

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Helena Flávia Naspolini

**AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO
AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO NA MORADIA
POPULAR NO BRASIL**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil da Universidade Federal
de Santa Catarina, para a obtenção do Grau de
Doutor em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Ricardo Rüther, Ph.D.

Florianópolis
2012

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

N263a Napolini, Helena Flávia
Agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água
para o banho na moradia popular no Brasil [tese] / Helena
Flávia Napolini ; orientador, Ricardo Rüther. -
Florianópolis, SC, 2012.
261 p.: il., grafs., tabs., plantas

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina,
Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Aquecedores solares de água.
3. Água - Consumo. I. Rüther, Ricardo. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

Helena Flávia Napolini

AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O
BANHO NA MORADIA POPULAR NO BRASIL

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 30 de março de 2012.

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Ph.D.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Banca Examinadora:

Prof. Ricardo Rütther, Ph.D.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Arno Krenzinger, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. João Tavares Pinho, Dr.Ing.
Universidade Federal do Pará

Prof. Samuel Luna de Abreu, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Juan Pablo Salazar, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha família, Amilton,
Rúbia, Oliver e Lucas. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

A MEUS ENTES QUERIDOS AUSENTES

Leides Naspolini e Etelvina Zilli Naspolini, meus pais. Vocês partiram deixando uma saudade imensa, um vazio sufocante. Partiram muito antes que este momento chegasse. As palavras nunca serão suficientes para expressar a gratidão e o respeito que tenho pela vida que me doaram, pela orientação que guiou meus passos. Muito obrigada pelo amor que me tornou uma pessoa melhor, capaz de chegar aqui e realizar este sonho. **César Nivaldo Naspolini**, meu irmão, saudades!

AO MEU IRMÃO

Hans Helmuth Zürn. Obrigada pelo olhar de apoio, pela palavra de incentivo, pelo gesto de compreensão, pela atitude de amor. Obrigada por me ajudar a crescer, compartilhar meus ideais, manter-se ao meu lado e comprometer-se com meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ricardo Rütther, pela oportunidade, confiança, orientação, amizade, compreensão, paciência e incentivo. Agradeço, ainda, por ter me conduzido para além das teorias, das filosofias e das técnicas.

Ao Prof. Sérgio Colle, Supervisor do LABSOLAR da UFSC, pelas contribuições técnicas e pelo acesso aos dados meteorológicos referentes à cidade de Florianópolis e aos dados registrados pelos medidores de energia elétrica instalados no Edifício Residencial Solar Buona Vita, utilizados neste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pelo apoio técnico e estrutural.

À Celesc - Centrais Elétricas de Santa Catarina, pelo acesso aos dados de demanda utilizados neste trabalho.

Aos demais membros da Comissão Examinadora, professores Arno Krenzinger, João Tavares Pinho, Samuel Luna de Abreu, Juan Pablo Salazar, Roberto Lamberts e Fernando Oscar Ruttkay Pereira, pelas contribuições para a versão final da Tese.

Ao professor Denizar Cruz Martins, Roberto Lamberts e Samuel Luna de Abreu, pela participação na Comissão Examinadora do Exame de Qualificação ao Doutorado e pelas contribuições ao trabalho.

Aos professores Hans Helmuth Zürn e Celso de Brasil Camargo, pelas sugestões e contribuições técnicas ao trabalho.

Aos professores Fernando Mendes de Azevedo, Denizar Cruz Martins e Renato Lucas Pacheco pelo apoio institucional.

Ao Eng. Amilton Coelho, Diretor Superintendente do Grupo de Gestão Eficiente da Energia – Grugeen, pelas sugestões e conhecimentos compartilhados.

A Herbert Sancho Garcez Militão, Cleysson Pértile, e a Ernesto de Freitas Júnior, pelas contribuições no preparo dos dados analisados neste trabalho.

A Fabrício Colle, proprietário da Empresa Solares Aquecimento Solar, pelo acesso aos dados técnicos e financeiros do sistema solar de aquecimento.

E, finalmente, aos demais amigos que direta ou indiretamente tenham contribuído para o desenvolvimento deste trabalho.

DECLARAÇÃO DA ORIGEM DOS DADOS

Neste trabalho foram utilizados dados de irradiação solar e de temperatura medidos pela equipe do LABSOLAR da UFSC, registrados para a cidade de Florianópolis no ano de 2004 pela Estação Baseline Surface Radiation Network da Organização Mundial de Meteorologia - BSRN/WMO, dados de demanda de energia elétrica com o banho, também medidos pela equipe do LABSOLAR da UFSC, registrados no ano de 2004 por medidores de energia elétrica instalados em unidades consumidoras do Edifício Residencial Solar Buona Vita, oriundos do projeto de P&D realizado pela Celesc em conjunto com o LABSOLAR da UFSC, ciclo 2001-2002, e dados de consumo total de energia elétrica, registrados no ano de 2004 por medidores de energia elétrica instalados na entrada de energia de unidades consumidoras do Edifício Residencial Solar Buona Vita, obtidos através de dados cadastrais de históricos de consumo disponibilizados pela Celesc – Centrais Elétricas de Santa Catarina.

Adicionalmente, foram utilizados, para o ano de 2008, dados de custos unitários evitados devido à energia economizada e à redução da demanda no horário de ponta, disponibilizados pela Celesc e dados referentes aos fatores médios de emissão de gases de efeito estufa, expressos em toneladas de CO₂ equivalentes/MWh, tanto para inventariar as emissões evitadas como para calcular os benefícios financeiros proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho através de recursos oriundos de créditos de carbono, via projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), disponibilizados pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil.

RESUMO

A presente tese tem como objetivo principal desenvolver um método para avaliar os benefícios e o potencial da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na habitação popular, através de técnicas de medição e verificação da demanda e energia elétrica consumida por um grupo de sistemas de aquecimento solar monitorados. O método desenvolvido possibilita avaliar o potencial da energia solar no local da habitação, levantar hábitos de banho, avaliar os impactos proporcionados pelo aquecimento solar assistido por eletricidade da água para o banho sobre o consumo de energia elétrica e sobre as demandas de potência ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água. Adicionalmente, permite inventariar as emissões de CO₂ equivalentes evitadas e avaliar, sob a ótica da sociedade, a viabilidade econômica da inserção dos aquecedores solares na moradia popular, através da obtenção de indicadores técnicos de seus impactos sobre o setor elétrico e sobre o consumidor final. Embora o método desenvolvido apresente caráter geral, este trabalho focou na avaliação da viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na moradia popular, localizada em Florianópolis, cidade inserida na região de menor incidência de irradiação solar do Brasil. Os resultados obtidos demonstram que, embora Florianópolis esteja localizada numa região de baixa incidência solar, correspondendo possivelmente ao caso mais desfavorável no país, a energia solar apresenta-se bem distribuída, permitindo que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento de água para o banho proporcione ganhos significativos em economia de energia elétrica e na redução da demanda no horário de ponta. Os resultados demonstram claramente a viabilidade econômica da agregação da energia solar térmica ao banho nas condições avaliadas.

Palavras-chave: Energia solar, aquecimento solar da água para o banho, habitação de baixa renda, gerenciamento pelo lado da demanda.

ABSTRACT

This thesis aims to develop a method to assess the benefits and the potential of solar thermal energy for water heating (shower only) in popular housing through methods of measurement and verification of demand and energy consumed by a group of monitored solar heating systems. The methodology allows to evaluate the potential of solar energy in the context of showering habits, and to assess the impacts provided by using solar energy to assist the heating of the water for showering on the consumption of electricity and on the demands of active, reactive and apparent power imposed on the electric system for water heating purposes. In addition, the method allows to assess the CO₂ avoided emissions equivalent, and also assess, from the perspective of society, the economic viability of its inclusion in popular housing through technical indicators of their impact on the electricity industry and on the final consumer. Although the method developed presents a general character, this study focused on assessing the technical and economic viability of adding solar thermal energy to heat water for showering in a popular housing complex, located in Florianópolis, a city located in a region of lowest incidence of solar radiation in Brazil. The results show that although Florianópolis is located in a region of low solar incidence, possibly corresponding to the worst case in the country, the solar energy resource is well distributed, allowing the aggregation of solar thermal energy to heat water for showering to provide significant gains in energy savings, and reducing demand at peak hours. The results clearly demonstrate the economic viability of using solar thermal energy for showering under the conditions evaluated.

Keywords: Solar energy, solar water heating, low-income housing, demand side management

Lista de figuras

Figura 2.1 - Irradiação solar global média diária no Brasil	35
Figura 2.2 - Variabilidade da irradiação solar global média diária no Brasil	36
Figura 2.3 - Evolução anual do mercado de energia solar térmica na UE e Suíça	39
Figura 2.4 - Consumo final de energia por fonte energética	41
Figura 2.5 - Consumo final de energia por setor	42
Figura 2.6 - Consumo setorial de eletricidade	42
Figura 2.7 - Fontes de energia utilizadas para aquecer a água para o banho	43
Figura 2.8 - Percentual de posse do chuveiro elétrico – Brasil.....	44
Figura 2.9 - Participação de consumo na carga residencial - Brasil	45
Figura 2.10 - Participação de consumo na carga residencial – Norte...	46
Figura 2.11 - Participação de consumo na carga residencial – Nordeste	46
Figura 2.12 - Participação de consumo na carga residencial – Centro Oeste	47
Figura 2.13 - Participação de consumo na carga residencial – Sudeste	47
Figura 2.14 - Participação de consumo na carga residencial – Sul.....	48
Figura 2.15 - Curva de carga residencial média diária – Brasil.....	52
Figura 2.16 - Curva de carga residencial média diária – Norte	52
Figura 2.17 - Curva de carga residencial média diária – Nordeste.....	53
Figura 2.18 - Curva de carga residencial média diária – Centro Oeste	53
Figura 2.19 - Curva de carga residencial média diária – Sudeste.....	54
Figura 2.20 - Curva de carga residencial média diária - Sul.....	54
Figura 2.21 - Fluxograma de procedimento de banho.....	66
Figura 2.22 - Consumos médios horários de energia elétrica.....	67
Figura 2.23 - Fluxograma de procedimento melhorado de banho.....	69

Figura 2.24 - Média mensal do consumo horário de energia elétrica...	70
Figura 2.25 - Pico de demanda de energia elétrica dos chuveiros elétricos	71
Figura 3.1 - Vista parcial dos aquecedores solares do Solar Buona Vita	76
Figura 3.2 - Planta baixa do apartamento tipo do Solar Buona Vita	76
Figura 3.3 - Desenho esquemático do sistema de aquecimento solar ..	81
Figura 3.4 - Circuito do chuveiro elétrico com controle de temperatura... ..	82
Figura 4.1 - Evolução mensal da irradiação solar média diária e da temperatura média diária em Florianópolis (2004).....	103
Figura 4.2 - Evolução mensal da irradiação solar média diária em Florianópolis (2004) e da irradiação solar média diária em Florianópolis (SWERA)	104
Figura 4.3 - Evolução mensal da temperatura média diária em Florianópolis (2004) e da temperatura média diária em Florianópolis (CTA/IAE).....	105
Figura 4.4 - Evolução mensal da duração média do banho do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica (“E”)	106
Figura 4.5 - Evolução mensal da frequência média diária de banhos do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica para o banho (“E”)	107
Figura 4.6 - Evolução mensal da duração média do banho do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica (“E”) para o banho, no horário de ponta (P)...	108
Figura 4.7 - Evolução mensal da frequência média diária de banhos do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica (“E”) para o banho, no horário de ponta (P)	109
Figura 4.8 - Evolução mensal da duração média do banho do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que	

utiliza energia elétrica (“E”) para o banho, no horário fora da ponta (FP)	110
Figura 4.9 - Evolução mensal da frequência média diária de banhos do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica (“E”) para o banho, no horário fora da ponta (FP)	111
Figura 4.10 - Evolução mensal dos valores percentuais da frequência média diária de banhos do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica (“E”) para o banho, no horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP)	112
Figura 4.11 - Evolução mensal dos consumos totais de energia elétrica do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica para o banho (“E”)	113
Figura 4.12 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica classificados por usos finais para o grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica para o banho (“SE”)	114
Figura 4.13 - Evolução mensal dos percentuais de consumos de energia elétrica classificados por usos finais para o grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica para o banho (“SE”).....	115
Figura 4.14 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica classificados por usos finais para o grupo que utiliza energia elétrica para o banho (“E”).....	115
Figura 4.15 - Evolução mensal dos percentuais de consumos de energia elétrica classificados por usos finais para o grupo que utiliza energia elétrica para o banho (“E”)	116
Figura 4.16 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica para aquecer a água para o banho do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”), em horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP)	118
Figura 4.17 - Evolução mensal dos percentuais de consumos de energia elétrica para aquecer a água para o banho do grupo que utiliza energia	

solar assistida por energia elétrica (“SE”), em horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP).....	119
Figura 4.18 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica para aquecer a água para o banho do grupo que utiliza apenas energia elétrica (“E”), em horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP)	119
Figura 4.19 - Evolução mensal dos percentuais de consumos de energia elétrica para aquecer a água para o banho do grupo que utiliza energia elétrica (“E”), em horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP)	120
Figura 4.20 - Evolução mensal da energia elétrica consumida com o banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza apenas energia elétrica (“E”), energia economizada (EE) e percentual de energia economizada (EE%).....	121
Figura 4.21 - Evolução horária da energia elétrica anual consumida no banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), energia economizada (EE) e percentual de energia economizada (EE%)	123
Figura 4.22 - Evolução horária da energia anual economizada (EE) e da energia anual economizada acumulada (EE(acum))	124
Figura 4.23 - Evolução mensal das potências médias utilizadas para aquecer a água para o banho, no horário de ponta, pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), potências médias evitadas no horário de ponta (PE - Ponta) e percentuais de potências médias evitadas no horário de ponta (PE - Ponta (%)).....	125
Figura 4.24 - Evolução mensal das potências médias utilizadas para aquecer a água para o banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), potências médias evitadas (PE) e percentuais de potências médias evitadas (PE(%))	126
Figura 4.25 - Evolução mensal da energia elétrica economizada (EE) e emissões de CO ₂ evitadas	127

