está atualmente instalada no local e que supre quase toda demanda. Sendo assim o estudo de viabilidade econômica foi feito com base no valor economizado com o óleo diesel em cada cenário, além de levar em consideração manutenção nos sistemas, vida útil, mão de obra especializada e transporte de materiais e equipamentos quando necessário.

Para o E.V.E. foi desconsiderado qualquer tipo de empréstimo em todos os cenários, mas caso seja disponível um financiamento com taxa de juros atrativa, próxima do CDI, há a tendência de melhorar a viabilidade econômica em todos os casos. Ainda se tratando do estudo de viabilidade econômica não foram feitos estudos orçamentários detalhados e nem projeto executivo dos cenários, sendo assim a estimativa do valor a ser investido em cada um deles foi dada a partir do modelo energético em estudo, de pesquisas bibliográficas e da cotação de preço para alguns itens.

2.6. CONCLUSÃO DO DESENVOLVIMENTO

A inexistência de um medidor de energia fixo no local, de medidores com memória de massa para o consumo de água e de óleo diesel de cada grupo gerador, juntamente com a variabilidade natural dos perfis de consumo (por exemplo, mudanças no clima, visitantes no local, obras e reformas) impedem a estimativa exata. Por outro lado, é justamente com esta finalidade que são utilizadas técnicas estatísticas de regressão e inferência para fornecer estimativas com erros determinados.

Todas as informações possíveis obtidas no local, das cargas elétricas, dos grupo-geradores e painéis fotovoltaicos instalados, da instalação elétrica e dos hábitos de consumo, foram utilizadas para aperfeiçoar o modelo de diagnóstico (modelo original) a ser utilizado como base para todas as demais estimativas. Ao final, os erros de consumo de energia elétrica, na Tabela 2.7, aproximaram das medições reais e os consumos de óleo diesel e água foram vinculados ao consumo de energia elétrica através de medições manuais no local. Este modelo de diagnóstico tende a ser a principal contribuição deste trabalho pelo fato de ser a base para permitir as análises apresentadas na Figura 2.22 e ter sido a parte mais extensa e trabalhosa para ser obtida. Este modelo de diagnóstico foi possível através de todas as informações técnicas, operacionais e dados levantados nas viagens realizadas até o local e com o apoio dos responsáveis pela escola.

Os cenários escolhidos para realizar as análises foram selecionados com base nas verificações iniciais e também de acordo com a necessidade principal enfatizada pela direção da escola: manter as cargas prioritárias (tratamento de água e câmara fria) reduzindo ou eliminando se possível o consumo de óleo diesel.

3. RESULTADOS

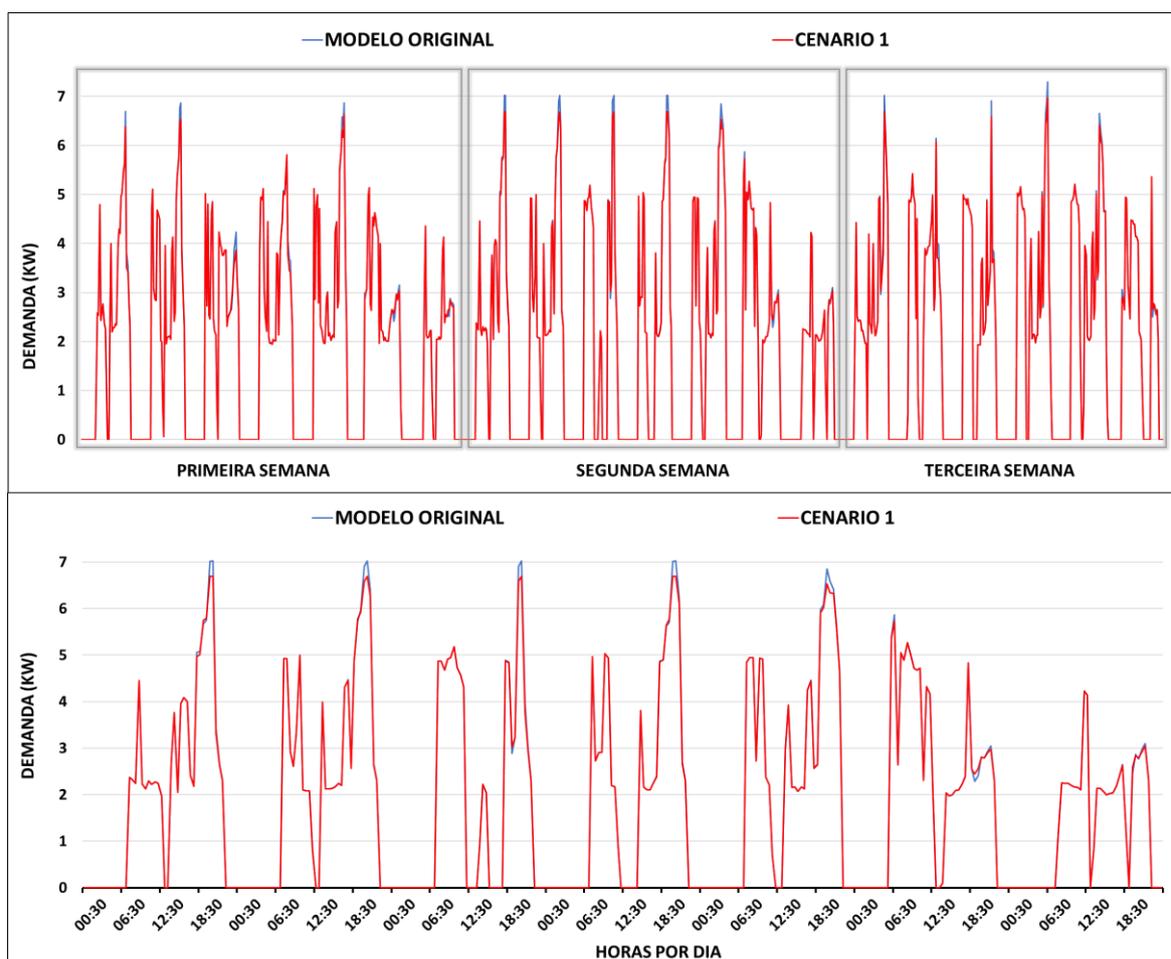
Neste capítulo serão apresentados os cenários juntamente com a análise de viabilidade técnica e econômica para cada caso. A viabilidade técnica é confirmada de acordo com o balanço energético entre as curvas de carga elétrica e das fontes de energia utilizadas para confirmar que a demanda poderá ser tecnicamente suprida. Para o estudo econômico, o valor de investimento e a economia (comparado ao modelo original) ao longo do tempo são utilizadas para calcular os principais indicadores, que são tempo de retorno, taxa interna de retorno e o valor presente líquido.

3.1. CENÁRIO 1 – TROCA DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES POR LÂMPADAS DE *LED*

As lâmpadas fluorescentes instaladas no local foram comparadas com as de *LED* para averiguar qual potência mais se adequava à troca sem perda de qualidade na iluminação. Com base na intensidade luminosa, conclui-se que a fluorescente de 20 W aproximou à de 12 W de *LED* e a de 24 W fluorescente equivale à 15 W *LED*. Os catálogos utilizados para averiguar tais informações constam em [19] [20] [21].

Na Figura 3.1 é possível verificar a curva de carga do modelo original e da estimada juntamente com um *zoom* na segunda semana caso houvesse substituição das lâmpadas indicadas, sendo observada uma mudança maior no período noturno, identificado pelos maiores picos na curva todos os dias.

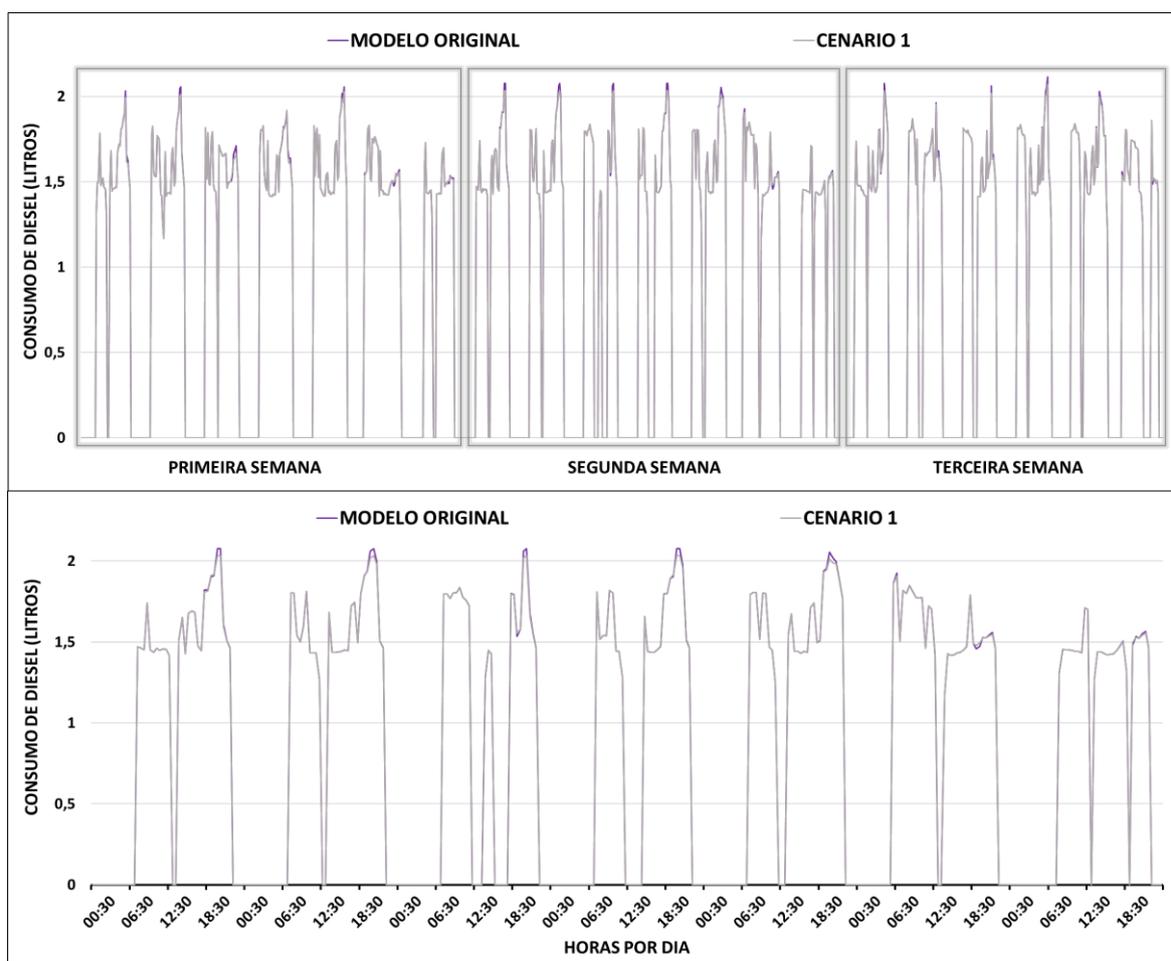
Figura 3.1. Curvas de cargas do modelo original e do cenário 1 – Troca de lâmpadas.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 3.2, na curva de consumo de óleo diesel do cenário 1 e do original, é verificado o efeito da redução do consumo de energia elétrica no consumo de óleo diesel pelos grupos geradores. Os grupos geradores possuem uma curva de consumo que inclui o seu consumo à vazio especificado pelos fabricantes e por esta razão a redução no consumo de óleo diesel é mais significativa, quando o grupo-gerador pode ser desligado, e menor do que o efeito observado na redução de carga elétrica.

Figura 3.2. Consumo de diesel do modelo original e do cenário 1 - Troca de lâmpadas.



Fonte: Autoria própria.

A Tabela 3.1 apresenta quantitativamente o efeito na redução de consumo de energia elétrica. A redução é pequena comparado ao consumo total e ela ainda é proporcionalmente menor para a redução no consumo de óleo diesel, o que refletiu em uma economia mensal estimada muito pequena, apesar de tecnicamente viável.