Figura 4.26 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda ativa solicitada ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), redução da demanda ativa no horário de ponta (RDP) e redução percentual da demanda ativa no horário de ponta (RDP(%)).....	129
Figura 4.27 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda reativa solicitada ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), redução da demanda reativa no horário de ponta (RQP) e redução percentual da demanda reativa no horário de ponta (RQP(%)).....	130
Figura 4.28 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda aparente solicitada ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), redução da demanda aparente no horário de ponta (RSP) e redução percentual da demanda aparente no horário de ponta (RSP(%)).....	132
Figura 4.29 - Evolução mensal das máximas demandas medidas no horário de ponta e redução da demanda medida no horário de ponta...134	
Figura 4.30 - Evolução mensal das energias economizadas e das emissões de CO ₂ evitadas	135
Figura 4.31 - Evolução do tempo de retorno de investimento (payback) com a taxa de desconto anual	138
Figura 4.32 - Evolução do VPL com a taxa de desconto anual	139
Figura 4.33 - Evolução do RCB com a taxa de desconto anual.....	140
Figura 4.34 - Evolução do tempo de retorno de investimento (payback) com a taxa de desconto anual (Benefícios = Custo evitado pelo consumidor final devido à energia economizada)	142
Figura 4.35 - Evolução do VPL com a taxa de desconto anual (Benefícios = Custo evitado pelo consumidor final devido à energia economizada).....	142

Figura 4.36 - Evolução da RCB com a taxa de desconto anual (Benefícios = Custo evitado pelo consumidor final devido à energia economizada).....	143
Figura 4.37 - Evolução do FST (Benefícios: custos evitados devido à energia economizada e à redução da demanda no horário de ponta)..	144
Figura 4.38 - Evolução do FST (Benefícios: custos evitados devido à redução da demanda no horário de ponta).....	146

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Distribuição percentual do consumo residencial de energia elétrica por usos finais	49
Tabela 2.2 - Requerimento mínimo mensal em energia elétrica por domicílio.....	49
Tabela 2.3 - Características técnicas do sistema solar térmico.....	65
Tabela 2.4 - Fração solar estimada e média mensal dos totais diários de irradiação solar global horizontal.	70
Tabela 3.1 - Critérios de classificação, valores de referência e pesos...79	
Tabela 3.2 - Amostra e período de coleta de dados	80
Tabela 3.3 - Fatores médios de emissão de CO ₂ (t CO ₂ / MWh) –.....	88
Tabela 3.4 - Fatores médios de emissão de CO ₂ (t CO ₂ / MWh) – MDL	93
Tabela 4.1 - Variáveis médias de consumo de energia elétrica e renda familiar – Ano Base 2004.....	117
Tabela 4.2 - Resultados das simulações do FST (Benefícios: custos evitados devido à energia economizada e à redução da demanda no horário de ponta).....	145

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO.....	29
<i>1.1 INTRODUÇÃO.....</i>	<i>29</i>
<i>1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....</i>	<i>29</i>
<i>1.3 OBJETIVOS</i>	<i>32</i>
1.3.1 Objetivo geral.....	32
1.3.2 Objetivos específicos	32
<i>1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO</i>	<i>32</i>
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
<i>2.1 RECURSO SOLAR.....</i>	<i>35</i>
<i>2.2 AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA O INCENTIVO AO USO DOS SISTEMAS TERMOSSOLARES</i>	<i>37</i>
<i>2.3 AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO NO BRASIL.....</i>	<i>41</i>
2.3.1 Distribuição do consumo de energia.....	41
2.3.2 Fontes de energia utilizadas para aquecimento da água para o banho	43
2.3.3 Chuveiro elétrico.....	43
2.3.4 Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial..	45
2.3.5 Subsídios ao consumo de energia elétrica.....	49
2.3.6 Impactos proporcionados pelo banho quente sobre a curva de carga do sistema elétrico	51
<i>2.4 PROJETOS EXPERIMENTAIS DE INSERÇÃO DA ENERGIA TERMOSSOLAR NA HABITAÇÃO POPULAR BRASILEIRA</i>	<i>55</i>
2.4.1 Introdução	55
2.4.2 Projeto CPFL-UNICAMP (1995)	57

2.4.3	Projeto Eletrobrás Solar (2000).....	59
2.4.4	Projeto UFSC - Celesc (2004).....	64
CAPÍTULO 3 MÉTODO.....		73
3.1	<i>INTRODUÇÃO.....</i>	<i>73</i>
3.2	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA</i>	<i>77</i>
3.3	<i>APROPRIAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA MORADIA POPULAR.....</i>	<i>77</i>
3.4	<i>IMPACTOS SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E SOBRE A POTÊNCIA SOLICITADA AO SISTEMA ELÉTRICO PARA AQUECER A ÁGUA</i>	<i>84</i>
3.5	<i>INVENTÁRIO DAS EMISSÕES EVITADAS DE CO₂ PROPORCIONADAS PELA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO.....</i>	<i>87</i>
3.6	<i>IMPACTOS SOBRE A DEMANDA ATIVA, REATIVA E APARENTE.....</i>	<i>88</i>
3.7	<i>AVALIAÇÃO ECONÔMICA, SOB A ÓTICA DO SETOR ELÉTRICO E DO CONSUMIDOR, DA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO BANHO</i>	<i>90</i>
3.8	<i>AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA MORADIA POPULAR ATRAVÉS DA CRIAÇÃO DE UM “FUNDO SOLAR TÉRMICO” DE INVESTIMENTO.....</i>	<i>98</i>
3.9	<i>CONCLUSÃO.....</i>	<i>99</i>
CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES		101
4.1	<i>INTRODUÇÃO.....</i>	<i>101</i>
4.2	<i>IRRADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA NO LOCAL DE INSERÇÃO DA MORADIA POPULAR.....</i>	<i>102</i>
4.3	<i>APROPRIAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA MORADIA POPULAR.....</i>	<i>105</i>

4.4	<i>IMPACTOS SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E SOBRE A POTÊNCIA SOLICITADA À CONCESSIONÁRIA PARA AQUECER A ÁGUA PARA O BANHO</i>	112
4.5	<i>INVENTÁRIO DAS EMISSÕES EVITADAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA PROPORCIONADAS PELA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO</i>	127
4.6	<i>AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOBRE A DEMANDA ATIVA, REATIVA E APARENTE SOLICITADAS AO SISTEMA ELÉTRICO PARA AQUECER A ÁGUA</i>	128
4.7	<i>AVALIAÇÃO ECONÔMICA, SOB A ÓTICA DO SETOR ELÉTRICO E DO CONSUMIDOR FINAL, DA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO NA MORADIA POPULAR</i>	133
4.8	<i>AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA MORADIA POPULAR ATRAVÉS DA CRIAÇÃO DE UM FUNDO DE INVESTIMENTO EM ENERGIA SOLAR</i>	144
4.9	<i>CONCLUSÃO</i>	146
	CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	149
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
	APÊNDICE A – ARTIGOS ORIUNDOS DO TRABALHO DE PESQUISA, PUBLICADOS E/OU SUBMETIDOS A PERIÓDICOS E CONGRESSOS ATÉ A PRESENTE DATA	169
	APÊNDICE B – DETALHAMENTO DOS CÁLCULOS REALIZADOS PARA ESTIMAR A DURAÇÃO DO BANHO QUENTE	171
	APÊNDICE C – CURVAS DE IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA DIÁRIA E TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA EM FLORIANÓPOLIS	173

**APÊNDICE D – CURVAS MENSAIS DA ENERGIA ELÉTRICA
CONSUMIDA COM O BANHO E DA ENERGIA
ECONOMIZADA.....187**

**APÊNDICE E – CURVAS MENSAIS DE DEMANDA ATIVA,
REATIVA E APARENTE213**

**ANEXO A – ANÁLISE DE UM CHUVEIRO ELÉTRICO COM
AJUSTE ELETRÔNICO DE TEMPERATURA253**

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O aquecimento da água para o banho humano em diversos países do mundo é feito principalmente através do uso de sistemas a gás e da crescente utilização de sistemas termossolares. Entretanto, embora o Brasil apresente um grande potencial para o aproveitamento da energia solar e a tecnologia disponível para o aquecimento da água para o uso doméstico seja simples e de fácil uso, o país ainda utiliza largamente a eletricidade para o aquecimento da água para o banho. Esta peculiaridade do sistema energético brasileiro traz grandes problemas ao planejamento energético do país, já que implica em vultosos investimentos em sistemas de geração, transmissão e de distribuição de energia elétrica, provoca o aumento do efeito estufa, contribuindo para aumentar o aquecimento global e catástrofes climáticas.

Neste cenário, é de grande importância a avaliação do potencial da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho humano, considerando a interação entre critérios técnicos, econômicos e ambientais, a fim de que a energia solar térmica possa ser largamente incorporada à moradia popular brasileira, o mais rápido possível.

Este capítulo apresenta e contextualiza o problema a ser estudado no decorrer do trabalho. Na sequência são expostos os objetivos gerais e específicos, e finalmente, a descrição da estrutura da Tese.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

A execução deste trabalho é justificada pelos motivos abaixo relacionados:

a) A diminuição do crédito nacional e internacional para financiar empreendimentos de geração centralizada, principalmente devido às restrições ambientais, aliada ao crescimento atual da economia, pressiona a sociedade ao uso racional da energia elétrica e à utilização crescente de energias renováveis;

b) Os recursos de irradiação solar no Brasil, além de se apresentarem como uns dos maiores do mundo podem ser descritos como uniformemente distribuídos e com pequena variabilidade anual, o que torna a tecnologia termossolar a escolha natural para o aquecimento de água em edifícios residenciais (Goldenberg et. al., 2004, Rosa et. al., 2004, Carlo et. al., 2008 e Sowmy et. al., 2008).

c) A utilização tão intensiva de eletricidade para o aquecimento de água para o banho humano é uma peculiaridade do Brasil, sem comparação em qualquer lugar do mundo, razão pela qual não se encontra muita literatura a respeito, a despeito da importância do problema;

d) O chuveiro elétrico está presente em 73,1% dos domicílios brasileiros, com percentuais de distribuição de posse bem diferenciados nas diversas regiões do país. Enquanto nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste mais de 85% dos domicílios contam com acesso a água quente, na região Nordeste aproximadamente 30% o possuem e na região Norte apenas 4% da população utiliza a energia elétrica para aquecimento da água para o banho. O chuveiro elétrico está maciçamente presente nas residências das regiões sul, sudeste e centro-oeste, predominando na região Sul, onde aproximadamente 99% dos domicílios o possuem para fins de aquecimento da água para o banho (www.elektrobras.com, 2009);

e) A curva de carga diária do sistema de distribuição de energia elétrica do sistema interligado Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil apresenta aumento de demanda no período compreendido entre 18 e 21 horas (horário de ponta), com pico de demanda em torno das 19 horas. O segmento residencial responde por significativa parcela deste pico, e o chuveiro elétrico é um dos equipamentos que mais contribuem para que isto ocorra, já que nessas regiões está presente praticamente na totalidade das residências, com uso predominantemente no horário de ponta. O chuveiro elétrico é responsável por cerca de 60% da carga residencial do sistema nas horas de pico de consumo (www.elektrobras.com.br, 2009). Para a concessionária, o uso do chuveiro elétrico é inadequado em função do horário de uso (funciona principalmente no horário de ponta), de sua elevada potência e de seu baixo fator de carga (poucos minutos de uso/dia);

f) No Brasil, para a população de baixa renda com direito à Tarifa Social de Energia Elétrica (ANEEL/Resol. 414, de 9 de setembro de 2010 e Resol. 431, de 29 de março de 2011), aquecer a água para o banho utilizando o chuveiro elétrico e se beneficiar de descontos significativos na tarifa é um grande desafio, já que o consumo de energia elétrica com o banho é muito elevado e o subsídio ao consumo de energia elétrica é caracterizado por descontos significativos apenas para consumo mensal de energia elétrica inferior ou igual a 100 kWh.

g) A tecnologia solar térmica para o aquecimento da água em baixas temperaturas está completamente desenvolvida, é simples e de fácil uso;

h) A crescente substituição de energia não renovável por energia renovável, através da agregação da energia solar térmica à moradia popular deverá ter impacto significativo na redução da demanda no horário de ponta

e no consumo de energia elétrica para a higiene e aquecimento da água para fins pessoais. Os benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica, aliados à queda dos custos dos sistemas termossolares ocorrida nos últimos anos, tornam a energia solar para aquecimento da água para o banho uma tendência a ser adotada em praticamente todas as camadas sociais (Fantinelli, 2006 e Fantinelli et al., 2006);

i) Análises de desempenho, configuração e dimensionamento de sistemas de aquecimento solar de água (Parker, 1981; Flouquet, 1989; Tully, 1995; Hasan, 1997; Pantaliou et al, 1996; Colle et al., 2001; Colle et al., 2003, Nahar, 2003; Salazar et al., 2004, Mills, 2004; Canbazoglu et al., 2005; Dharuman et al, 2006, Badescu & Staicivici, 2006, Quadros et al, 2007, Gunerhan & Hepbasli, 2007, Hepbasli, 2007, Zhai et al., 2007 e Miguel, 2008, Cruickshank & Harrison, 2010, Xi et al., 2011) e simulações de sistemas a termossifão (Micaelides e Wilson, 1997; Nugyen e Pryor, 1998; Joudi e Al. Taback, 1999; Kalogirou e Papamarcou, 2000; Bojie et al., 2002) são facilmente encontradas na literatura. Análises de desempenho econômico, normalmente sob a ótica do consumidor final (Abou-Zeid & Hawas, 1983, Hawlader et al., 1987, Reddy, 1995, Diakoulaki et al., 2001, Siridas & Koukios, 2005) e análises do potencial dos sistemas de aquecimento solares para áreas urbanas (Jannuzzi et. al., 1996, Voivontas et al., 1998; Almeida et. al., 2001, Pereira et al., 2003, Salazar et al., 2004, Abreu et al., 2004, Chandrasekar e Kampal, 2004; Thur et al., 2006; Fantinelli, 2006, Pillai & Banrejee, 2007) também são disponibilizadas. Na pesquisa bibliográfica realizada constatou-se ainda, algumas ações adotadas para a promoção do uso da energia solar térmica e da energia solar fotovoltaica na edificação, através da criação de “fundo solar” de investimentos (Hottel, 1989; Williams, N., 1997, Ferreira, 2005). Entretanto, perfis de consumo de energia elétrica com o banho, impactos proporcionados pela agregação da energia solar ao banho sobre as demandas ativa, reativa e aparente solicitadas à concessionária de energia elétrica para aquecer a água; avaliação, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor, da viabilidade econômica de sua inserção na habitação popular, e ainda, a avaliação de seu potencial de inserção na moradia popular através da criação de um “fundo solar térmico” de investimento realimentado com valor de amortização equivalente aos benefícios proporcionados, ao setor elétrico, pela agregação da energia solar térmica ao banho, até a presente data, não foram amplamente abordados na literatura;

j) A utilização da energia solar para fins de aquecimento de água para o banho deve ser incentivada pelo governo federal, pois além das razões anteriormente citadas, proporcionará a postergação de vultosos

investimentos em novas usinas e em ampliações de sistemas de transmissão e de distribuição, além de contribuir para a redução do efeito estufa e para a preservação da natureza.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um método para avaliar os benefícios e o potencial da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na moradia popular, considerando a interação entre critérios técnicos, econômicos e ambientais.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho sobre o consumo de energia elétrica;
- b) Inventariar as emissões evitadas de gases de “efeito estufa”, medidas em toneladas de CO₂ equivalentes, proporcionadas pela agregação da energia solar ao banho;
- c) Avaliar os impactos proporcionados pela energia solar sobre a demanda ativa, reativa e aparente solicitadas do sistema elétrico para aquecer a água para o banho;
- d) Avaliar, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor, a viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar ao banho;
- e) Avaliar o potencial de inserção da energia solar na moradia popular através da criação de um “fundo solar térmico” de investimento.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A seguir é apresentada uma descrição sucinta dos próximos capítulos deste trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica que descreve a irradiação solar e as principais ações estratégicas mundiais adotadas para incentivar o uso de sistemas termossolares. Esse capítulo aborda para o Brasil, diversos temas, tais como: irradiação solar média diária incidente no plano horizontal, distribuição do consumo de energia por fontes e por setor, fontes de energia mais utilizadas para aquecer a água para o banho, percentuais de posse do chuveiro elétrico nas diversas regiões do país, participação dos eletrodomésticos no consumo residencial, impactos

proporcionados pelo banho quente sobre a curva de carga do sistema elétrico e subsídios ao consumo de energia elétrica. Esse capítulo descreve ainda, os projetos experimentais de inserção da energia termossolar na habitação popular brasileira: CPFL– UNICAMP, Eletrobrás – Solar e UFSC – Celesc.

O Capítulo 3 apresenta o desenvolvimento do método proposto para avaliar os benefícios e o potencial da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho através da medição e verificação da demanda de energia elétrica de um grupo de sistemas de aquecimento solar monitorados, instalados em moradias populares.

O método proposto visa avaliar o potencial da energia solar no local da habitação, levantar indicadores técnicos quantitativos visando conhecer as reais necessidades e prioridades envolvidas na agregação da energia solar ao banho na moradia popular, analisar seus principais impactos sobre o consumo de energia elétrica e sobre as demandas ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho, inventariar as emissões evitadas de gases de “efeito estufa” proporcionadas por sua agregação ao banho, avaliar, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor, a viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar ao banho e, finalmente, avaliar o potencial de sua inserção, na moradia popular, através da criação de um “fundo solar térmico” de investimento.

Na sequência, no Capítulo 4, são apresentados e discutidos resultados obtidos através da aplicação do método desenvolvido no Capítulo 3. Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RECURSO SOLAR

Os recursos de irradiação solar no Brasil, além de se apresentarem como uns dos maiores do mundo podem ser descritos como uniformemente distribuídos e com pequena variabilidade anual, o que torna a tecnologia termossolar a escolha natural para o aquecimento de água em edifícios residenciais (Goldenberg et. al., 2004, Rosa et. al., 2004, Carlo et. al., 2008 e Sowmy et. al., 2008).

As Fig. 2.1 e 2.2 apresentam, respectivamente, a irradiação solar global média diária e sua variabilidade para todas as regiões do Brasil.

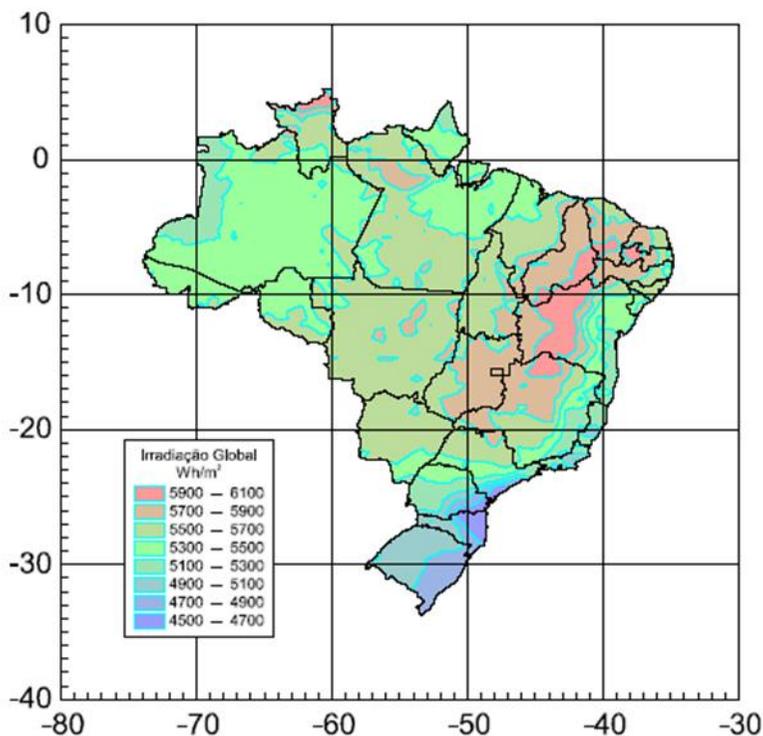


Figura 2.1 - Irradiação solar global média diária no Brasil
(Fonte: Atlas de Radiação Solar do Brasil -
INMET/LABSOLAR/CPTE/INPE)

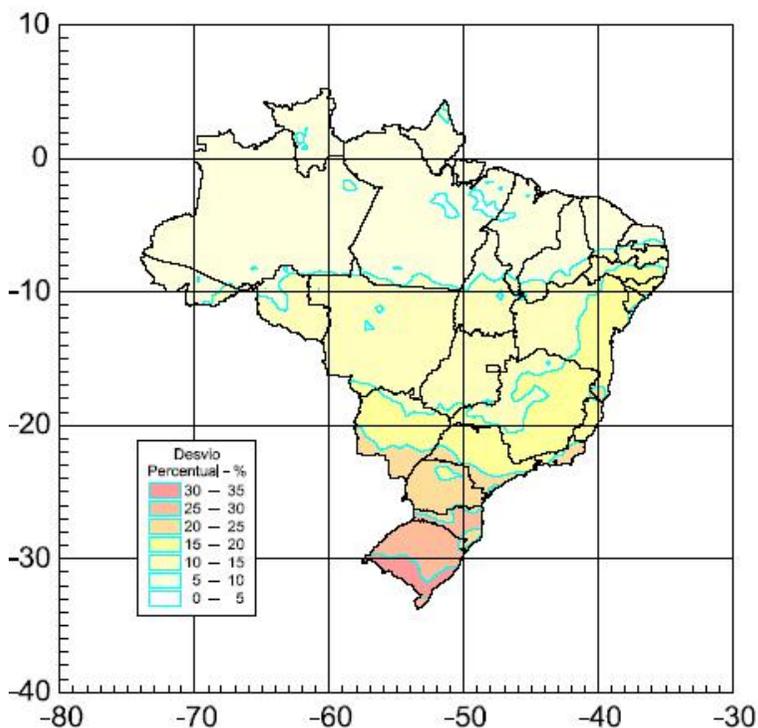


Figura 2.2 - Variabilidade da irradiação solar global média diária no Brasil
(Fonte: Atlas de Radiação Solar do Brasil - INMET/LABSOLAR/CPTE/INPE)

O Brasil apresenta médias diárias de irradiação solar, por região, tais como: Norte: 5,46 kWh/m².dia, Nordeste: 5,69 kWh/m².dia, Centro Oeste: 5,63 kWh/m².dia, Sudeste: 5,48 kWh/m².dia e Sul 5,01 kWh/m².dia (Atlas de Radiação Solar do Brasil, 2000). Aproximadamente 2/3 do território nacional apresenta irradiação global variando entre 5,5 a 5,9 kWh/ m².dia (Colle et al., 2000).

O índice médio anual de irradiação solar no país é maior na região Nordeste, com destaque para o Vale do São Francisco e menor na região Sul. O nordeste possui irradiação solar comparável às melhores regiões do mundo.

Os níveis médios anuais de irradiação solar global no Brasil, que são dos maiores do mundo, variam de aproximadamente 1.500 kWh/m², no sul

do país, a 2.100 kWh/m², no nordeste (Pereira et al., 2006 e Pereira et al., 2008). O nível médio anual de irradiação solar global em Florianópolis (27° S), embora seja um dos menores níveis de irradiação solar global média anual do país, apresenta valor superior a 1.600 kWh/m² (Colle et al, 2001).

Observa-se maior variabilidade da irradiação solar global na região Sul. Nessa região também são observados os menores valores de irradiação global no Brasil (norte do estado de Santa Catarina, litoral do Paraná e sul do estado de São Paulo). As características de clima temperado dessa região e a influência de sistemas frontais associados ao Anticiclone Polar Antártico contribuem para o aumento da nebulosidade na região, principalmente durante os meses de inverno (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006).

É importante ressaltar que mesmo as regiões do Brasil com menores índices de irradiação solar, apresentam grande potencial de aproveitamento energético (Souza Ramos, M. O e Vital Brazil, 2006). Entretanto, embora o Brasil possua grande potencial de aproveitamento de energia solar durante todo ano, a energia solar não apresenta contribuição significativa na matriz energética brasileira (Colle e Pereira, 1998, Tiba et. al., 2001, Pereira et. al., 2006).

2.2 *AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA O INCENTIVO AO USO DOS SISTEMAS TERMOSSOLARES*

Diversos países do mundo utilizam aquecedores solares. A utilização dos recursos solares visa diminuir a dependência da eletricidade gerada a partir de combustíveis fósseis e despertar a consciência ambiental com o objetivo de promover mudanças comportamentais no uso das fontes energéticas que provocam impactos ambientais agressivos.

Países como EUA, Japão, Austrália e Israel foram pioneiros no uso de sistemas termossolares. A obrigatoriedade da instalação de aquecedores solares em edificações não é uma ideia nova. Desde 1980, o uso desta tecnologia é obrigatório em Israel, primeiro país do mundo a adotar este tipo de política para o uso da energia solar. Atualmente, mais de 90% das residências em Israel usam aquecedores solares.

Em diversos países existem políticas públicas integradas para o incentivo à utilização da energia termossolar. Dentre essas, destacam-se a obrigação legal de instalação ou a preparação da instalação para a inserção de aquecedores solares (a serem introduzidas nas fases de projeto e de execução das edificações), e medidas de apoio, tais como, campanhas públicas, educação ambiental, capacitação, incentivos fiscais e subsídios. A adoção de políticas que tornem obrigatório o uso da energia solar permite

adequar às novas edificações e as edificações em processo de reforma aos futuros desafios relacionadas ao uso e à geração de energia.

Na Europa, grande esforço tem sido feito para uma ampla introdução de políticas que tornem obrigatório um fornecimento mínimo de energia térmica nas edificações pelo uso da energia solar (Espanha, Portugal, Alemanha, Itália, França e Holanda). Outros países também vêm adotando esta política (México, China, Turquia, Índia, Austrália e Nova Zelândia), inclusive o Brasil. A China se destaca por produzir, em larga escala, coletores solares e módulos solares fotovoltaicos tanto para exportação como para uso interno. Na Índia, diferentemente de outros países, os sistemas termossolares se concentram mais na área comercial e industrial.

A Fig. 2.3 apresenta, para o período compreendido entre 2004 e 2010, a evolução anual do mercado de energia solar térmica na União Europeia (UE27) e Suíça.

Observa-se que o mercado de energia solar térmica na UE e Suíça mostrou forte crescimento em 2008. Alemanha, Espanha, Itália, França e Áustria foram os mercados que mais cresceram. A maior contribuição foi dada pelo mercado alemão que cresceu mais do que 120% em 2008 (ESTIF, 2011).

O significativo crescimento do mercado de energia solar térmica, observado em 2008, na Europa, pode ser explicado pelos fatos abaixo relacionados (ESTIF, 2011):

- a) “Gás, óleo e eletricidade não são mais opções de longo prazo (estão cada vez mais caros, mesmo com a queda anual devido à recessão econômica), a produção do petróleo atingiu o pico e está prestes a diminuir, e a Europa está muito dependente de um único fornecedor de gás;
- b) Os códigos de construção europeus estão cada vez mais incorporando a energia renovável à edificação, e a energia solar térmica oferece uma solução eficaz de custo;
- c) A tecnologia solar térmica é amplamente disponível e apoiada por ampla gama de empresas.

Devido à crise financeira de 2008/2009, após 2008, o mercado de energia solar térmica na EU e Suíça diminuiu significativamente em dois anos sucessivos, embora ainda permaneça acima do nível de 2007.

A Espanha deu importante passo para a inserção da energia solar térmica ao aquecimento da água através da criação do Código Técnico de Edificações da Espanha (2006).