Tabela 3.1. E.V.T. do cenário 1 - Troca de lâmpadas.

	Modelo Original	Cenário 1	Diferença
Energia Consumida Mensal (kWh)	1.436,83	1.427,27	9,56
Diesel Consumido Mensal (Litros)	1.347,67	1.345,18	2,49
Gasto com Diesel Mensal (R\$)	5.997,15	5.986,04	11,11

Fonte: Autoria própria.

Para a realização do E.V.E foi verificado em [20] [21] que a vida útil de uma lâmpada de *LED* é igual a 25.000 horas e pelo uso médio diário de 5 horas chega-se que o tempo para troca é de 13 anos e 8 meses. Para este período o TIR e VPL foram negativos, conforme Tabela 3.2, o que torna inviável o investimento deste cenário para a escola.

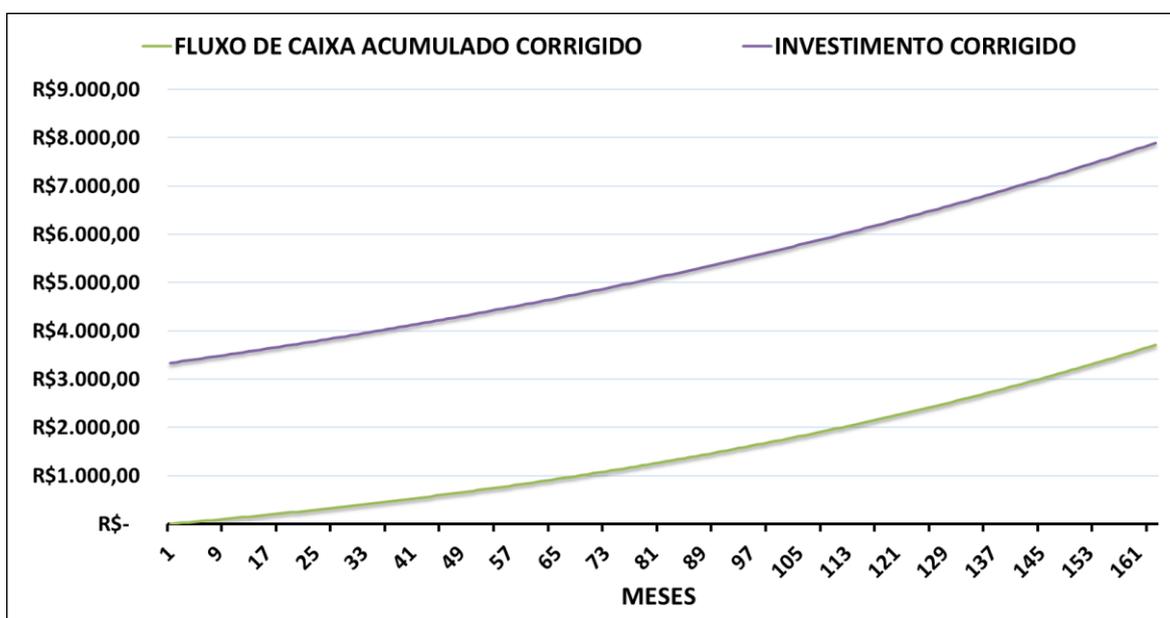
Tabela 3.2. E.V.E. do cenário 1 - Troca de lâmpadas.

Investimento Total (R\$)	3.335,00
Economia Mensal (R\$)	11,11
TIR a.m. (%)	< 0
VPL (R\$)	-410.748,29
Payback (Meses)	-

Fonte: Autoria própria.

A Figura 3.3 mostra os valores acumulados e corrigidos mensalmente pelo CDI para o cenário sendo possível comparar a diferença entre o investimento corrigido (caso não fosse utilizado e deixando aplicado em renda fixa) e a curva do fluxo de caixa acumulado e corrigido. Como as curvas não se cruzam mesmo neste período de 13 anos, então não haverá retorno sobre o recurso investido.

Figura 3.3. Valores acumulados para o cenário 1 - Troca de lâmpadas.



Fonte: Autoria própria.

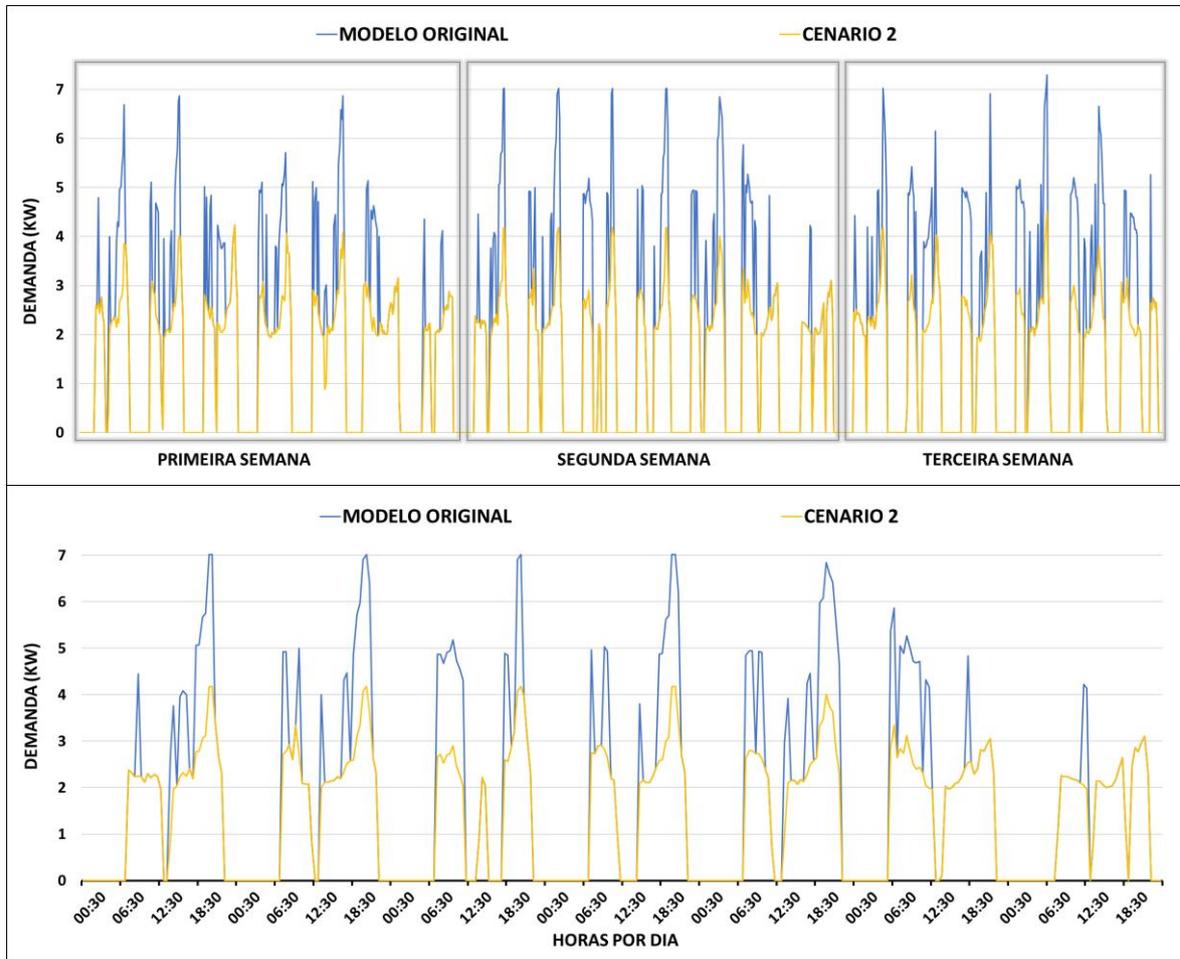
Esta inviabilidade se deve às características locais da escola, o que não pode ser estendido à diferentes aplicações, como a iluminação pública e urbana, onde normalmente é vantajosa a substituição por lâmpada *LED*.

3.2. CENÁRIO 2 – TRATAMENTO DE ÁGUA SUPRIDO POR UM SISTEMA FOTOVOLTAICO SEM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Este cenário requer uma alteração no comportamento do tratamento de água, pois atualmente existe uma demanda a ser suprida pelos geradores à diesel no período noturno, o que não seria possível ser feito com o sistema fotovoltaico sem armazenamento de energia elétrica (baterias). Esta alteração consiste basicamente na modificação de um dos reservatórios a partir da elevação de uma caixa d'água baixa já tratada, para que as etapas de tratamento sejam feitas somente com bombeamento de água diurno e assim a energia armazenada de forma mecânica potencial. O uso dos geradores fica limitados apenas para casos extremos como problema no sistema fotovoltaico.

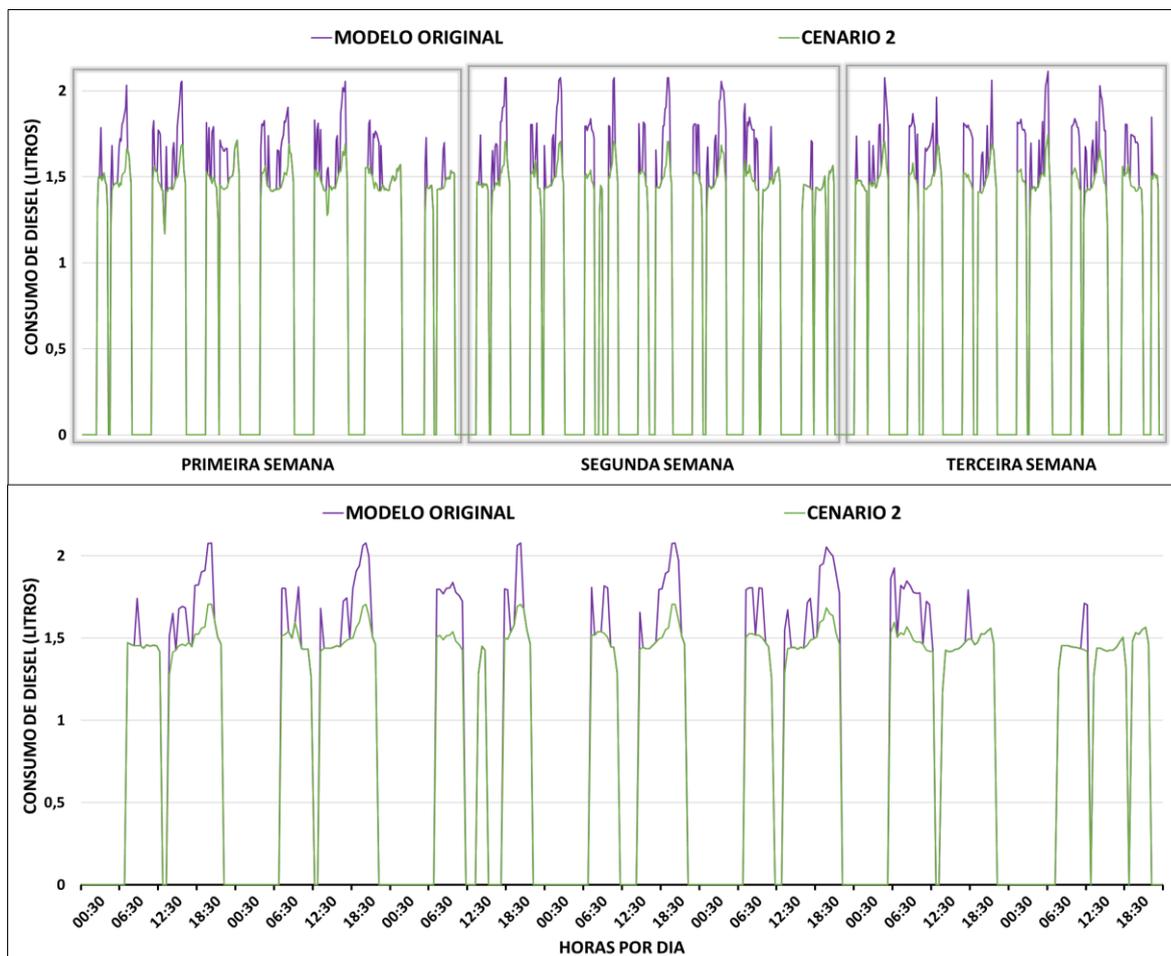
A Figura 3.4 e Figura 3.5 apresentam respectivamente as curvas de carga e de consumo de diesel juntamente com o *zoom* na segunda semana e pode-se observar que a quantidade de energia absorvida dos geradores para atender a Escola, sem o cenário 2, é bem menor do que a quantidade de combustível devido ao consumo de diesel a vazio do grupo gerador.