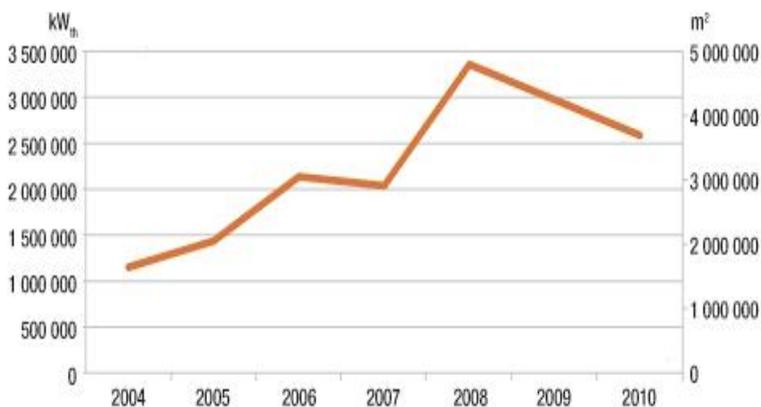


Figura 2.3 - Evolução anual do mercado de energia solar térmica na UE e Suíça (Fonte: ESTIF, 2011)

Esse Código estabelece regras e procedimentos que permitem cumprir as exigências básicas de economia de energia na edificação. Seu objetivo é obter o uso racional da energia necessária para a utilização em edifícios, reduzindo a limites sustentáveis o seu consumo e conseguir que uma parte deste consumo proceda de energias renováveis como consequência das características do projeto, construção, uso e manutenção do edifício. Com relação à previsão de demanda de água quente sanitária ou de climatização de piscina coberta, prevê que uma parte das necessidades energéticas térmicas derivadas desta demanda seja coberta mediante a incorporação, nas edificações, de sistemas de captação, armazenamento e utilização de energia solar de baixa temperatura adequado à irradiação solar incidente e à demanda de água quente do edifício.

O estado da Califórnia aprovou, em 2007, o Solar Water Heating and Efficiency Act. Através desta Lei, a Califórnia Public Utilities Commission deve criar incentivos financeiros para incentivar a instalação de sistemas solares de aquecimento de água com o objetivo de deslocar o uso do gás natural desta função. A Califórnia já incentivava rotineiramente iniciativas para a substituição do aquecimento elétrico da água por sistemas solares de aquecimento. Entretanto, nada análogo existia, até a data de aprovação desta Lei, para sistemas que utilizam gás para o aquecimento da água.

No Brasil, os sistemas termossolares (apesar de complementarem e contribuir em no aspecto energético e ambiental, tanto quanto outras fontes de energia) não são classificados como equipamentos geradores de energia elétrica e sim como equipamentos que promovem a eficiência energética e a partir de 2000, estão incorporados nas políticas de eficiência energética brasileiras. A Eletrobrás, através de programas de uso racional da energia elétrica (Procel), a Caixa Econômica Federal – CEF, através de dotações orçamentárias específicas e as concessionárias de energia elétrica, por meio da Lei Federal 9.991, de 24 de julho de 2000, têm estimulado a inserção da energia solar térmica na habitação de interesse social. Até a presente data, os recursos aplicados pelas concessionárias de energia elétrica têm se constituído na principal fonte de subsídio dos equipamentos termossolares aos usuários de baixa renda. As ações pontuais para a sua disseminação nas moradias populares se baseiam em projetos pilotos realizados por concessionárias de energia elétrica, fabricantes, companhias de habitação e governo federal e sua doação às famílias de baixa renda estão incluídas na destinação de recursos para ações em eficiência energética (Fantinelli, J.T., 2006, Fantinelli et al., 2006).

Algumas cidades pioneiras, no Brasil, tais como: Varginha (MG), São Paulo (SP), Peruíbe (SP), Avaré (SP), Juiz de Fora (MG) e Birigui (SP) possuem leis de incentivo ao uso da energia solar para o aquecimento de água. Nestas, a agregação da energia solar para o aquecimento de água é incentivada através da obrigatoriedade do uso de aquecedores solares em novas edificações (com ênfase na edificação de interesse social e em edificações públicas) e da criação de programas de incentivos fiscais. Políticas de incentivo fiscal para o uso da energia termossolar, tais como, desconto do IPTU e retirada do aquecedor solar como item de luxo no cálculo do IPTU são adotadas respectivamente em Campina Grande (PB) e Belo Horizonte (MG).

Dois estados brasileiros, São Paulo e Rio de Janeiro, aprovaram leis que tornam obrigatório o uso de aquecedores solares em todas novas edificações públicas. Em São Paulo, deve-se ressaltar ainda, que por uma iniciativa da Companhia de Desenvolvimento da Habitação Urbana - CDHU-SP, no contexto do Programa da Qualidade da Construção Habitacional do Estado de São Paulo - QUALIHAB, instituído pelo Decreto 41.337, de 25 de novembro de 1996, todas as habitações de interesse social do estado a serem construídas devem inserir a energia solar para o aquecimento da água para fins sanitários. Atualmente, mais de 50 cidades no Brasil já apresentam em suas câmaras projetos de leis para incentivar o uso da tecnologia solar.

2.3 AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO NO BRASIL

2.3.1 Distribuição do consumo de energia

As Fig. 2.4, 2.5 e 2.6 apresentam, para o Brasil e para o ano de 2010, a distribuição do consumo de energia classificado por fontes energéticas e por setores.

Em 2010, consumo energético total foi de aproximadamente 240.949 x 10³ tep (BEN- Ano Base 2010, 2012) e o consumo de energia elétrica corresponde a 16,3% do consumo energético total.

Observa-se nas Fig. 2.5 e 2.6 que o consumo energético residencial corresponde a 9,8 % do consumo final de energia por setor e o segmento residencial foi responsável por 23,8% do consumo total de eletricidade do país.

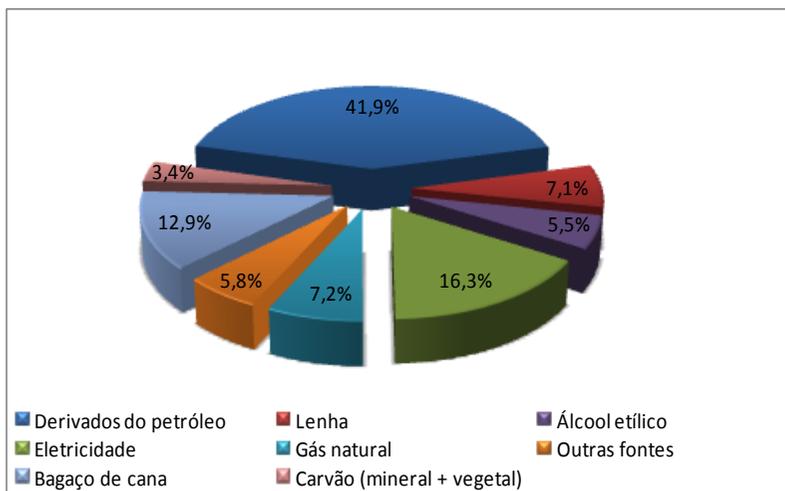


Figura 2.4 - Consumo final de energia por fonte energética
(Fonte: Dados oriundos do BEN – Ano Base 2010, 2012)

Observa-se que a energia elétrica é a fonte energética responsável pelo aquecimento da água para o banho em 73,5% dos domicílios, o gás é responsável pelo aquecimento da água para o banho em 5,9% e a energia solar térmica é utilizada para este fim em apenas 0,4% dos lares brasileiros.

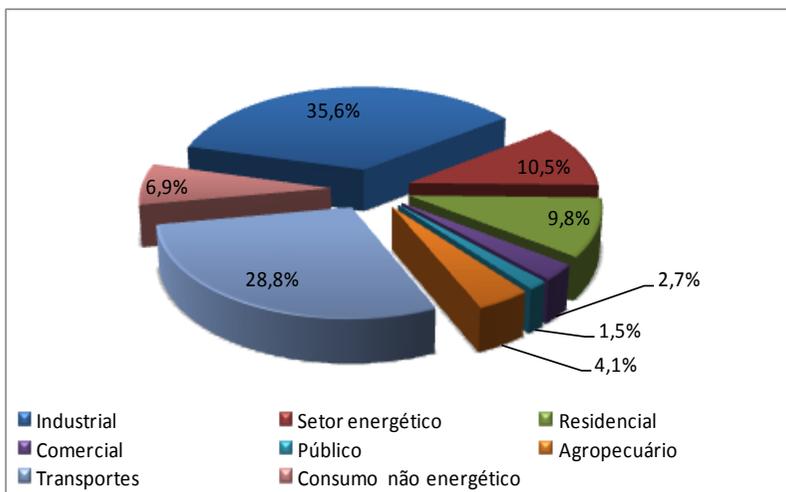


Figura 2.5 - Consumo final de energia por setor
(Fonte: Dados oriundos do BEN – Ano Base 2010, 2012)

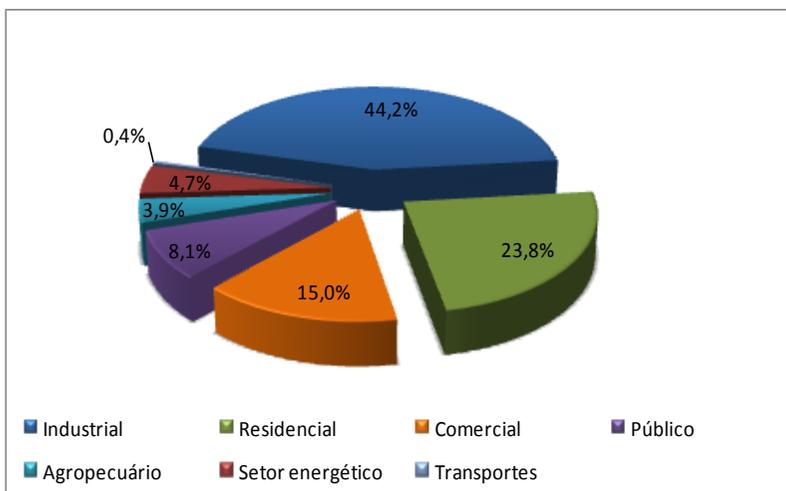


Figura 2.6 - Consumo setorial de eletricidade
(Fonte: Dados oriundos do BEN – Ano Base 2010, 2012)

2.3.2 Fontes de energia utilizadas para aquecimento da água para o banho

A Fig. 2.7 apresenta os valores percentuais referentes às fontes de energia utilizadas para o aquecimento da água para o banho, no Brasil.

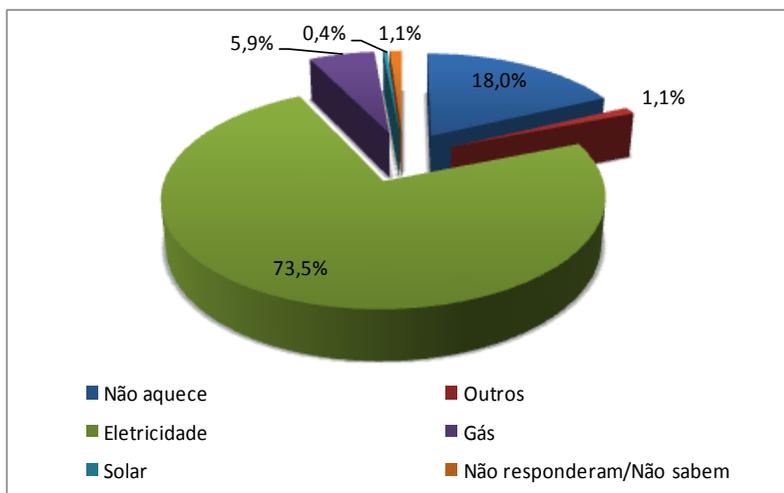


Figura 2.7 - Fontes de energia utilizadas para aquecer a água para o banho (Fonte: Dados oriundos da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobras/Procel, 2007)

Observa-se que a energia elétrica é a fonte energética responsável pelo aquecimento da água para o banho em 73,5% dos domicílios, o gás é responsável pelo aquecimento da água para o banho em 5,9% e a energia solar térmica é utilizada para este fim em apenas 0,4% dos lares brasileiros.

2.3.3 Chuveiro elétrico

A Fig. 2.8 apresenta o percentual de posse do chuveiro elétrico no Brasil.

Observa-se que o mesmo está presente em 73,1% dos domicílios brasileiros, com percentuais de distribuição de posse bem diferenciados nas diversas regiões do país. O chuveiro elétrico está maciçamente presente nas residências das regiões sul, sudeste e centro-oeste, predominando na região sul, onde aproximadamente 99% dos domicílios o possuem, para fins de aquecimento de água para o banho.

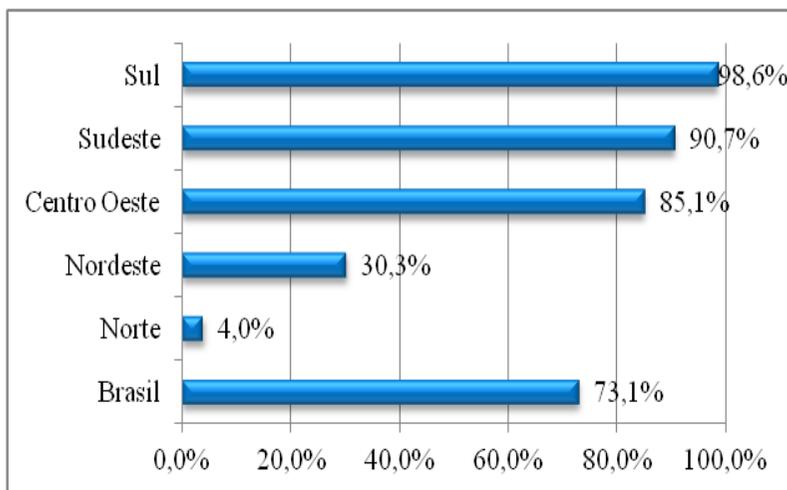


Figura 2.8 - Percentual de posse do chuveiro elétrico – Brasil
(Fonte: Dados oriundos da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

O aquecimento da água para o banho nos domicílios brasileiros é predominantemente realizado por aquecedores elétricos instantâneos, intitulados “chuveiros elétricos”. Embora muito populares no país, os chuveiros elétricos não passaram por nenhuma grande evolução nas últimas décadas. A maioria dos modelos comercializados é constituída por um simples seletor com possibilidade de duas, três ou quatro posições para a seleção da potência elétrica a ser utilizada para aquecer a água.

Nestes modelos, o usuário regula a temperatura da água basicamente pelo aumento ou diminuição de sua vazão. Entretanto, esta solução tem se mostrado bastante inadequada para aquecer a água para o banho, principalmente em regiões localizadas no sul do país, devido às baixas temperaturas de inverno.