Figura 3.4. Curvas de cargas do modelo original e do cenário 2 – Tratamento de água suprido por alimentação solar.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3.5. Consumo de diesel do modelo original e do cenário 2 - Tratamento de água suprido por alimentação solar.



Fonte: Autoria própria.

A demanda de energia total da escola continua sendo a mesma, mas devido ao bloco do tratamento de água ser retirado da geração a diesel e incluído num sistema solar fotovoltaico consequentemente a demanda dos geradores é menor, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3. E.V.T. do cenário 2 - Tratamento de água suprido por alimentação solar.

	Modelo Original	Cenário 2	Diferença
Energia Consumida Mensal (kWh)	1.436,83	1.038,05	398,78
Diesel Consumido Mensal (Litros)	1.347,67	1.243,59	104,08
Gasto com Diesel Mensal (R\$)	5.997,15	5.533,98	463,17

Fonte: Autoria própria.

Para a realização do E.V.E. foi verificado que a vida útil de um sistema solar fotovoltaico dura em média 25 anos e os inversores 10 anos [22] [23]. Assim, foram considerados gastos adicionais, sendo a cada 6 meses 1% do investimento total para a limpeza, conforme [24], e 19% do investimento total do sistema para os inversores [18]. A dificuldade de acesso e de mão de obra ao local de estudo também foram levadas em consideração para os valores adotados.

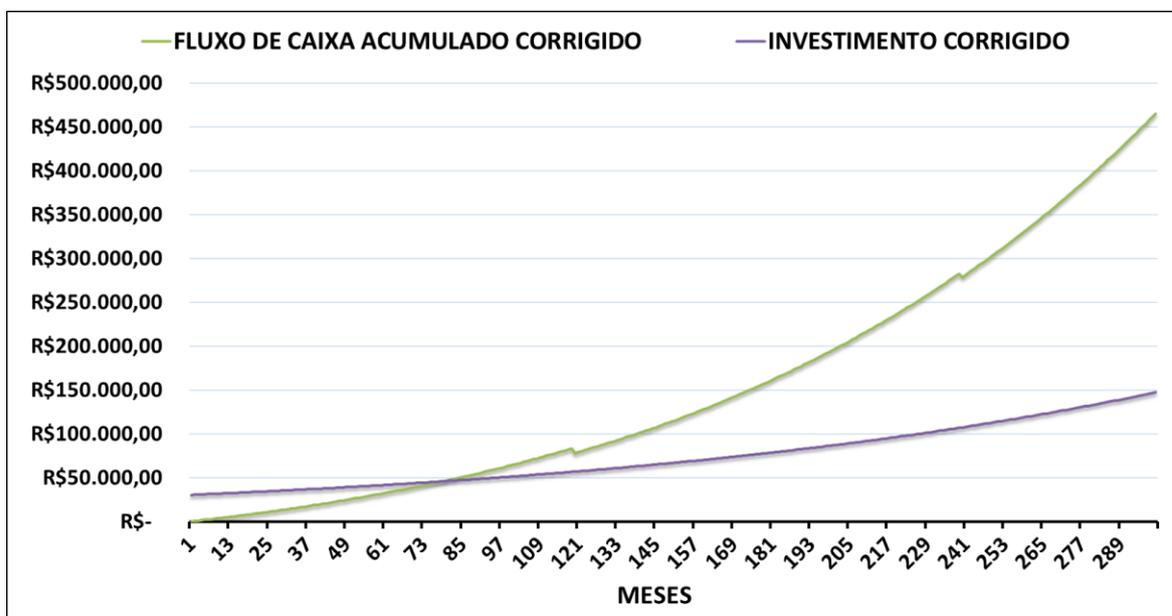
A Tabela 3.4 apresenta os valores econômicos encontrados para o cenário em questão o que mostra a viabilidade do investimento e o tempo de retorno é de 6 anos e 8 meses, 80 meses, conforme Figura 3.6.

Tabela 3.4. E.V.E. do cenário 2 - Tratamento de água suprido por alimentação solar.

Investimento Total (R\$)	30.320,68
Economia Mensal (R\$)	463,17
TIR a.m. (%)	1,52
VPL (R\$)	5.655.682,85
Payback (Meses)	80

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.6. Valores acumulados para o cenário 2 - Tratamento de água suprido por alimentação solar.

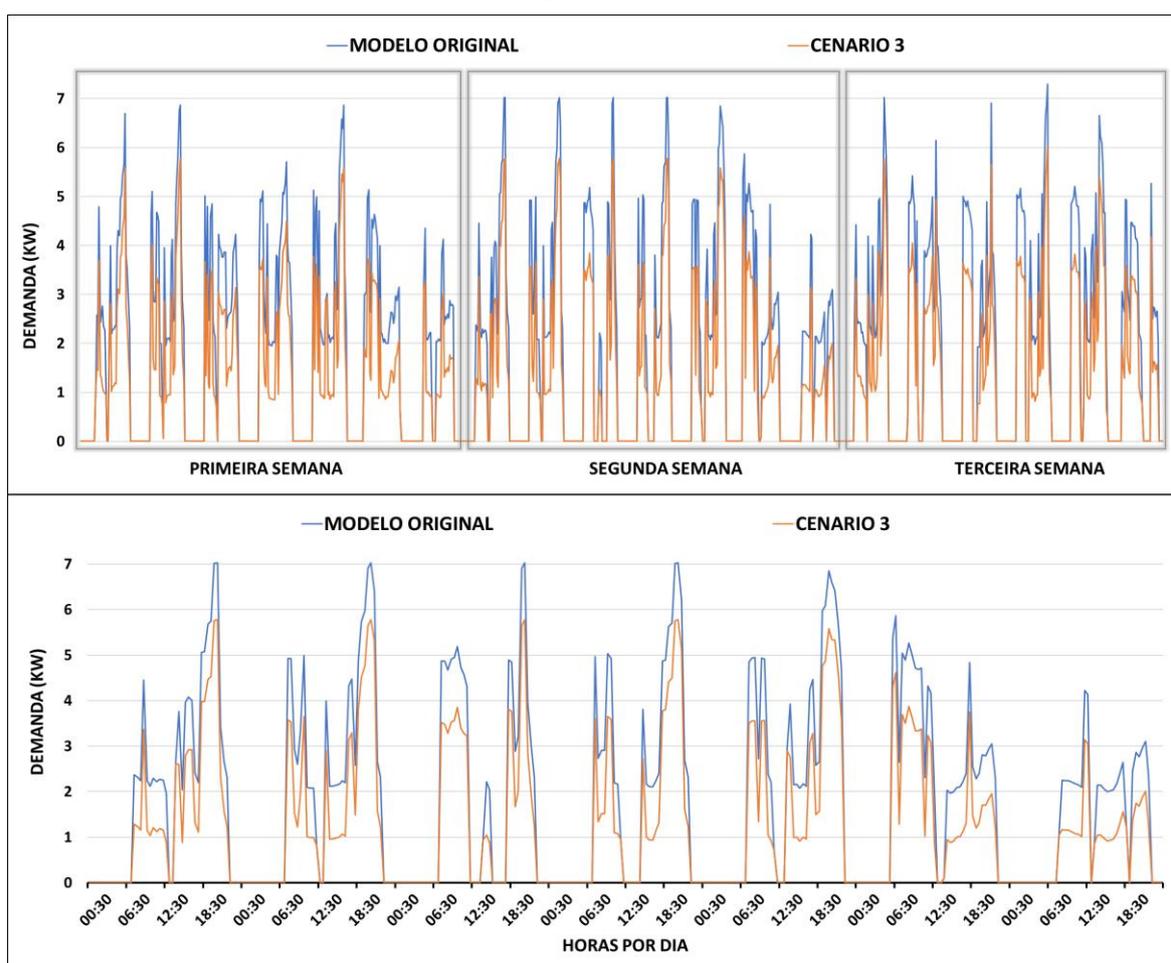


Fonte: Autoria própria.

3.3. CENÁRIO 3 – CÂMARAS FRIAS, LAVANDERIA E BEBEDOURO ALIMENTADOS POR UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM ARMAZENADORES DE ENERGIA

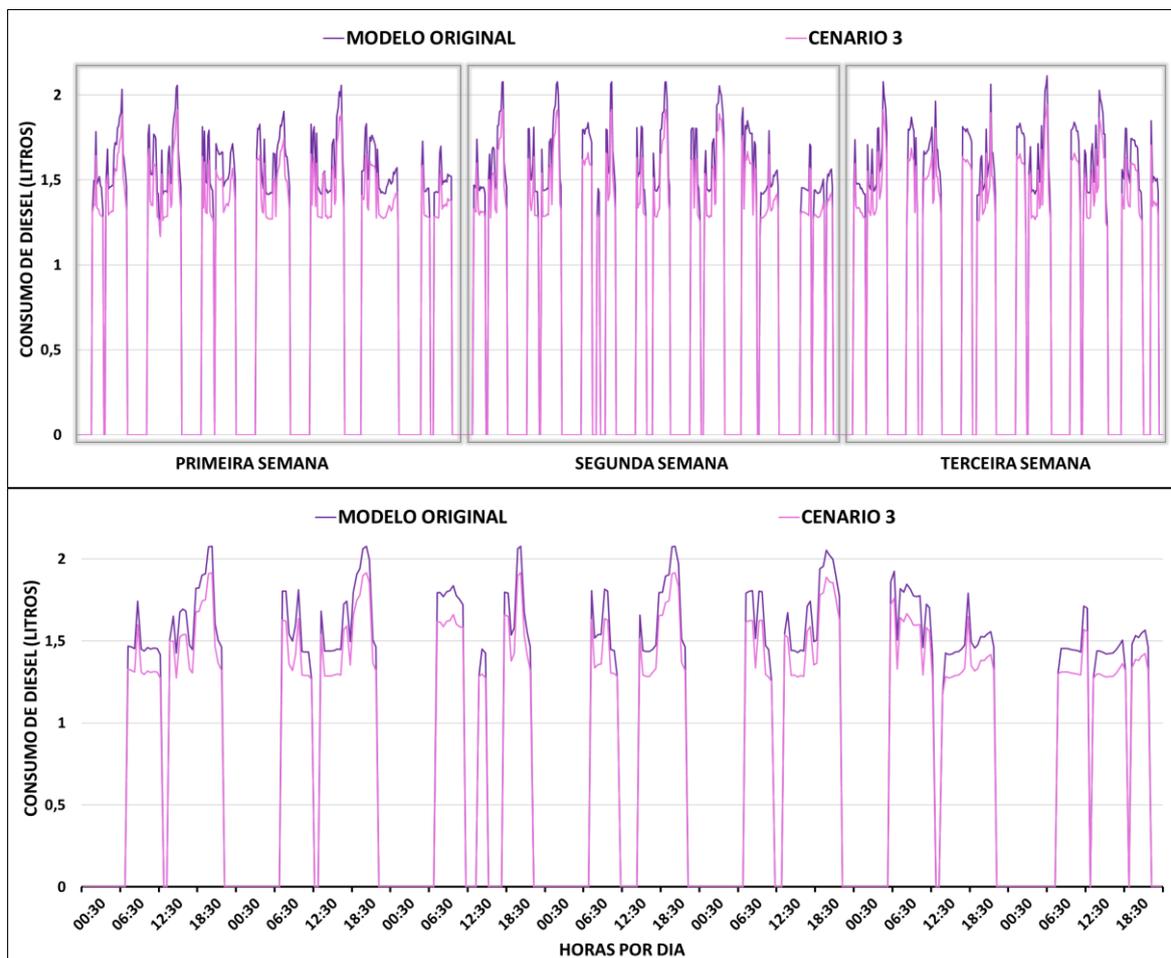
Com a intenção de retirar as cargas prioritárias, câmaras frias e o bebedouro e a lavanderia da alimentação à diesel criou-se o cenário 3, sendo o uso dos geradores apenas em caso de problemas no sistema fotovoltaico. Na Figura 3.7 e Figura 3.8, curvas de carga e de consumo de diesel respectivamente juntamente com o *zoom* na segunda semana, pode-se observar uma redução significativa no consumo de energia, porém a redução no combustível que alimenta o grupo gerador é menor devido a máquina ser de grande potência e ter uma parte do funcionamento a vazio. A Tabela 3.5 apresenta os valores do E.V.T..