O chuveiro elétrico com controle eletrônico de temperatura por controle de fase (por ângulo de disparo) está se tornando muito popular no Brasil. Tem despontado como solução para combater o desperdício de água e de energia elétrica, por apresentar como diferencial o ajuste manual da potência elétrica, o que lhe confere mais possibilidades de ajuste, permitindo ao banhista um jato de água na vazão e temperatura desejadas. Entretanto, tais equipamentos apresentam características indesejáveis, tais como, baixo fator de potência e amplo conteúdo harmônico na forma de

onda da corrente elétrica, contribuindo fortemente para aumentar a degradação da qualidade da energia e para aumentar o “carregamento” dos cabos e dos transformadores integrantes dos sistemas elétricos.

2.3.4 Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial

As Fig. 2.9 a 2.14 apresentam os valores percentuais referentes à participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil e nas regiões Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul do país.

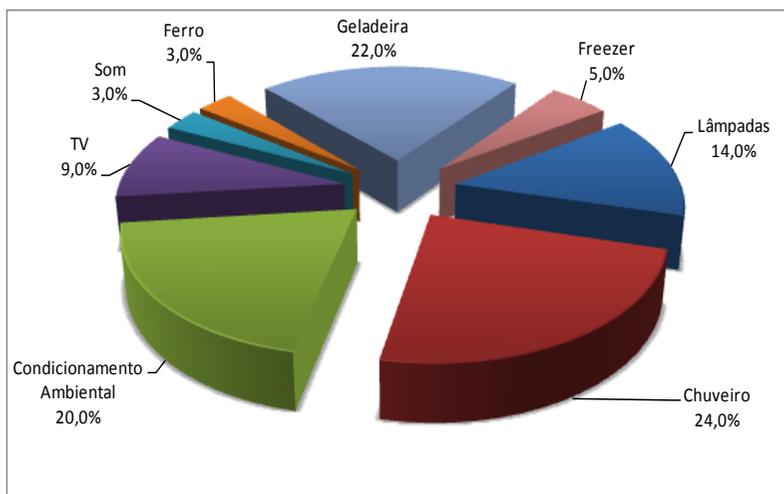


Figura 2.9 - Participação de consumo na carga residencial - Brasil
(Fonte: Dados oriundos da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

O chuveiro elétrico apresenta participação diferenciada no consumo residencial nas diversas regiões do país, com modesta participação no consumo residencial nas regiões Norte (2%) e Nordeste (9%) e participação significativa no consumo residencial nas regiões Centro Oeste (28%), Sudeste (26%) e Sul (25%) do país.

No setor residencial, o consumo de energia elétrica constitui-se basicamente de aquecimento de água, seguido de refrigeração, condicionamento ambiental e iluminação e o chuveiro elétrico é responsável, em média, por 24% do consumo residencial no país. Portanto, o chuveiro elétrico é responsável pela maior fatia de consumo de energia elétrica de um domicílio.

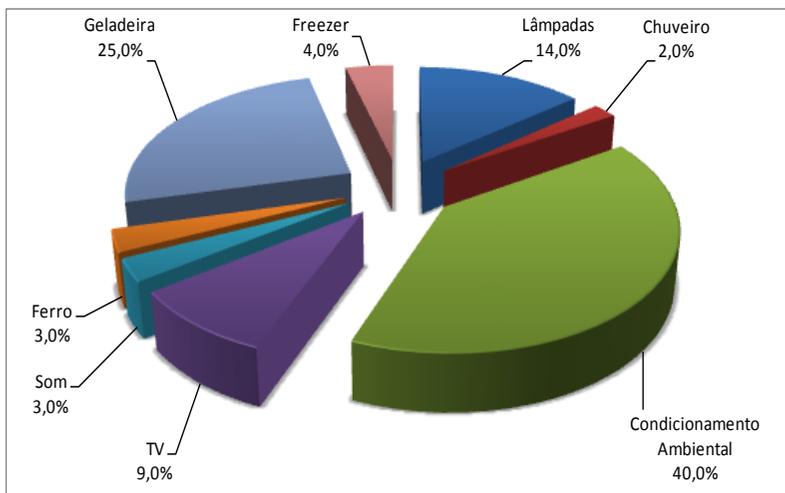


Figura 2.10 - Participação de consumo na carga residencial – Norte
(Fonte: Dados oriundos da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

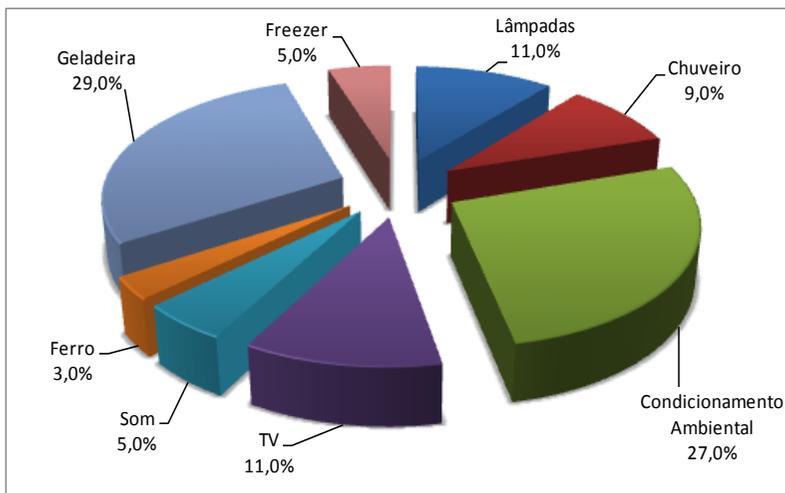


Figura 2.11 - Participação de consumo na carga residencial – Nordeste
(Fonte: Dados oriundos da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

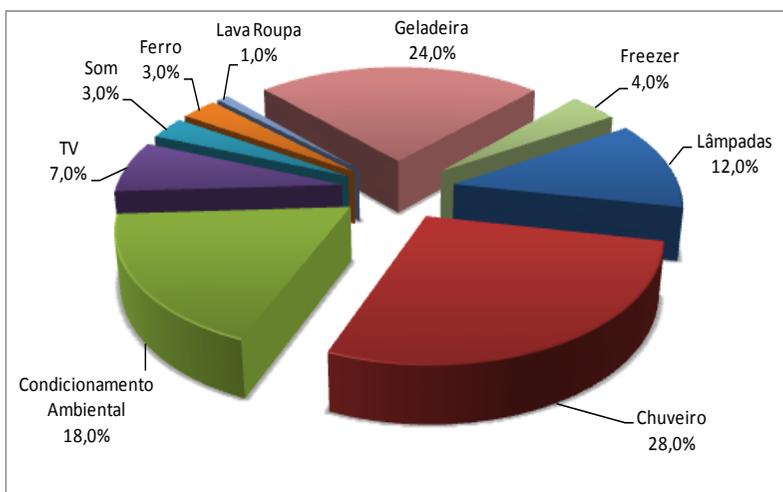


Figura 2.12 - Participação de consumo na carga residencial – Centro Oeste
(Fonte: Dados oriundos da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

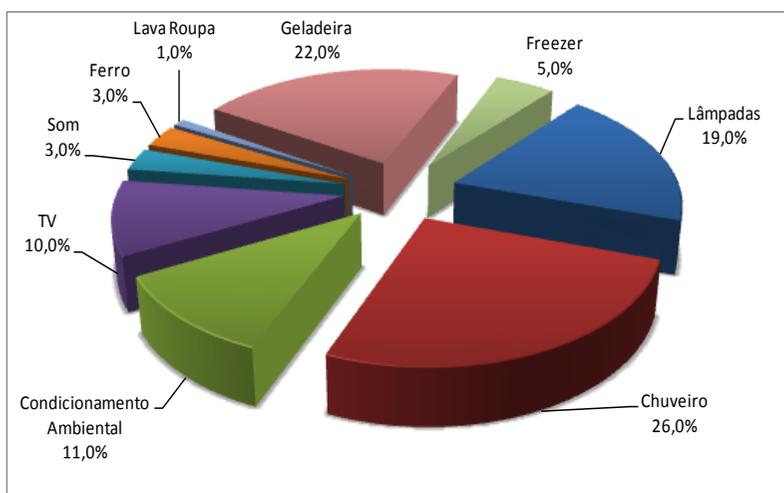


Figura 2.13 - Participação de consumo na carga residencial – Sudeste
(Fonte: Dados oriundos da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

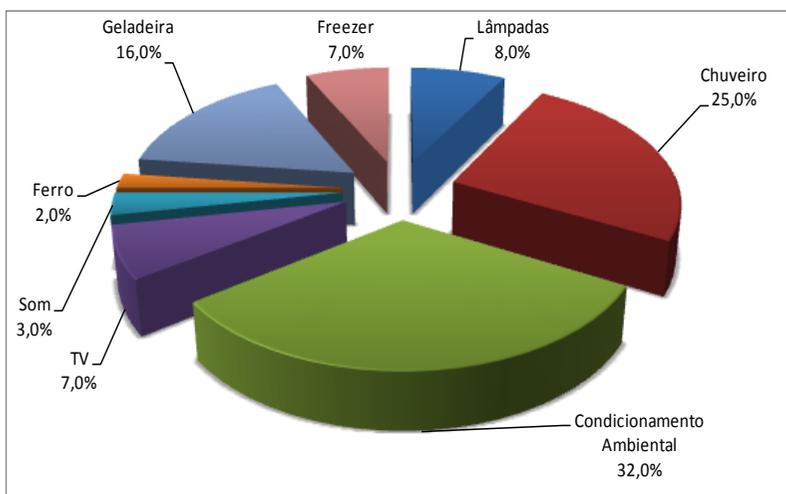


Figura 2.14 - Participação de consumo na carga residencial – Sul
(Fonte: Dados oriundos da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

A Tab. 2.1 apresenta os percentuais de distribuição do consumo residencial de energia elétrica, classificado por usos finais. Observa-se que, em média, 22,8% do consumo total de uma família com renda de até 2 salários mínimos são utilizados no aquecimento de água.

Bermann (2002), propõe a caracterização de uma cesta básica energética para um domicílio brasileiro, generalizando um padrão de 5 pessoas por habitação de 2 quartos, sala, cozinha e banheiro, considerando as necessidades de satisfação dos principais serviços energéticos, tais como: iluminação, aquecimento de água, refrigeração e força motriz para os equipamentos eletrodomésticos, e adota, para a eletricidade, os parâmetros indicados na Tab. 2.2.

Considerando-se 5 banhos diários de 8 minutos cada, o consumo mínimo mensal de energia elétrica com o banho/domicílio é de 70 kWh, representando o maior consumo de energia elétrica do domicílio.

Tabela 2.1 - Distribuição percentual do consumo residencial de energia elétrica por usos finais (Fonte: Achão, 2003 e Achão et al, 2004)

Classe de renda (salários mínimos)						
Finalidade	até 2	entre 2 e 3	entre 3 e 5	entre 5 e 10	mais de 10	Média
<i>Aquecimento de água</i>	22,8	20,3	18,9	29,9	18,5	22,2
Serviços gerais	15,8	13,5	13,6	12,2	16,9	14,8
Conservação de alimentos	37,6	36,0	34,9	26,2	27,1	30,2
Condicionamento ambiental	4,5	6,5	8,3	9,4	12,4	9,5
Lazer	11,0	10,4	9,7	7,3	6,1	8,0
Iluminação	8,3	13,2	14,6	15,1	19,0	15,4
Total	100,	100,	100,	100,	100,	100,

Tabela 2.2 - Requerimento mínimo mensal em energia elétrica por domicílio (Fonte: Bermann, 2002)

Aparelhos elétricos	Potência média (Watts)	Dias de uso/mês	Tempo médio de uso/dia	Consumo médio mensal (kWh)
Geladeira	200	30	10 h (*)	60,0
<i>Chuveiro elétrico</i>	<i>3.500</i>	<i>30</i>	<i>40min(**)</i>	<i>70,0</i>
2 lâmpadas (100 W)	2x100	30	5 h	30,0
3 lâmpadas (60 W)	3x60	30	5 h	27,0
Televisão	60	30	5 h	9,0
Ferro elétrico	1.000	12	1 h	12,0
Máquina de lavar roupa	1.500	12	30 min	9,0
Aparelho de som	20	30	5 h	3,0
Total	6.660			220 kWh
(*) O tempo médio de utilização de 10 horas para geladeira refere-se ao período em que o compressor fica ligado.				
(**) Considerou-se 5 banhos diários de 8 minutos cada.				

2.3.5 Subsídios ao consumo de energia elétrica

No Brasil, o subsídio ao consumo de energia elétrica caracteriza como unidades consumidoras classificadas nas subclasses de baixa renda, com direito à Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), desde que sejam

utilizadas por família inscrita no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal - Cadastro Único, com renda familiar mensal per capita menor ou igual a meio salário mínimo nacional; ou consumidores recebedores do Benefício de Prestação Continuada da Assistência Social, nos termos dos arts. 20 e 21 da Lei no 8.742, de 7 de dezembro de 1993, ou ainda família inscrita no Cadastro Único com renda mensal de até 3 (três) salários mínimos, que tenha portador de doença ou patologia cujo tratamento ou procedimento médico requeira o uso continuado de aparelhos, equipamentos ou instrumentos que, para o seu funcionamento, demandem consumo de energia elétrica (ANEEL/Resolução Normativa 414, de 09 de setembro de 2010). Cada família terá direito ao benefício da Tarifa Social de Energia Elétrica – TSEE em apenas uma unidade consumidora.

A TSEE é caracterizada por descontos incidentes sobre a tarifa aplicável à classe residencial, excluídos os valores dos componentes tarifários correspondentes aos encargos setoriais da Conta de Consumo de Combustíveis – CCC, do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – Proinfa e da Recomposição Tarifária Extraordinária – RTE, conforme indicado a seguir (ANEEL/Resolução Normativa 414, de 09 de setembro de 2010 e Resolução Normativa 431, de 29 de março de 2010):

- a) “Para parcela do consumo mensal de energia elétrica inferior ou igual a 30 kWh, desconto de 65%;
- b) Para parcela do consumo mensal de energia elétrica superior a 30 kWh e inferior ou igual a 100 kWh, desconto de 40%;
- c) Para parcela do consumo mensal de energia elétrica superior a 100 kWh e inferior a 220 kWh, desconto de 10%;
- d) Para parcela do consumo mensal superior a 220 kWh, não incide desconto.