Figura 3.7. Curvas de cargas do modelo original e do cenário 3 – Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3.8. Consumo de diesel do modelo original e do cenário 3 - Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.



Fonte: Autoria própria.

A diferença de consumo entre energia consumida do modelo original e do cenário 3 é a energia que agora é fornecida pelo sistema fotovoltaico criado no cenário 3 e não mais pelos geradores a diesel.

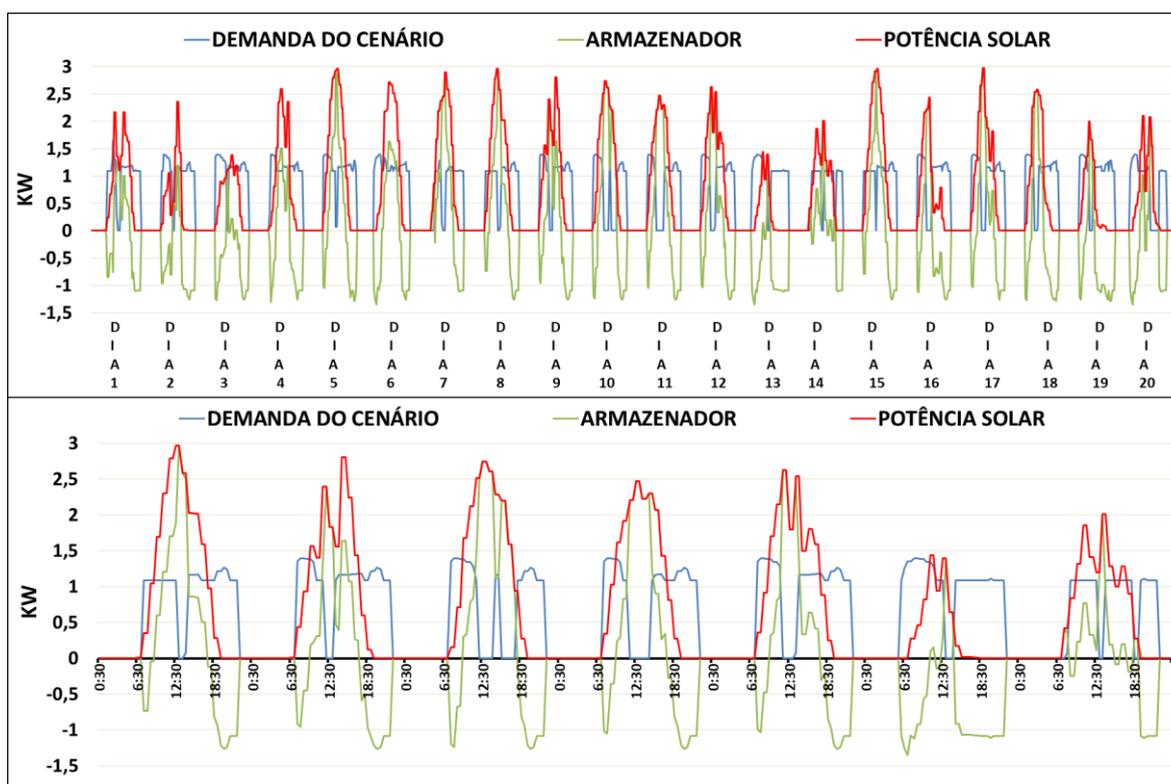
Tabela 3.5. E.V.T do cenário 3 - Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.

	Modelo Original	Cenário 3	Diferença
Energia Consumida Mensal (kWh)	1.436,83	966,21	470,62
Diesel Consumido Mensal (litros)	1.347,67	1.224,84	122,83
Gasto com Diesel Mensal (R\$)	5.997,15	5.450,54	546,61

Fonte: Autoria própria.

Devido a Escola funcionar também em períodos em que a energia solar não está disponível é indispensável a presença de baterias para atender este cenário e o cálculo da mesma ocorre a partir das curvas presentes na Figura 3.9. Foi encontrado o valor de 13 baterias e acrescido no E.V.E, Tabela 3.6, sendo 5 anos o tempo para troca destes equipamentos [23].

Figura 3.9. Curva de potência solar, curva de demanda do cenário 3 e curva do armazenador.



Fonte: Autoria própria.

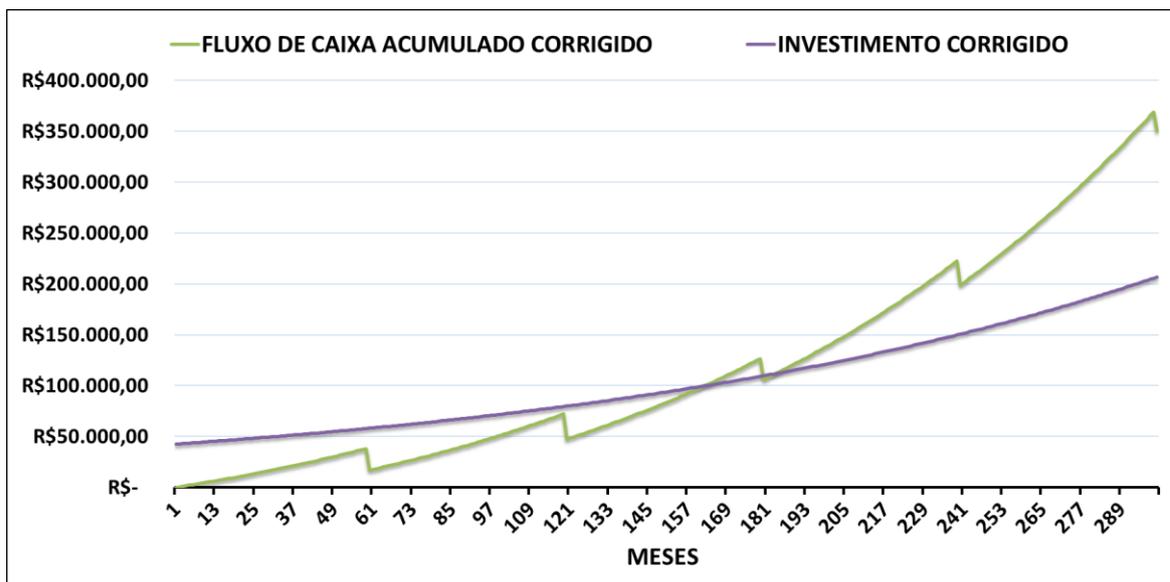
Pode-se verificar no estudo de viabilidade econômica, Tabela 3.6, que apesar de existir um o retorno no investimento, 184 meses mostrado na Figura 3.10 o valor presente líquido é negativo o que indica uma inviabilidade neste investimento.

Tabela 3.6. E.V.E. cenário 3 - Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.

Investimento Total (R\$)	42.584,12
Economia Mensal (R\$)	546,60
TIR a.m. (%)	0,34
VPL (R\$)	-945.032,87
Payback (meses)	184

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.10. Valores acumulados para o cenário 3 - Bloco da câmara fria e lavanderia alimentados por um sistema fotovoltaico.



Fonte: Autoria própria.

3.4. CENÁRIO 4 – ESCOLA JATOBAZINHO ALIMENTADA POR UM SISTEMA 100% FOTOVOLTAICO COM ARMAZENADORES DE ENERGIA

O cenário 4 consiste na substituição total dos grupos geradores à óleo diesel por um sistema *off-grid* de geração solar fotovoltaica, conforme apresenta Tabela 3.7. É provável que a independência energética da escola do óleo diesel estimule gradativamente o aumento do consumo e da demanda, porém este cenário foi estimado considerando que a demanda e o consumo permanecerão iguais ao original. Ou seja, se houver o aumento de consumo necessitaria a ampliação do sistema fotovoltaico, o que poderia ser estudado do ponto de vista técnico e econômico separadamente. Os sistemas normalmente são dimensionados prevendo pequenas ampliações, mas no caso de grandes ampliações serem previstas pela direção da escola em curto prazo seria recomendado redimensionar a instalação.

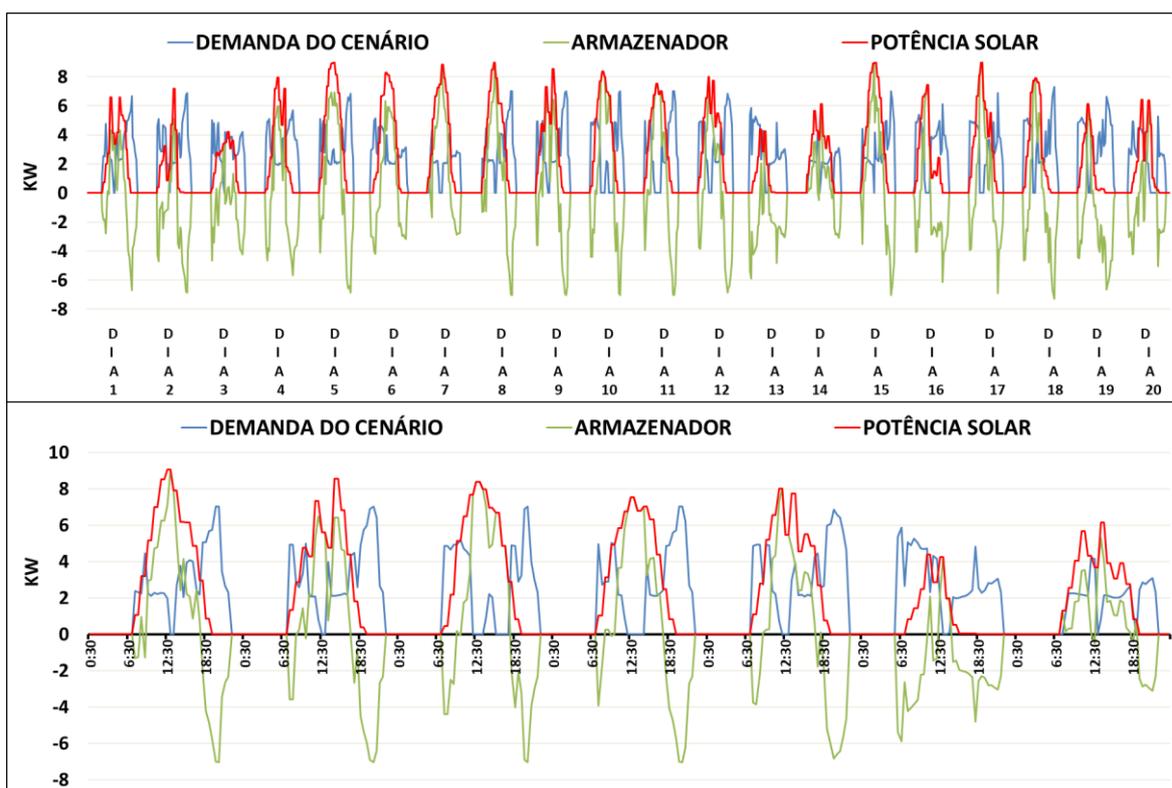
Tabela 3.7. E.V.T. cenário 4 - Escola toda alimentada por um sistema 100% fotovoltaico.

	Modelo Original	Cenário 4	Diferença
Energia Consumida Mensal (kWh)	1.436,83	1.436,83	0
Diesel Consumido Mensal (litros)	1.347,67	0	1.347,67
Gasto com Diesel Mensal (R\$)	5.997,15	0	5.997,15

Fonte: Autoria própria.

A partir da curva do armazenador, Figura 3.11, chegou-se a quantia de 38 baterias cujo custo foi somado na Tabela 3.8. Devido a localização do local de estudo e a dificuldade de acesso, essa quantidade de bateria é algo significativo na hora da substituição e descarte o que causará grandes problemas a natureza se deixadas no meio ambiente.

Figura 3.11. Curva de potência solar, curva de demanda do cenário 4 e curva do armazenador estimadas.



Fonte: Autoria própria.

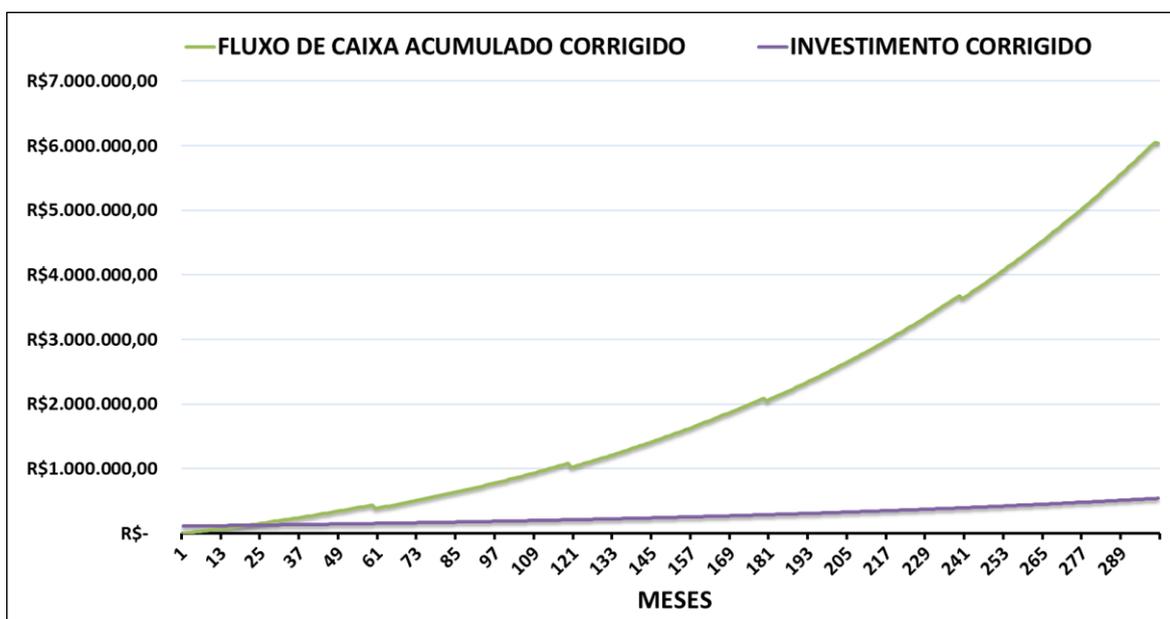
Tabela 3.8. E.V.E. cenário 4 - Escola toda alimentada por um Sistema 100% fotovoltaico.

Investimento Total (R\$)	111.873,72
Economia Mensal (R\$)	5.997,15
TIR a.m. (%)	5,47
VPL (R\$)	167.325.580,48
Payback (meses)	21

Fonte: Autoria própria.

A Figura 3.12 mostra os valores acumulados para o cenário 4 e pode-se observar um rápido retorno no investimento.

Figura 3.12. Valores acumulados para o cenário 4 – Escola toda alimentada por um sistema 100% fotovoltaico.



Fonte: Autoria própria.

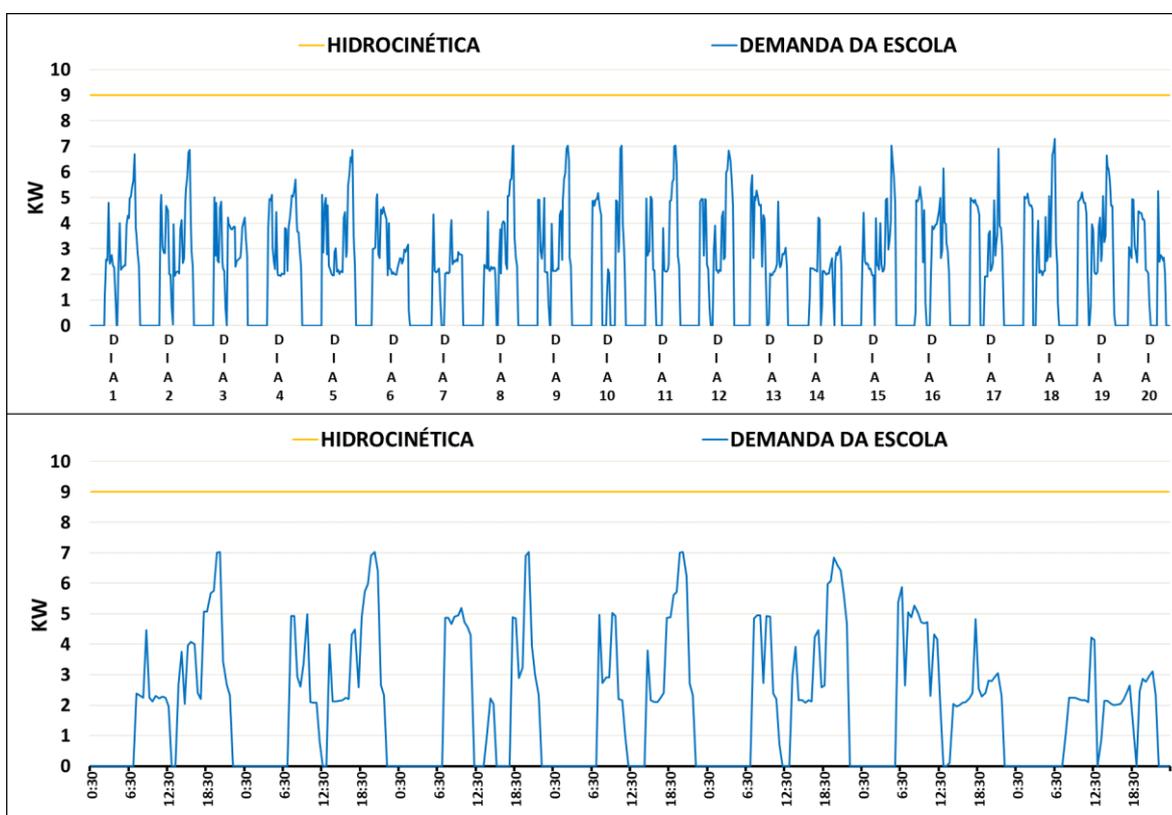
3.5. CENÁRIO 5 – ESCOLA JATOBAZINHO ALIMENTADA POR UM SISTEMA 100% HIDROcinético

Sabe-se que o local de estudo está localizado no meio do rio Paraguai e com o objetivo de explorar a área este cenário consiste na geração de energia elétrica através do movimento da água dos rios. De acordo com o pico de demanda estimado da Escola no valor de 8,99 kW, já incluso o desvio padrão médio e o nível de confiança, foi dimensionado um

sistema com 6 rodas d'água flutuante acopladas em geradores totalizando uma potência instalada de 9 kW, conforme apresenta Figura 3.13. Dessa forma foi possível atender toda Escola sem os geradores a diesel, conforme Tabela 3.9, sendo que a operação deles acontece apenas em caso de emergência, assim como no cenário anterior.

Não foi feito levantamento de dados a respeito da velocidade da água do rio ao longo do tempo. Portanto, foi considerado que a velocidade é aproximadamente constante e permite que uma potência constante.

Figura 3.13. Curva de demanda da Escola e curva da geração hidrocínética – cenário 5.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3.9. E.V.T. cenário 5 - Escola toda alimentada por um sistema 100% hidrocínético.

	Modelo Original	Cenário 5	Diferença
Energia Consumida Mensal (kWh)	1.436,83	1.436,83	0
Diesel Consumido Mensal (litros)	1.347,67	0	1.347,67
Gasto com Diesel Mensal (R\$)	5.997,15	0	5.997,15

Fonte: Autoria própria.

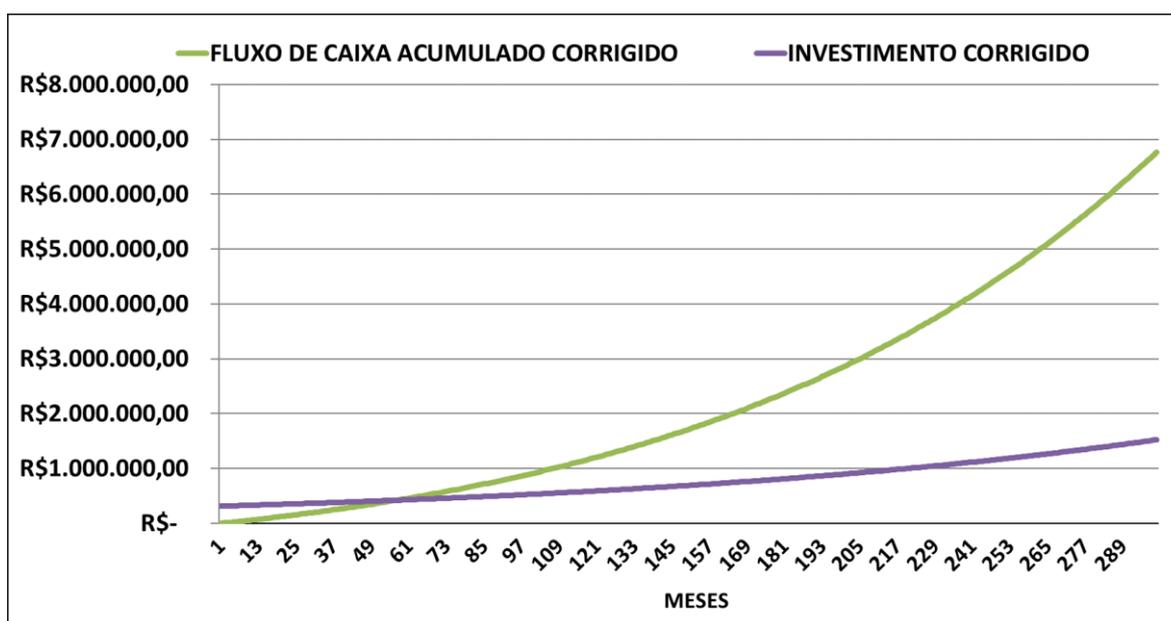
A instalação dos equipamentos, o transporte até o local e a manutenção está computado no estudo de viabilidade econômica, Tabela 3.10 e a Figura 3.14 apresenta os valores acumulados juntamente com o tempo para retorno do investimento.

Tabela 3.10. E.V.E. cenário 5 - Escola toda alimentada por um sistema 100% hidrocínético.

Investimento Total (R\$)	314.000,00
Economia Mensal (R\$)	5.997,15
TIR a.m. (%)	2,19
VPL (R\$)	130.538.471,29
Payback (meses)	58

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.14. Valores acumulados para o cenário 5 - Escola toda alimentada por um sistema 100% hidrocínético.