As Subclasses Residencial Baixa Renda Indígena e Residencial Baixa Renda Quilombola terão direito a desconto de 100% até o limite de consumo de 50 kWh por mês. Sobre o consumo excedente a 50 kWh será aplicado desconto sobre a tarifa de energia elétrica conforme estabelecido nos itens anteriormente descritos.

Para manter-se na faixa de consumo caracterizada como baixa renda, com direito a descontos significativos na tarifa subsidiada, o consumidor fica praticamente impedido de aquecer a água para o banho com chuveiro elétrico, já que o consumo residencial com o aquecimento da água, considerando-se cinco banhos diários de oito minutos, representa cerca de 70 kWh/mês (Bermann, 2002).

A agregação da energia solar térmica para fins de aquecimento da água para o banho pela população de baixa renda pode dar significativa contribuição para um melhor equacionamento desta questão. O uso do aquecedor solar, além de permitir que as famílias de baixa renda tenham o acesso à água quente, contribui para que as mesmas se beneficiem de tarifas subsidiadas (Souza Ramos e Vital Brasil, 2006). Adicionalmente, as concessionárias de energia elétrica podem se beneficiar da melhor utilização da eletricidade disponibilizada pelo aquecimento solar da água para o banho, no horário de ponta.

Pelas razões acima, e também devido aos custos evitados pelo setor elétrico e aos benefícios ambientais associados (Kalogirou, 2004), sistemas domésticos de aquecimento solar para a população de baixa renda devem ser estimulados por políticas governamentais.

2.3.6 Impactos proporcionados pelo banho quente sobre a curva de carga do sistema elétrico

As Fig. 2.15 a 2.20 apresentam as curvas de carga residenciais médias diárias do Brasil e das regiões Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul do país.

Tais curvas representam, em nível de país e regiões, um consumidor hipotético, cujo significado pode ser interpretado de duas formas (Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo - Eletrobrás/Procel, 2007):

- a) “Refletem a divisão da curva de carga diária típica da classe residencial do país ou da região, respectivamente, pelo número de consumidores atendidos.
- b) Refletem o consumo diário de energia elétrica de tal consumidor, considerando as frações dos equipamentos possuídos e expandidos para o universo de consumidores, bem como os hábitos de uso, que foram distribuídos ao longo de um dia típico, conforme declaração obtida por amostragem.

Observa-se que as curvas de carga residenciais médias diárias das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil apresentam aumento de demanda de potência no período entre 18 e 21 horas (horário de ponta), com pico de demanda em torno das 19 horas.

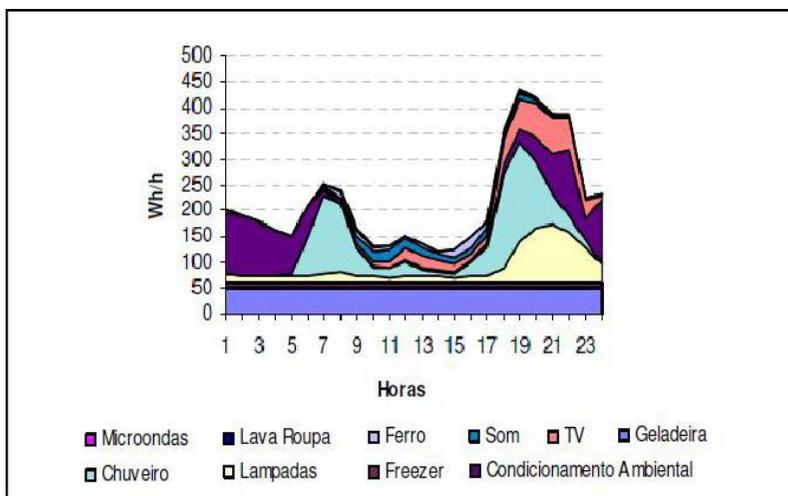


Figura 2.15 - Curva de carga residencial média diária – Brasil
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

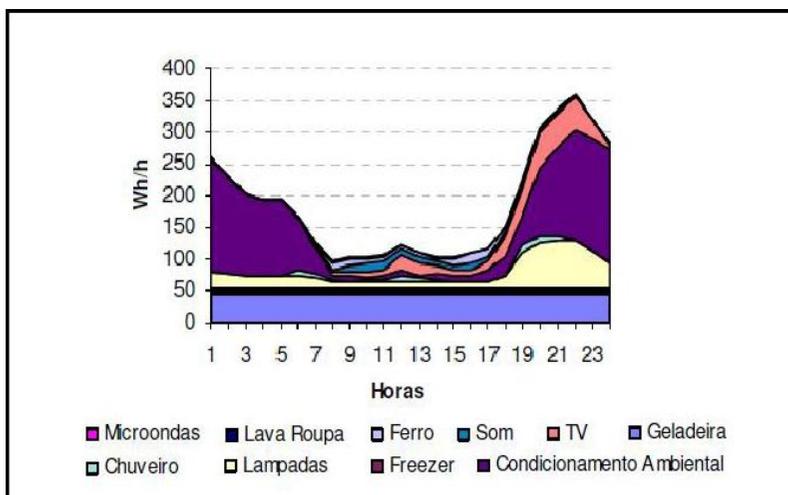


Figura 2.16 - Curva de carga residencial média diária – Norte
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

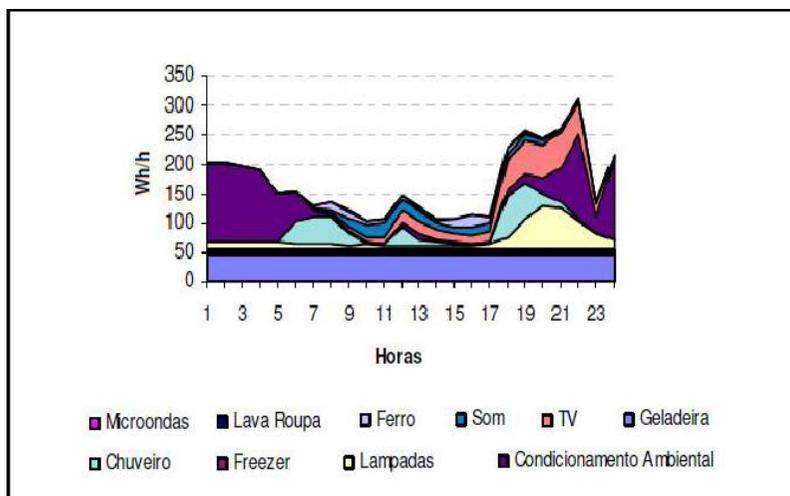


Figura 2.17 - Curva de carga residencial média diária – Nordeste
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

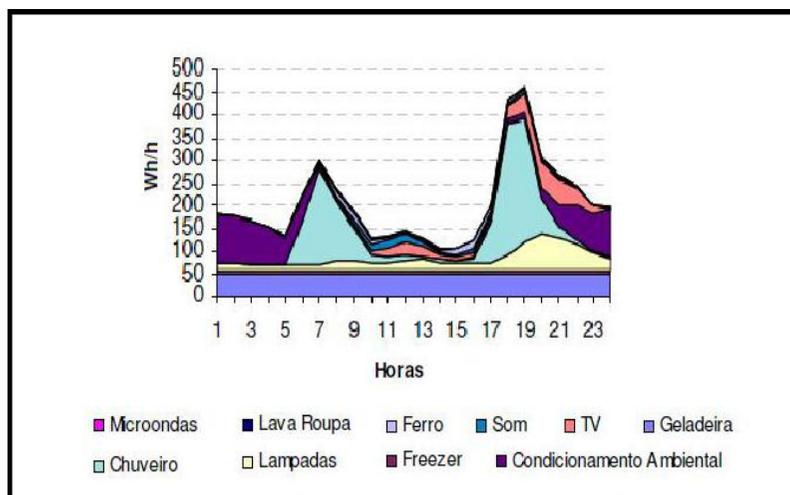


Figura 2.18 - Curva de carga residencial média diária - Centro Oeste
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

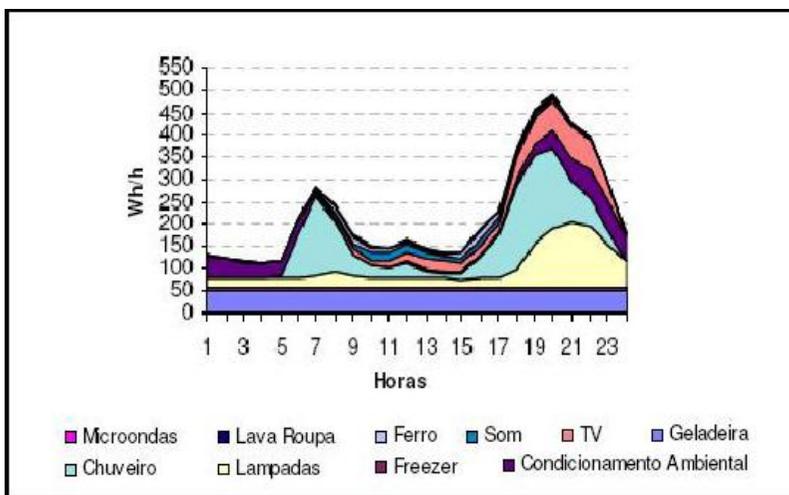


Figura 2.19 - Curva de carga residencial média diária – Sudeste
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

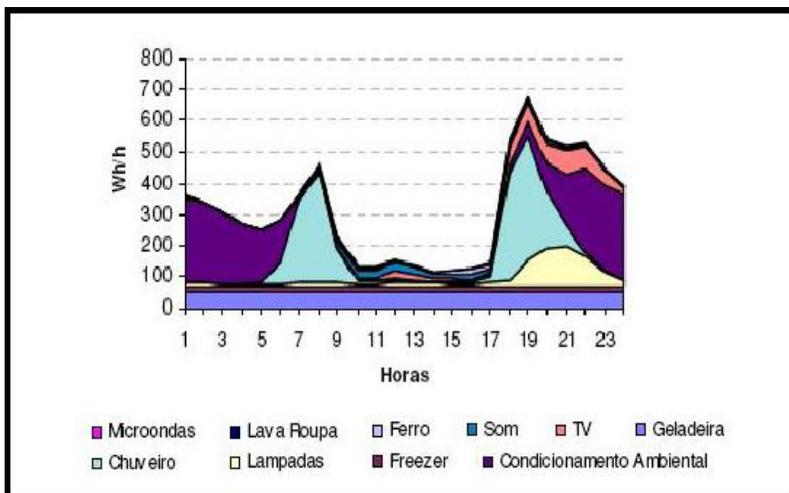


Figura 2.20 - Curva de carga residencial média diária - Sul
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

O segmento residencial responde por significativa parcela deste pico, e o chuveiro elétrico é um dos equipamentos que mais contribuem para que isto ocorra, já que nestas regiões está presente praticamente na totalidade das residências, com uso predominantemente no horário de ponta. Segundo a Eletrobrás/Procel, o chuveiro elétrico é responsável por cerca de 60% da carga residencial do país nas horas de pico de consumo (www.eletrabras.com, 2009).

Os chuveiros elétricos devem ser alvos de políticas de conservação de energia já que funcionam principalmente no horário de ponta, com elevada potência e reduzido período de uso, resultando em baixos fatores de carga (Prado et al, 1998, Geller et al, 2002 e Almeida et al, 2001). Nos últimos anos, o problema se agravou devido ao contínuo aumento da potência dos chuveiros elétricos, tendo passado de aproximadamente 3 kW em média (Oliva, 1999) para a faixa de 4,4 a 7,7 kW. Aquecedores elétricos de passagem chegam a ter até 10 kW. Atualmente, pode-se afirmar que o aquecimento da água para o banho humano é responsável por um dos grandes problemas energéticos que o Brasil enfrenta.

A utilização intensiva dos sistemas termossolares em substituição aos chuveiros elétricos pode ser entendida como geração virtual de energia elétrica (Pereira et al., 2003). Entretanto, apesar dos benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho e da significativa queda nos custos dos sistemas termossolares, verificada nos últimos anos, os elevados custos iniciais do sistema termossolar para aquecimento da água ainda continuam sendo um dos maiores obstáculos para o uso mais generalizado desta benigna tecnologia (Gillingham, 2009).

2.4 *PROJETOS EXPERIMENTAIS DE INSERÇÃO DA ENERGIA TERMOSSOLAR NA HABITAÇÃO POPULAR BRASILEIRA*

2.4.1 Introdução

No Brasil são crescentes as aplicações da energia solar térmica para o aquecimento da água em conjuntos habitacionais e casas populares.

Entre os projetos já realizados podem ser citados, os projetos, CPFL-UNICAMP (Campinas, 1995), Ilha do Mel (PR, 1996), Projeto Cingapura (SP, 1996), Projeto Sapucaias em Contagem (MG, 2000), Conjuntos Habitacionais SIR e Maria Eugênia (COHAB) em Governador Valadares, Projeto Divinópolis em Divinópolis (MG, 2004), Projeto Vargem das Flores, em Betim (MG, 2005), Projeto Baixada Fluminense no Rio de Janeiro (RJ, 2004), Projeto UFSC/Celesc (SC, 2004), Projeto Candeias, em Candeias (MG, 2005) e Projeto Atibaia, em Atibaia (MG, 2005).

Experiências mais significativas, em termos de quantidade de equipamentos instalados em moradias populares, foram realizadas pela CEMIG, em 10 municípios na região de Betim (MG, 2006), totalizando 3.000 kits de aquecimento solar, e pela LIGHT (Rio de Janeiro, 2004) na Baixada Fluminense, totalizando 2.570 unidades. Em 2007, a concessionária local (Celesc), através do projeto de eficiência energética intitulado “Sou Legal, Tô Ligado”, fez a doação de 1.285 aquecedores solares a consumidores de baixa renda. Após 2008, diversos outros projetos utilizando energia solar térmica para o aquecimento da água para o banho pela população de baixa renda, com crescentes quantidades de equipamentos instalados, estão sendo realizados por concessionárias de energia elétrica, através de seus programas anuais de Eficiência Energética.