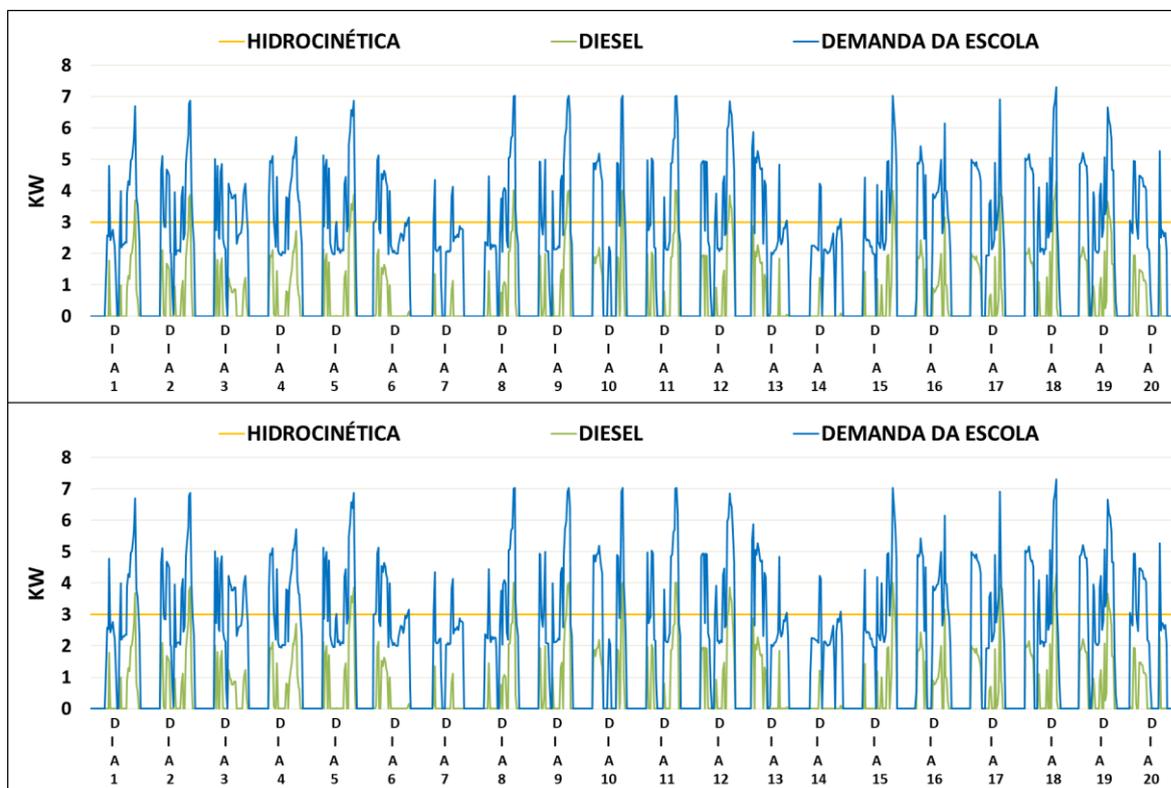
Fonte: Autoria própria.

3.6. CENÁRIO 6 – ESCOLA JATOBAZINHO ALIMENTADA POR UMA MICROGRID (SISTEMA HIDROCINÉTICO + GERADOR A ÓLEO DIESEL)

Este cenário consiste na junção de duas fontes de geração de energia: um sistema hidrocínético com duas turbinas capaz de fornecer 3 kW juntamente com o gerador a diesel de

8,8 kW, já existente no local, para suprir a demanda restante. Na Figura 3.15 pode-se ver as curvas de demanda estimadas.

Figura 3.15. Curva de demanda da Escola e da *microgrid* (geração hidrocínética + diesel) – cenário 6.



Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar na Tabela 3.11 que a energia a ser disponibilizada pelo gerador neste cenário é bem menor do que a do modelo original. Conseqüentemente o consumo do diesel também reduziu, pois com uma menor demanda dependente dos geradores pode-se optar pela operação dos de menor potência, 3 ou 4, o que contribuiu com a redução do gasto a vazio.

Tabela 3.11. E.V.T. cenário 6 - Escola alimentada por uma *microgrid* (geração hidrocínética + diesel).

	Modelo Original	Cenário 6	Diferença
Energia Consumida Mensal (kWh)	1.436,83	231,11	1.205,72
Diesel Consumido Mensal (litros)	1.347,67	245,09	1.102,58
Gasto com Diesel Mensal (R\$)	5.997,15	1.090,66	4.906,49

Fonte: Autoria própria.

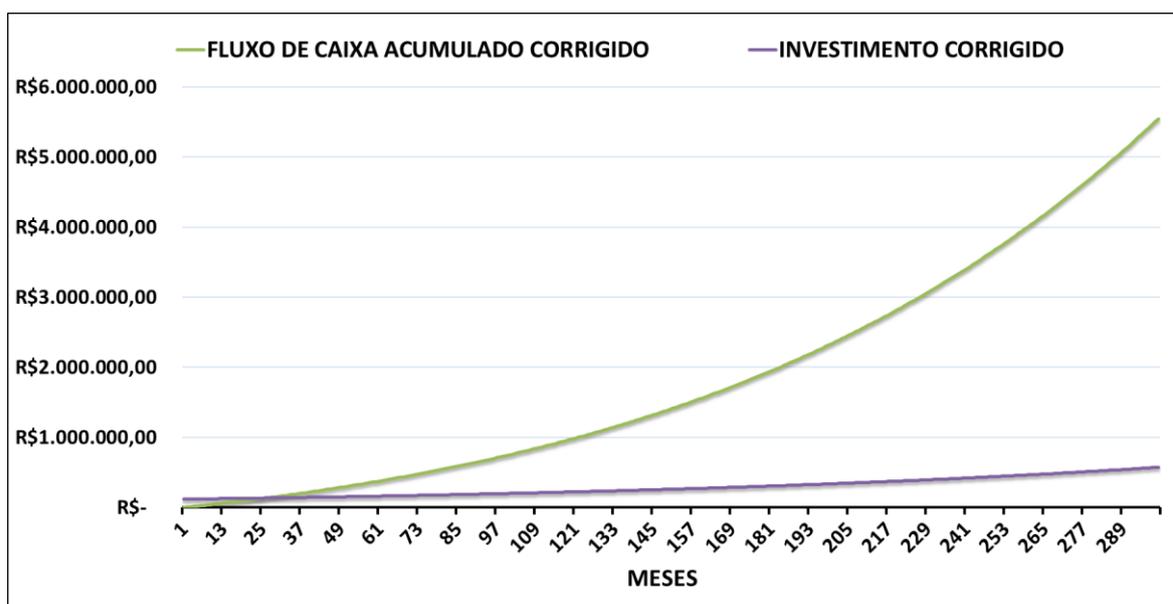
A Tabela 3.12 apresenta o estudo de viabilidade econômica e a Figura 3.16 mostra os valores acumulados para o cenário 6.

Tabela 3.12. E.V.E. cenário 6 - Escola alimentada por uma *microgrid* (geração hidrocinética + diesel).

Investimento Total (R\$)	118.000,00
Economia Mensal (R\$)	4.906,49
TIR a.m. (%)	4,45
VPL (R\$)	148.419.683,69
Payback (meses)	27

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.16. Valores acumulados para o cenário 6 - Escola alimentada por uma *microgrid* (geração hidrocinética + diesel).



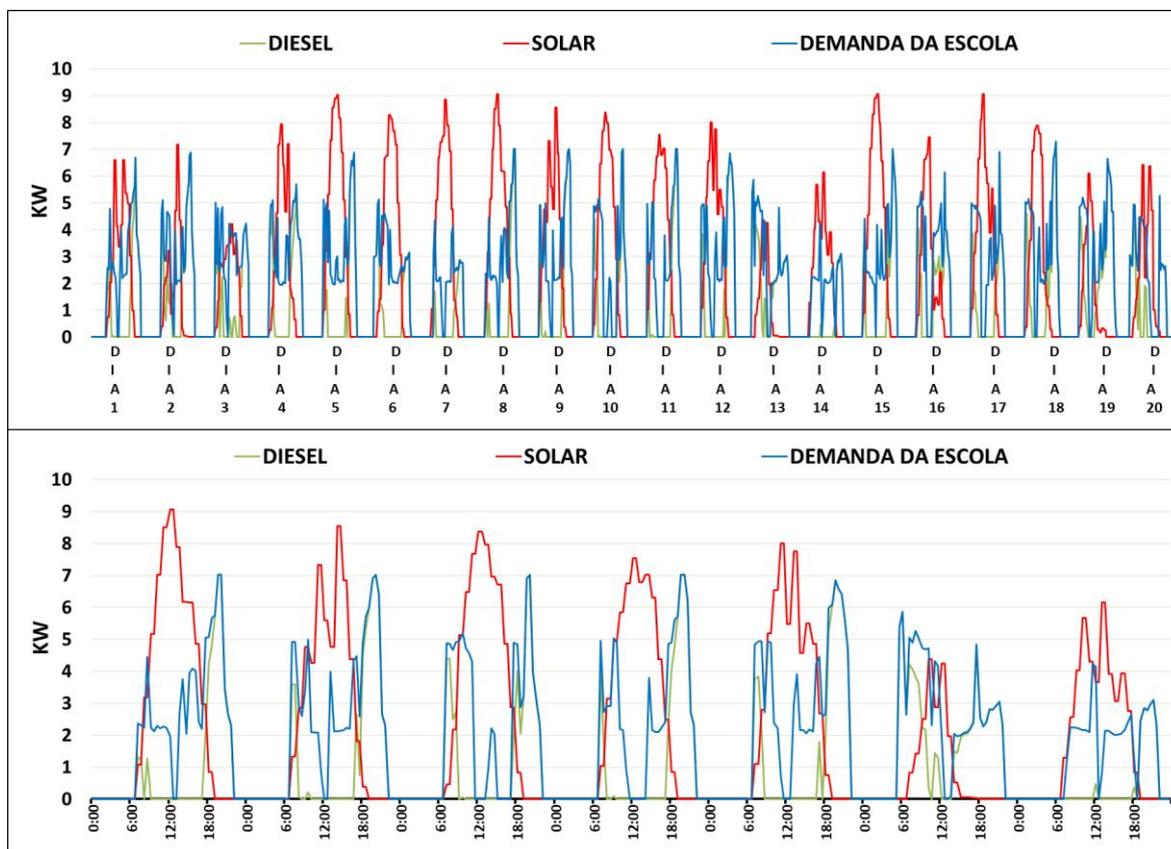
Fonte: Autoria própria.

3.7. CENÁRIO 7 – ESCOLA JATOBAZINHO ALIMENTADA POR UMA MICROGRID (SISTEMA FOTOVOLTAICO + GERADOR A ÓLEO DIESEL)

A ideia de combinar sistema fotovoltaico sem armazenamento de energia com gerador a diesel está presente no cenário 7 de maneira que, o primeiro sistema fica responsável

por minimizar o consumo de diesel nos períodos de alta radiação solar. Em [9] foi realizado um projeto semelhante. A Figura 3.17 apresenta as curvas de demanda estimadas.

Figura 3.17. Curva de demanda da Escola e da *microgrid* (geração fotovoltaica + diesel) – cenário 7.



Fonte: Autoria própria.

A Escola também possui atividades no período noturno e neste período apenas o gerador será capaz de fornecer energia. Ainda que a demanda a ser suprida seja um pouco maior do que a do cenário anterior, a potência do gerador 3 ou 4 consegue atender. A Tabela 3.13 apresenta o E.V.T. deste cenário.

Tabela 3.13. E.V.T. cenário 7 - Escola alimentada por uma *microgrid* (geração fotovoltaica + diesel).

	Modelo Original	Cenário 7	Diferença
Energia Consumida Mensal (kWh)	1.436,83	505,52	931,31
Diesel Consumido Mensal (litros)	1.347,67	449,46	898,21
Gasto com Diesel Mensal (R\$)	5.997,15	2.000,11	3.997,04

Fonte: Autoria própria.