Embora muitos projetos já tenham sido executados, até a presente data, através de pesquisa realizada em sites de órgãos públicos (ANEEL) que controlam a aplicação dos recursos da Lei Federal 9.991 e em sites de concessionárias de energia elétrica, não foram encontrados relatórios disponíveis (de forma pública) que especifiquem a forma de monitoramento e controle das metas propostas pelos projetos de eficiência energética.

A ausência de dados disponíveis sobre a forma de monitoramento dos ganhos alcançados pelos Projetos de Eficiência Energética pode ser justificada pelo fato de que, embora previstos nos manuais para Elaboração de Programa de Eficiência Energética, critérios de Medição e Verificação de Desempenho, baseados nas prescrições do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP) não foram adotados pelas concessionárias para avaliar seus Projetos de Eficiência Energética.

A seguir, são analisados os desempenhos dos projetos de inclusão da população de baixa renda no mercado de aquecedores solares de água, intitulados Projeto CPFL - UNICAMP (1996), Projeto Eletrobrás Solar (2000) e Projeto UFSC - Celesc (2004). Tais projetos foram realizados através do trabalho conjunto de fabricantes de equipamentos, concessionárias de distribuição de energia elétrica e instituições de pesquisa, e os resultados obtidos foram divulgados através de Dissertações, Teses e Artigos em Congressos Nacionais e Internacionais.

Os três projetos analisados utilizaram a tecnologia de aquecedor solar de baixo custo (ASBC). O ASBC caracteriza-se por apresentar baixo investimento inicial, quando comparado ao aquecedor solar tradicional. “Baixo custo” não significa necessariamente “baixa eficiência”, apesar de, em muitos casos, haver redução relativa de rendimento térmico ou de vida útil. A principal característica desse equipamento é o seu dimensionamento, cujo objetivo é suprir apenas as necessidades de banho dos consumidores

(Oliva, 1999). Neste caso, o objetivo a ser perseguido consiste em otimizar a configuração do sistema, buscando minimizar o custo inicial sem grande redução do desempenho energético e econômico, visando tornar os aquecedores solares mais viáveis economicamente.

2.4.2 Projeto CPFL-UNICAMP (1995)

O projeto CPFL - UNICAMP (1995), desenvolvido em parceria entre a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), apresentou como objetivo o desenvolvimento de um sistema em que o coletor solar fornecesse água pré-aquecida para a utilização em chuveiros de potência reduzida. O protótipo especificado consistiu basicamente de um aquecedor solar de menor investimento para o consumidor, projetado para fornecer água pré-aquecida a uma temperatura definida. O chuveiro de baixa potência foi utilizado para elevar a temperatura da água até a do banho, quando necessário. A tecnologia adotada utilizou um resistor elétrico no reservatório térmico, também de potência reduzida, para garantir energia em dias de baixa irradiação solar incidente. A soma das potências dos dois resistores é menor do que a metade da potência dos chuveiros elétricos comuns.

O protótipo foi especificado com um coletor solar do tipo plano, área 2 m^2 , aletas de cobre, reservatório térmico de 500 litros, potência do resistor do reservatório térmico de 350 W, potência do chuveiro elétrico de 1.650 W e temperatura de pré-aquecimento de 30°C , controlada por termostato (Oliva et al., 1994, Oliva & Borges, 1996 e Oliva, 1999).

Os sistemas de aquecimento solar foram instalados, em 1995, em 7 moradias de interesse social próximas à Companhia Paulista de Força e Luz, em Campinas, São Paulo. O critério de seleção das moradias levou em consideração: proximidade da CPFL, semelhança de plantas, serem habitadas por proprietários, possuírem de 3 a 5 moradores, utilizarem chuveiros elétricos para o banho e telhado com orientação para o Norte (Oliva & Borges, 1996).

O custo do protótipo do pré-aquecedor solar foi de aproximadamente US\$ 400. O custo de conservação de energia para a concessionária foi de US\$ 377/kW, com tempo de retorno de investimento de 3,9 anos (Oliva et al., 1994).

Os resultados de teste do projeto piloto mostraram elevada satisfação por parte dos usuários e reduções no consumo de energia e na demanda no horário de ponta. A economia de energia observada foi menor do que a esperada, em alguns casos, devido ao aumento do conforto (maior vazão de água quente, maior número e duração de banhos), conforme verificado por

medições e declarações dos usuários. Adicionalmente, para que uma adequada análise do impacto desta tecnologia sobre a demanda de potência no sistema elétrico seja feita é necessária uma experiência em maior escala (Oliva, 1999).

Madureira & Jannuzzi (1996) fizeram a análise econômica da introdução da tecnologia em habitações brasileiras. Adotaram como parâmetros, taxa de desconto anual para o setor elétrico de 12% e taxa de desconto anual para o consumidor final de 35%, custo de manutenção do sistema de pré-aquecimento solar nulo e Fração Solar para os sistemas solares (para fornecimento de água a 30°C) igual a 1. Consideraram ainda, que 20% da energia anual necessária ao aquecimento da água para o banho na residência é oriunda de energia elétrica e que a vida útil tanto do aquecedor solar como do chuveiro elétrico é de 20 anos. Os autores, para estimar a capacidade evitada na geração proporcionada pela agregação da energia solar ao banho, consideraram potência média de 4.500 W (inverno) para o chuveiro elétrico e para o sistema de pré-aquecimento solar, a situação menos favorável de funcionamento, ou seja, chuveiro elétrico de 1.650W e resistor de 350 W, totalizando 2.000 W. Portanto, seu trabalho considerou que a nova tecnologia substitui efetivamente 2.500 W de potência.

A análise da atratividade do pré-aquecedor solar frente ao sistema usual (chuveiro elétrico) consistiu em comparar o Custo de Conservar Energia (CCE), que consiste no custo despendido na conservação de uma unidade de energia, expresso em US\$/kWh, com o Custo Marginal de Fornecimento de Energia (CMF), que consiste no custo despendido no fornecimento de uma unidade de energia, expresso em US\$/kWh. A diferença entre CCE e o CMF, representa o ganho ou a economia unitária para o setor elétrico.

A análise econômica da tecnologia adotada constatou que, para o setor elétrico, o sistema de pré-aquecimento solar constitui-se em oportunidade de investimento mais atrativo que sua expansão, mesmo que este forneça o sistema gratuitamente ao consumidor final. Os resultados mostraram retorno anual líquido do investimento de US\$ 221 e tempo de retorno de investimento (pay back) de 2,4 anos (Madureira & Jannuzzi, 1996).

A análise simplificada aliada à adoção de estimativas otimistas para os parâmetros de projeto justificam o baixo valor estimado, pelos pesquisadores, para o tempo de retorno de investimento de 2,4 anos.

Estudos adicionais sobre esta tecnologia foram feitos por outros autores, como a análise energética global do sistema (Leonelli et. al., 1996) e a avaliação de ciclo de vida (Pinto, 1998).

2.4.3 Projeto Eletrobrás Solar (2000)

O projeto Eletrobrás Solar (2000), desenvolvido em parceria entre o Grupo de Estudo em Energia GREEN Solar da PUC-MG/Eletrobrás/PROCEL/CEMIG, teve como objetivo, avaliar as economias de consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, os ganhos econômicos para as famílias, proporcionados pela inserção de sistemas de aquecimento solar.

A população alvo escolhida pelo projeto Eletrobrás Solar (2000) foi a do Núcleo Habitacional Sapucaias, localizado no bairro Sapucaias, em Contagem, região metropolitana de Belo Horizonte. As 578 moradias de interesse social integrantes do Núcleo Habitacional Sapucaias foram construídas em 1999, em regime de autoconstrução por mutirão, com participação da Prefeitura Municipal de Contagem, da Construtora Andrade Gutierrez, da Confederação das Mulheres Brasileiras e da Federação das Mulheres de Minas Gerais (Fantinelli, 2006).

A participação das famílias no Projeto Eletrobrás Solar (2000) foi voluntária e organizada pela associação dos moradores que liderava o movimento de autoconstrução das moradias. Das 150 famílias que se inscreveram, foram selecionadas 100. O critério de seleção levou em consideração: ordem de registro, número máximo de 5 habitantes/moradia e condições de moradia que tivessem a orientação do telhado para o Norte, com desvio máximo de 20 ° C do norte verdadeiro (Pereira et. al., 2003a e Pereira et. al., 2003b).

Cada domicílio integrante desta pesquisa foi projetado para abrigar até 6 pessoas e possui área útil de aproximadamente 49 m². No período compreendido entre fevereiro de 2001 e janeiro de 2004, apresentou em média 4,97 habitantes/habitação (Pereira et. al., 2004a e Pereira et. al., 2004b) e, em 2005, em média 4,1 habitantes/domicílio (Fantinelli, 2006).

A tecnologia adotada utilizou dois tipos de sistemas de aquecimento de água (Pereira et. al., 2003a):

Sistema A: constituído por coletor plano, aletas de cobre, área de 2 m², reservatório térmico de 200 litros, em alumínio, acoplado a estrutura portante. Esta alternativa viabilizava a instalação em qualquer lote. Nesta pesquisa foram instalados 70 destes sistemas, chamados de “Popsol”.

Sistema B: constituído por coletor plano, aletas de cobre, área de 2 m², reservatório térmico de 200 litros, em alumínio. Foram instalados 30 destes sistemas com reservatório térmico colocado sob o telhado.

Atendendo à solicitação dos próprios moradores, os sistemas foram instalados com duas formas alternativas de aquecimento elétrico auxiliar: com resistência no reservatório ou com chuveiro elétrico. Em 58 sistemas Popsol e 21 sistemas convencionais foram usadas resistências elétricas de 1.500 W nos reservatórios, com possibilidade de serem acionadas manualmente no momento adequado. Em 12 sistemas Popsol e 9 sistemas convencionais foram instalados chuveiros elétricos. Os sistemas solares foram instalados no ano de 2000, com a participação ativa de cada família selecionada (Pereira et. al., 2003a e Pereira et. al., 2003b). O custo do sistema, incluindo todas as ligações e as canalizações de água quente, foi de aproximadamente R\$ 900,00 (US\$ 410) (Pereira et al., 2003b).

De 2000 a 2005, os consumos de energia elétrica das 100 habitações foram monitorados pela equipe do GREEN Solar. A análise da monitoração, para as 100 residências, realizada durante os 10 primeiros meses após a execução do projeto (outubro de 2000 a julho de 2001), demonstrou que os resultados obtidos foram bastante significativos, com redução média de 30% no consumo de energia e de 40% no valor a ser pago no final de cada mês (Pereira et al., 2003).

Fantinelli (2006), em “Análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar de água para habitações populares”, apresenta o Estudo de Caso: Projeto Eletrobrás Solar. Seu objetivo foi identificar o comportamento e a satisfação da população frente à introdução de equipamentos termossolares para aquecimento de água para fins sanitários e ainda, identificar os novos hábitos de consumo de eletricidade e de gás na moradia, diante da substituição do chuveiro elétrico. Quando a referida avaliação foi realizada, a experiência da inserção dos coletores solares já estava consolidada.

O trabalho de campo no núcleo de baixa renda (65% da comunidade possui renda média de 1 a 2 salários mínimos), na cidade de Contagem, em Minas Gerais, realizado pela pesquisadora, em julho de 2005, mostrou o comportamento adotado pelas 100 famílias diante da nova tecnologia termossolar para o aquecimento da água para o banho. O método utilizado foi o de entrevista, aplicada aos usuários das habitações, conforme metodologia da Avaliação Pós - Ocupação do Ambiente Construído – APO, estudada por Ornestein (1992) e Pedro (2000). Essa metodologia, a partir da avaliação de fatores técnicos, funcionais, econômicos, estéticos e comportamentais e com o parecer de técnicos e usuários, diagnostica

aspectos positivos e negativos do ambiente em uso, definindo recomendações para intervenções que sejam necessárias.

Nessa pesquisa foi constatado que apesar da conscientização inicial das famílias integrantes do projeto (realizada pela equipe técnica, quando da implantação do projeto em 2000) sobre os benefícios econômicos proporcionados pelo novo sistema, 33% dos equipamentos foram comercializados pelos integrantes do programa. A doação realizada pelo poder público, a facilidade com que os sistemas solares podiam ser desmontados, a necessidade de acréscimos ao projeto padrão da moradia (49 m²) e a necessidade de renda momentânea para a subsistência familiar foram os fatores constatados pela pesquisadora para justificar o elevado índice de venda dos coletores solares, por valores insignificantes frente ao custo da tecnologia.

A comercialização, por integrantes dessa pesquisa, de 33% dos equipamentos recebidos, indica que deve ser desmistificada a crença do poder público de que a simples doação de equipamentos eficientes à população de baixa renda pode ser utilizada como ferramentas de eficiência energética.

Foram analisados os comportamentos dos grupos abaixo relacionados:

Grupo com solar: constituído por 67 unidades consumidoras que permaneceram com o coletor solar,

Grupo solar vendido: formado por 33 unidades consumidoras que venderam o coletor solar após curto tempo de uso.

Fantinelli (2006), através de levantamento dos consumos de energia elétrica feito pelo GREEN Solar, constatou que os consumos médios mensais de energia elétrica do grupo com solar, antes e depois da introdução dos coletores solares, foram respectivamente de 130 kWh (2000), 90 kWh (2001), 83 kWh (2002), 83 kWh (2004) e 85 kWh (2005). O percentual de economia de energia elétrica, devido à incorporação de hábitos de racionalização no uso da energia elétrica e à economia proporcionada pelo uso dos sistemas termossolares, entre 2000 e 2005, foi de aproximadamente 34,6%.