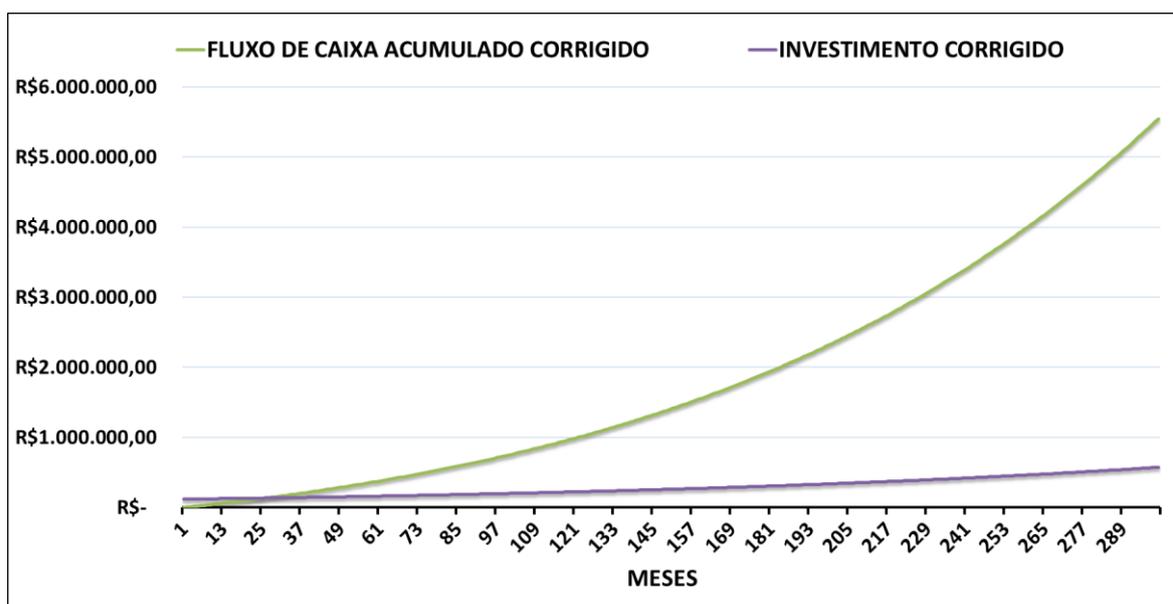
A Tabela 3.14 apresenta o estudo de viabilidade econômica e a Figura 3.18 mostra os valores acumulados para o cenário 7.

Tabela 3.14. E.V.E. cenário 7 - Escola alimentada por uma *microgrid* (geração fotovoltaica + diesel).

Investimento Total (R\$)	62.273,94
Economia Mensal (R\$)	3.997,03
TIR a.m. (%)	6,60
VPL (R\$)	128.572.955,79
Payback (meses)	18

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.18. Valores acumulados para o cenário 7 - Escola alimentada por uma *microgrid* (geração fotovoltaica + diesel).



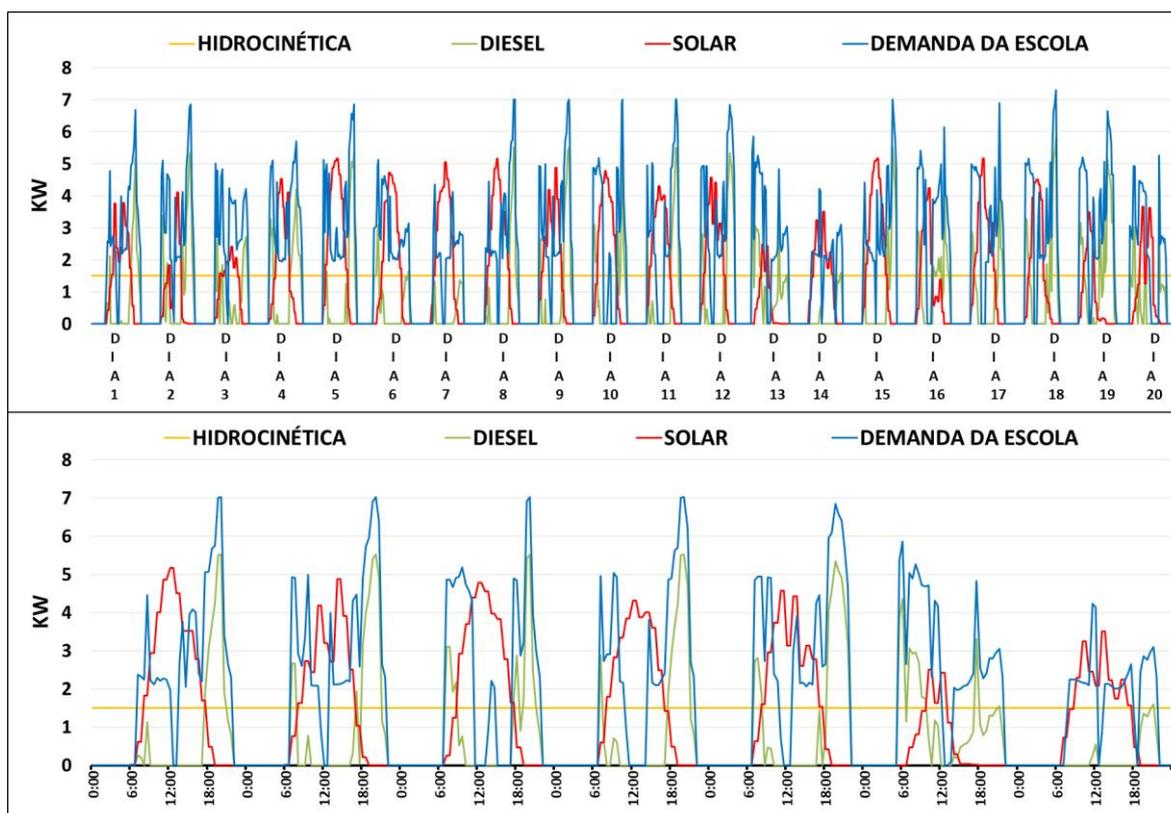
Fonte: Autoria própria.

3.8. CENÁRIO 8 – ESCOLA JATOBAZINHO ALIMENTADA POR UMA *MICROGRID* (SISTEMA HIDROcinÉTICO + SISTEMA FOTOVOLTAICO + GERADOR A ÓLEO DIESEL)

O cenário 8 vem acompanhado da ideia de unir todas as fontes de energia elétrica possíveis de operar no local de estudo. O sistema hidrocínético é composto por uma única

turbina com um gerador de 1,5 kW que irá complementar o gerador a diesel, de 8,8 kW, no fornecimento de energia durante a noite e o sistema fotovoltaico ficará responsável por minimizar o consumo de diesel nos períodos de alta radiação solar. A Figura 3.19 apresenta as curvas de demanda estimadas e a Tabela 3.15 apresenta o estudo de viabilidade técnica.

Figura 3.19. Curva de demanda da Escola e da *microgrid* (geração fotovoltaica + hidrocinética + diesel) – cenário 8.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3.15. E.V.T. cenário 8 - Escola alimentada por uma *microgrid* (geração fotovoltaica + hidrocinética + diesel).

	Modelo Original	Cenário 8	Diferença
Energia Consumida Mensal (kWh)	1.436,83	330,85	1.105,98
Diesel Consumido Mensal (litros)	1.347,67	331,57	1.016,10
Gasto com Diesel Mensal (R\$)	5.997,15	1.475,47	4.521,68

Fonte: Autoria própria.

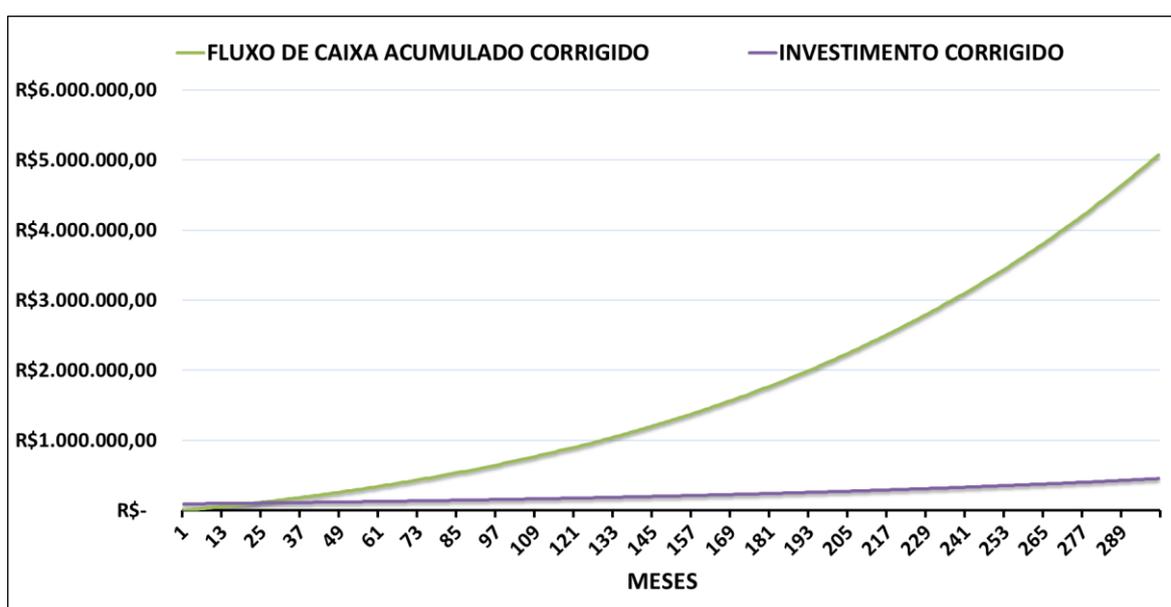
A Tabela 3.16 apresenta o estudo de viabilidade econômica e a Figura 3.20 mostra os valores acumulados para o cenário 8.

Tabela 3.16. E.V.E. cenário 8 - Escola alimentada por uma *microgrid* (geração fotovoltaica + hidrocinética + diesel).

Investimento Total (R\$)	93.491,62
Economia Mensal (R\$)	4.521,68
TIR a.m. (%)	5,10
VPL (R\$)	140.135.912,66
Payback (meses)	23

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.20. Valores acumulados para o cenário 8 - Escola alimentada por uma *microgrid* (geração fotovoltaica + hidrocinética + diesel).



Fonte: Autoria própria.

3.9. COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS

Na Tabela 3.17 são apresentados os dados do E.V.T. de todos os cenários e em destaque encontram-se os valores com maior econômica de energia, diesel e gasto com diesel. Desta forma pode-se afirmar que os cenários que possuem um maior impacto no estudo técnico

são os cenários 4 e 5, pois ambos anulam completamente o consumo de diesel, deixando-o apenas para casos de emergência.

Tabela 3.17. E.V.T. mensal de todos os cenários.

	kWh supridos a diesel		litros		R\$	
	Consumo de Energia	Economia de Energia	Consumo de Diesel	Consumo de Energia	Economia de Energia	Consumo de Diesel
Modelo Original	1.436,83	0	1.347,67	0	5.997,15	0
CENÁRIO 1 (lâmpada LED)	1.427,27	9,56	1.345,18	2,49	5.986,04	11,11
CENÁRIO 2 (tratamento de água solar)	1.038,05	398,78	1.243,59	104,08	5.533,98	463,17
CENÁRIO 3 (cargas prioritárias com energia solar)	966,21	470,62	1.224,84	122,83	5.450,54	546,61
CENÁRIO 4 (100% energia solar)	0	1.436,83	0	1.347,67	0	5.997,15
CENÁRIO 5 (sistema 100% hidrocínético)	0	1.436,83	0	1.347,67	0	5.997,15
CENÁRIO 6 (microgrid – hidrocínético + geradores)	231,11	1.205,72	245,09	1102,58	1.090,66	4.906,49
CENÁRIO 7 (microgrid – energia solar + geradores)	505,52	931,31	449,46	898,21	2.000,11	3.997,04
CENÁRIO 8 (microgrid – hidrocínético + energia solar + geradores)	330,85	1.105,98	331,57	1016,10	1475,47	4521,68

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 3.18 apresenta o E.V.E. de todos os cenários sendo que em cada coluna temos destacado o melhor caso, em azul, e o pior, em vermelho para cada variável separadamente.

Tabela 3.18. E.V.E. mensal de todos os cenários.

	R\$			%	meses
	Investimento Total	Economia Mensal	VPL	TIR	Payback
CENÁRIO 1 (lâmpada <i>LED</i>)	3.335,00	11,11	-410.748,29	< 0	-
CENÁRIO 2 (tratamento de água solar)	30.320,68	463,17	5.655.682,85	1,52	80
CENÁRIO 3 (cargas prioritárias com energia solar)	42.584,12	546,60	-945.032,87	0,34	184
CENÁRIO 4 (100% energia solar)	111.873,72	5.997,15	167.325.580,48	5,47	21
CENÁRIO 5 (sistema 100% hidrocínético)	314.000,00	5.997,15	130.538.471,29	2,19	58
CENÁRIO 6 (<i>microgrid</i> – hidrocínético + geradores)	118.000,00	4.906,49	148.419.683,69	4,45	27
CENÁRIO 7 (<i>microgrid</i> – energia solar + geradores)	62.273,94	3.997,03	128.572.955,79	6,60	18
CENÁRIO 8 (<i>microgrid</i> – hidrocínético + energia solar + geradores)	93.491,62	4.521,68	140.135.912,66	5,10	23

Fonte: Autoria própria.

Pode-se afirmar que o estudo de viabilidade técnica e econômica é a análise conjunta dos dois estudos, pois ambos estudos devem possuir pontos positivos, como economia de diesel, econômica de gasto com o diesel, VPL e TIR positivos além de existir payback para que a implantação de um cenário seja viável. A Tabela 3.19 apresenta o E.V.T.E. de cada cenário, o que mostra com mais clareza a viabilidade de cada escolha.

Tabela 3.19. E.V.T.E. de todos os cenários.

Cenário	E.V.T.	E.V.E.	E.V.T.E.
CENÁRIO 1 (lâmpada LED)	viável	inviável	inviável
CENÁRIO 2 (tratamento de água solar)	viável	viável	viável
CENÁRIO 3 (cargas prioritárias com energia solar)	viável	inviável	inviável
CENÁRIO 4 (100% energia solar)	viável	viável	viável
CENÁRIO 5 (sistema 100% hidrocínético)	viável	viável	viável
CENÁRIO 6 (microgrid – hidrocínético + geradores)	viável	viável	viável
CENÁRIO 7 (microgrid – energia solar + geradores)	viável	viável	viável
CENÁRIO 8 (microgrid – hidrocínético + energia solar + geradores)	viável	viável	viável

Fonte: Autoria própria.

3.10. CONCLUSÃO DO CAPÍTULO DE RESULTADOS

No cenário 1 a substituição das lâmpadas atuais pelas de *LED* apresentou pouca variação no consumo em litros de diesel. Apesar de serem mais econômicas, pelo fato da iluminação não ser utilizada por muito tempo e o consumo dos grupo geradores terem pouca relação com a iluminação, esta alteração se mostrou economicamente inviável de ser aplicada no local pelo E.V.T.E..

No cenário 2 ao retirar a demanda do tratamento de água dos geradores existe uma economia no consumo do diesel e todos os parâmetros do E.V.E indicam uma viabilidade do investimento. O cenário possui baixo investimento, comparado aos outros cenários viáveis, porém, seu *payback* é mais demorado.

No cenário 3 apesar de existir uma economia no consumo e no gasto do diesel, o VPL apresentou um valor negativo o que acarretará prejuízos se investido, portanto o E.V.T.E. indica a inviabilidade deste cenário.

No cenário 4 a Escola seria atendida por um sistema 100% solar suprimindo inclusive às alimentações do tratamento de água e da refrigeração dos demais cenários e os grupo-geradores poderia ser mantido no local como equipamentos de emergência. O VPL deste cenário é o maior dentre todos os outros o que indica ser o melhor investimento, porém, do ponto de vista ambiental a instalação de 38 baterias no local não seria a melhor opção.

No cenário 5 toda demanda será suprida por uma fonte alternativa, hidrocínética, o que permite manter os geradores apenas em casos de emergência, como no cenário anterior. O valor do investimento é mais alto e o *payback* é o segundo mais demorado.

O cenário 6, por conter uma fonte que produz energia de forma constante, inclusive no período noturno, conseguiu uma alta independência do diesel, mas devido essa fonte de geração ainda ter um alto custo para implantação, o custo do investimento é o segundo maior dentre os cenários.

O cenário 7, por se tratar de um sistema sem armazenadores de energia, não implica em problemas com impacto ambiental. A redução do diesel é menor do que a do cenário anterior, pois o sistema fotovoltaico minimiza o consumo de diesel apenas nos períodos de alta radiação solar. Duas variáveis do E.V.E. são as mais altas quando comparadas a outros cenários: o tempo de retorno rápido, *payback*, e o valor do TIR pois, quanto maior melhor e mais lucrativo é o investimento.

Por fim o último cenário, conjunto de três fontes, apresenta um bom VPL e TIR e também um rápido retorno do investimento.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Foi proposto neste trabalho uma metodologia de diagnóstico energético a ser aplicado na Escola Jatobazinho para a realização de análises de viabilidade técnicas e econômicas em cenários criados a fim de avaliar a escolha do mais eficiente para uma futura apresentação aos responsáveis pelo local.

A inexistência de um medidor de energia fixo no local, de medidores com memória de massa para o consumo de água e de óleo diesel de cada grupo gerador, juntamente com a variabilidade natural dos perfis de consumo (por exemplo, mudanças no clima, visitantes no local, obras e reformas) impedem uma estimativa exata.

Do ponto de vista técnico pode-se afirmar que todos os cenários são viáveis, pois em todos os casos ocorreu uma redução de óleo diesel para o fornecimento de energia elétrica. A diferença está na quantidade de diesel que foi economizada em cada situação, sendo que em algumas situações foi possível eliminar todo o óleo diesel, porém em outra a redução foi mínima.

O estudo de viabilidade econômico mostra que dois dos cenários são inviáveis, pois os valores encontrados para algumas de suas variáveis indicam prejuízo no investimento. Os cenários em questão são o cenário 1, com VPL e TIR negativo, além da inexistência de um *payback* para o valor investido, e cenário 3 com o VPL negativo. Todos os outros cenários são viáveis.

Para afirmar que a escolha e implantação de um cenário é viável ambos os estudos dever ser viáveis, o técnico e o econômico. Desta forma com o E.V.T.E. pode-se concluir que os cenários com viabilidade são o 2, 4, 5, 6, 7 e 8. Do ponto de vista de valor investido, o mais baixo é o cenário 2, porém seu *payback* é bastante demorado além do TIR ser bem pequeno. Pelos valores de VPL, o mais alto está presente no cenário 4, além de acompanhar um bom *payback* e TIR e também ser um dos cenários capazes de zerar o consumo de diesel. Porém do ponto de vista ambiental não seria a melhor escolha, pois o sistema fotovoltaico presente neste

cenário acompanha uma grande quantidade de baterias. Do ponto de vista do TIR e do *payback* o cenário 7 apresenta o mais alto TIR e o menor tempo de retorno, além de ser um cenário fotovoltaico sem baterias. Os cenários 6 e 8 também possuem um bom *payback*, TIR e VPL, porem com um custo de investimento maior do que cenário 7.

5. REFERÊNCIAS

- [1] A. CARDOSO, Junho 2015. [Online]. Available: <https://exame.abril.com.br/mundo/1-5-bilhao-de-pessoas-vive-sem-energia-eletrica-no-mundo/>. [Acesso em Março 2019].
- [2] COMUNICAÇÃO LATIN AMERICANA, Fevereiro 2017. [Online]. Available: <https://www.bioblog.com.br/combustiveis-fosseis-por-que-eles-prejudicam-o-meio-ambiente/>. [Acesso em Março 2019].
- [3] IEEE. [Online]. Available: <https://www.ieee.org/about/ieee-history.html>. [Acesso em Janeiro 2019].
- [4] IEEE. [Online]. Available: <https://www.ieee.org/about/ieee-strategic-plan.html>. [Acesso em Janeiro 2019].
- [5] A. ANDERSON, P. LOOMBA, I. ORAJAKA, J. NUMFOR, S. SAHA, S. JANKO, N. JOHNSON, R. PODMORE e R. LARSEN, “Empowering Smart Communities: Electrification, Education, and Sustainable Entrepreneurship in IEEE Smart Village Initiatives.,” *IEEE Electrification*, vol. 5, pp. 6-16, 2017.
- [6] P. LOOMBA, S. ASGOTRAA e R. PODMORE, “DC Solar Microgrids – A Successful Technology for Rural Sustainable Development.,” *IEEE Power & Energy Society (PES) Power Africa*, pp. 204-208, 2016.
- [7] I. B. ORAJAKA, “Unified Green Village Electricity Project Concept: A Suitable Model for Reliable Renewable Energy Deployment in Nigeria.,” *IEEE Global Humanitarian Tech*, pp. 87-91, 2013.
- [8] A. A. ANDERSON, S. SURYANARAYANAN e R. PODMORE, “Capacity Optimization of a Community Microgrid for Rural Electrification.,” *IEEE Power & Energy Society (PES) Power Africa*, pp. 423-428, 2017.

- [9] R. RUTHER e D. C. B. E. MARTINS, “Hybrid Diesel / Photovoltaic Systems without storage for Isolated Mini-Grids in Northern Brazil.,” *IEEE Photovoltaic Specialists*, pp. 1567-1570, 2000.
- [10] D. P. JR., L. A. MAIA, R. R. PAULA e F. J. M. SEIXAS, “Instalação de Painéis Fotovoltaicos em Comunidades Isoladas: A Experiência da Ilha da Ferradura – Ilha Solteira (SP).,” em *Encontro de Energia no Meio Rural*, Campinas, 2002.
- [11] L. H. PEREIRA, *Avaliação de Sistema de Bombeamento Fotovoltaico de Água em uma Comunidade Isolada do Pantanal.*, Campo Grande, 2014.
- [12] P. T. AZUMA, *Sistema de Energia Hidrelétrica de Fluxo Livre: Energia Hidrocinética*, Londrina, 2017.
- [13] C. Z. AMARAL, J. C. GIRARDI e S. W. HAUPENTHAL, “Análise de Sistema Hidrocinético como Conversão de Energia para Bombeamento de Água,” *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, vol. 8, 2019.
- [14] “ALTERIMA,” [Online]. Available: <https://www.alterima.com.br/solucoes/6/rodas-dagua>. [Acesso em Agosto 2019].
- [15] “STEMAC GRUPOS GERADORES,” [Online]. Available: <http://www.stemac.com.br/pt/produtos/Documents/Lamina%20Comercial-%20Diesel%2060Hz-pt%20-%20MWM.pdf>. [Acesso em Novembro 2018].
- [16] “YANMAR SOUTH AMERICA INDUSTRIA DE MÁQUINAS LTDA,” [Online]. Available: <https://www.yanmar.com/media/br/2018/catalog/nsb.pdf>. [Acesso em Novembro 2018].
- [17] “INMET,” [Online]. Available: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTcwMg==. [Acesso em Maio 2019].
- [18] INSTITUTO IDEAL; AHK-RJ, “O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica,” 2019.
- [19] “OUROLUX,” [Online]. Available: http://www.ourolux.com.br/Adm/userfiles/20151130060552LAMINA_3U.pdf. [Acesso em Março 2019].

-
- [20] “OUROLUX,” [Online]. Available: http://www.ourolux.com.br/Adm/userfiles/20180917014422Lamina_Tecnica_Linha_Ouro_14-09-18.pdf. [Acesso em Março 2019].
- [21] “OUROLUX,” [Online]. Available: http://www.ourolux.com.br/Adm/userfiles/20180717111715ALTA_POTENCIA_06-07-2018.pdf. [Acesso em Março 2019].
- [22] “SOL CENTRAL ENERGIAS ALTERNATIVAS,” [Online]. Available: http://www.solcentral.com.br/faqconc_cat/garantias-e-tempo-de-vida-util/. [Acesso em Junho 2019].
- [23] “SOLARVOLT ENERGIA,” [Online]. Available: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util>. [Acesso em Junho 2019].
- [24] “ENERGON BRASIL,” [Online]. Available: <http://energonbrasil.com.br/quanto-custa-a-manutencao-no-sistema-solar-fotovoltaico/>. [Acesso em Maio 2019].