A pesquisa constatou ainda que:

- a) “O uso de coletores solares não desloca o hábito de banho do horário de ponta do sistema energético nacional. Os dois grupos analisados o fazem com maior frequência em torno das 18 horas. Existe uma pequena migração de conduta nas famílias que venderam os coletores solares, para o horário da noite, a partir das 22 horas;

- b) O tempo de banho é maior nas famílias com coletores: entre 10 e 15 minutos;
- c) É significativa a diferença encontrada, entre os grupos, quanto ao hábito de tomar banho quente no verão. Nas moradias que possuem o coletor, 50%, tomam banho quente no verão, mas nas moradias onde os coletores solares foram vendidos, apenas 17% tomam banho quente no verão. Quanto ao inverno, o comportamento de tomar banho quente sempre ou quase sempre é de 95% para o grupo que possui coletores solares e 92% para o grupo que o vendeu. Devido à margem de erro da amostra, deve ser considerado que pelo menos 85% dos entrevistados tomam banho quente no inverno;
- d) 28% das famílias que não possuem coletores solares aquecem a água para o banho através do uso de GLP ou de lenha e 22% dos que possuem coletores solares aquecem a água para o banho através do uso de GLP ou de lenha;
- e) As famílias que possuem coletores solares apresentam maior consumo médio mensal de água. Porém, este acréscimo de consumo não é significativo. Aproximadamente 57% da comunidade consomem entre 10 e 17 m³ de água. O consumo de até 10 m³ é constatado em 42% das famílias. Estas famílias se beneficiam de incentivo tarifário.
- f) A pesquisa constatou que o consumo médio mensal de água abaixo de 10 m³, para famílias com maior número de membros, provoca a restrição severa de seu uso, obrigando-as a medidas de racionalização quanto à lavagem de roupa, das calçadas e cultivo de plantas e hortas. Verificou ainda, que as famílias que possuem coletores dispõem da água para os mais diversos fins e em maior frequência, do que as que venderam seus sistemas termossolares. A pesquisa infere que o retorno financeiro obtido com a economia de energia elétrica pode estar propiciando maiores gastos com o consumo de água;
- g) O consumo médio mensal de gás para aquecimento e cocção de alimentos nas famílias com coletores é maior: 66% das famílias que possuem coletores solares apresentam consumo médio mensal de 1 botijão de 13 kg de gás. 43% dentre as que venderam seus sistemas solares apresentam consumo médio mensal de 1 botijão de 13 kg. Aproximadamente 43% das famílias que não possuem sistemas termossolares consomem meio botijão de gás por mês e 21% das famílias que possuem sistemas termossolares consomem meio botijão de gás por mês. Cruzando dados de consumo de gás com hábitos de aquecer a água para o banho, o percentual constatado é de 24% para o grupo com solar, e 22% para os que não possuem coletores solares;

- h) A posse e o uso de eletrodomésticos são maiores nas famílias que possuem coletores solares. A racionalização do uso de equipamentos com maior consumo de energia, como o ferro elétrico e o tanquinho é adotada nos dois grupos. O desligamento à noite de freezer e geladeira é adotado por apenas duas famílias. Os refrigeradores estão presentes em 97% das famílias com coletores e 88% das que não o possuem. A maioria das geladeiras é constituída por modelos antigos, com baixa eficiência energética;
- i) A posse e uso de equipamentos eletroeletrônicos para o lazer dentro da moradia é maior nas famílias que possuem coletores solares, com exceção do televisor, que está presente em 79% da amostra. Nas famílias, que venderam os coletores solares, verificou-se que a presença é de 100%;
- j) Ambos os grupos apresentam condutas para economizar energia elétrica através da diminuição do uso da iluminação na moradia. A potência média de iluminação instalada para o grupo com solar é de 340 W e para o grupo solar vendido é de 393 W;
- k) As aspirações e os desejos de compra de eletroeletrônicos são notoriamente diferenciados entre os dois grupos pesquisados. Os que possuem coletores solares preferem, em primeira escolha, a compra de microcomputadores, seguidos de aparelho de som e DVD. Os que venderam seus coletores solares preferem a compra do televisor, seguidos da máquina de lavar e do tanquinho;
- l) O percentual de economia de energia alcançado pelas famílias que possuem coletores solares, ao longo dos cinco anos de implantação da tecnologia, foi de aproximadamente 34,6% (2000 a 2005). O consumo médio mensal em 2000 foi de 130 kWh/mês. A economia na conta de energia variou de 71% a 56%, em função da incidência de ICMS ou da participação da família nos programas de gerenciamento de consumo da concessionária local;
- m) A avaliação do comportamento quanto à manutenção da nova tecnologia mostrou que 60% das famílias se envolvem com ela. 40% das famílias responderam que não fazem manutenção nem limpeza de seus equipamentos, o que permite afirmar que o sistema não está alcançando sua máxima potencialidade quanto à eficiência energética.

A falta de limpeza dos coletores solares é um problema muito comum, muitas vezes oriundo da dificuldade que o usuário tem para acessar seu sistema termossolar, que, normalmente, está instalado em locais de difícil acesso e de alto risco. Recomenda-se que os mesmos sejam instalados de forma que seu acesso seja facilitado e seguro e, que uma maior conscientização sobre os benefícios de sua manutenção seja feita ao usuário.

- n) Não foram constatados problemas nos coletores e reservatórios térmicos. Os problemas técnicos constatados em 44% da amostra constituem-se em pequenos vazamentos e ressecamento das mangueiras de conexão que ficam expostas ao sol. Para 56% das famílias, os problemas já tinham sido solucionados;
- o) A avaliação do comportamento das famílias na utilização dos sistemas termossolares, mostra a plena satisfação com a tecnologia, refletida por 93% dos entrevistados. Pelo menos 96% dos entrevistados tiveram percepção de que houve economia de energia com a utilização da tecnologia”.

Em síntese, a pesquisadora constatou que:

“A renda auferida com a economia de energia alcançada pelas famílias que permaneceram com os coletores solares está demonstrada pelo maior uso de equipamentos eletrodomésticos, pelo maior consumo de água verificado e, conseqüentemente, refletido na melhoria da qualidade de vida, comparativamente aos que não possuem os sistemas termossolares, e que a economia auferida proporcionou redução de despesas significativas, variando entre 56% e 71%, permitindo que a família passe a usufruir de maior consumo de energia, deslocando-a para a premência das suas necessidades, quer seja pelo maior uso de equipamentos eletroeletrônicos ligados ao lazer, para os que facilitem o preparo e cocção dos alimentos ou a manutenção da higiene da moradia e da família. O aumento do consumo de água se dá também em relação às outras atividades que envolvem o uso da água, o que demonstra que a economia de energia elétrica proporcionada, permite que possa haver uma transferência de gastos para outras necessidades do cotidiano familiar, aumentando o conforto e a qualidade de vida da população”.

2.4.4 Projeto UFSC - Celesc (2004)

O projeto UFSC - Celesc (2004), desenvolvido em parceria entre Celesc, UFSC, PMFL e CEF, adotou a tecnologia de aquecedor solar de baixo custo (ASBC), com coletor solar do tipo plano, área de placa de aproximadamente 1,4 m², aletas de cobre, acoplado a reservatório térmico de 100 litros, instalado sobre o telhado. O aquecimento auxiliar da água usada no banho foi proporcionado apenas pelo chuveiro elétrico com potência variável. Os aquecedores solares funcionam em sistema de termossifão e foram instalados em 60 moradias de interesse social no Condomínio Residencial Solar Buona Vita, localizado em Florianópolis, Santa Catarina. (Relatório Final do Projeto de P&D proposto pelo LABSOLAR/NCTS ao P&D da Celesc, ciclo 2000-2001, 2004).

A Tab. 2.3 apresenta as características técnicas do sistema solar compacto de aquecimento de água adotado.

Tabela 2.3 - Características técnicas do sistema solar térmico (Fonte: Traduzido de Abreu et. al., 2004)

Coletor solar	
Área de cobertura	1,36 m ²
Área de absorção	1,32 m ²
Envidraçamento	Tampa única de vidro
Placa	Cobre
Revestimento absorvente	Pintura preta orgânica solúvel em água com absorvância igual a 0,95
Tubulações	Cobre
Espessura da isolamento	50 mm de lã de vidro e densidade de 20 kg/m ³
Fabricante	Solares LTDA, Brazil
Reservatório térmico	
Volume	100 L
Espessura da isolamento	50 mm de lã de vidro (20 kg/m ³)
Potência do resistor	1,5 kW (desabilitado)
Chuveiro elétrico	
Potência	0 – 6,8 kW
Fabricante	Botega, Brasil
Válvula termostática de mistura	
Faixa de temperatura	30°C - 70°C
Fabricante	OSTACO AG, Suíça
Canalizações	
Material	CPVC
Isolação	10 mm de espuma de polietileno

Visando comparar desempenhos entre as tecnologias utilizadas para o aquecimento da água para o banho, do total de 200 consumidores integrantes do Condomínio Residencial Solar Buona Vita, um grupo de 90 consumidores, selecionados através de um questionário para a identificação dos perfis de consumo de água quente, baseado no modelo proposto por Vine et.al. (1986), foi dividido em dois subgrupos:

Grupo A: constituído por 60 consumidores com sistemas de aquecimento solar instalados, assistidos por chuveiros elétricos com controle de temperatura ($P_{\text{máx}}= 6,8 \text{ kW}$);

Grupo B: constituído por 30 consumidores com suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido por chuveiros elétricos com controle de temperatura ($P_{\text{máx}}= 6,8 \text{ kW}$).

A Fig. 2.21 apresenta o fluxograma com o procedimento de banho sugerido aos 60 consumidores que utilizam a energia solar térmica (assistida por energia elétrica) para aquecer a água.

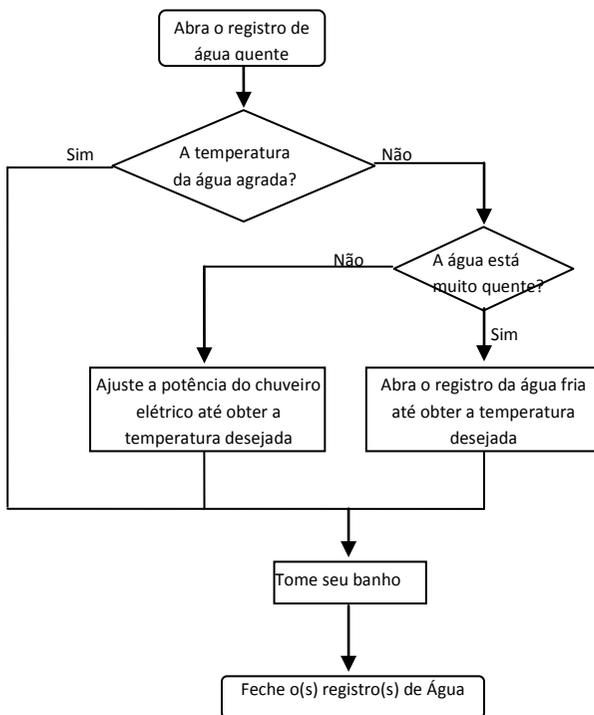


Figura 2.21 - Fluxograma de procedimento de banho
(Fonte: Relatório Final P&D LABSOLAR/NCTS ao P&D da Celesc, 2004)

Com o objetivo de garantir a segurança do usuário (prevenir queimaduras), uma válvula termostática de mistura limita a temperatura máxima de fornecimento de água quente para o chuveiro elétrico.

Todos os chuveiros elétricos utilizados nessa pesquisa são do tipo “potência ajustável”, com ajuste de temperatura por controle de fase (por ângulo de disparo), de mesmo modelo e fabricante, marca Botega, modelo Thermo System, tensão nominal = 220 V e ajuste de potência manual até 6,8 kW.

A medição do consumo de energia elétrica dos chuveiros foi feita por medidores digitais ELO 2113 (ELO Sistemas Eletrônicos S.A, 2002) conectados em série com o chuveiro elétrico. Esses medidores possuem memória de massa, com capacidade de armazenar dados de medição, em intervalos de 5 minutos, por um período de 37 dias consecutivos. O medidor também registra hora e ocorrência de no máximo 20 falhas, no fornecimento de energia elétrica, superiores a 2 segundos. A coleta de dados foi feita mensalmente através de visita ao local (Relatório Final do Projeto de P&D proposto pelo LABSOLAR/NCTS ao P&D da Celesc, ciclo 2000-2001, 2004).

Salazar (2004), Abreu et al. (2004) e Colle et al. (2004) analisaram os impactos proporcionados pelo sistema solar compacto de aquecimento de água proposto, sobre o consumo de energia elétrica, através de metodologias de medição da demanda e energia elétrica consumida pelo grupo dos sistemas de aquecimento solar monitorados.

A Fig. 2.22 apresenta os consumos médios horários de energia elétrica, por grupo classificado pela utilização da energia para fins de aquecimento da água para o banho, no mês de fevereiro de 2004.

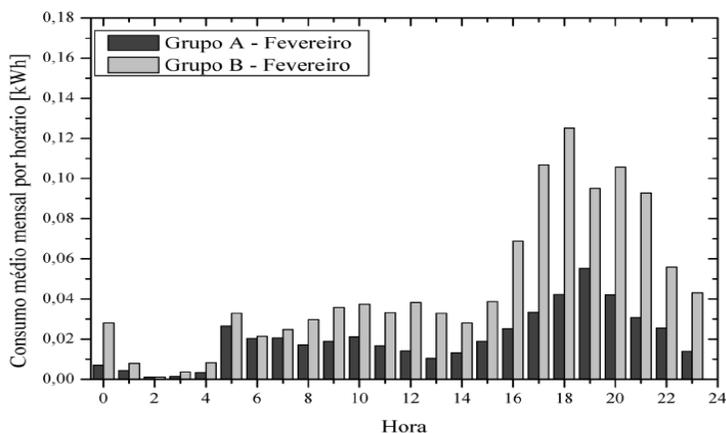


Figura 2.22 - Consumos médios horários de energia elétrica
(Fonte: Salazar, 2004)

Os resultados obtidos mostram que o pré-aquecimento solar da água para o banho proporcionou significativa redução nos consumos médios horários de energia elétrica no horário de ponta, em fevereiro de 2004. Porém, os resultados obtidos contemplam apenas o mês de fevereiro, período de alta incidência de irradiação solar, e, portanto, não leva em consideração a sazonalidade existente no consumo de energia elétrica em outros meses do ano.

Observa-se que o sistema solar de aquecimento não está alcançando sua máxima potencialidade quanto à eficiência energética. Os benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho poderiam ser mais bem aproveitados se o consumidor tivesse adotado o procedimento melhorado de banho, conforme mostra a Fig. 2.23, que prescreve que o chuveiro elétrico esteja desligado (ou com potência reduzida ao mínimo) no início de cada banho.

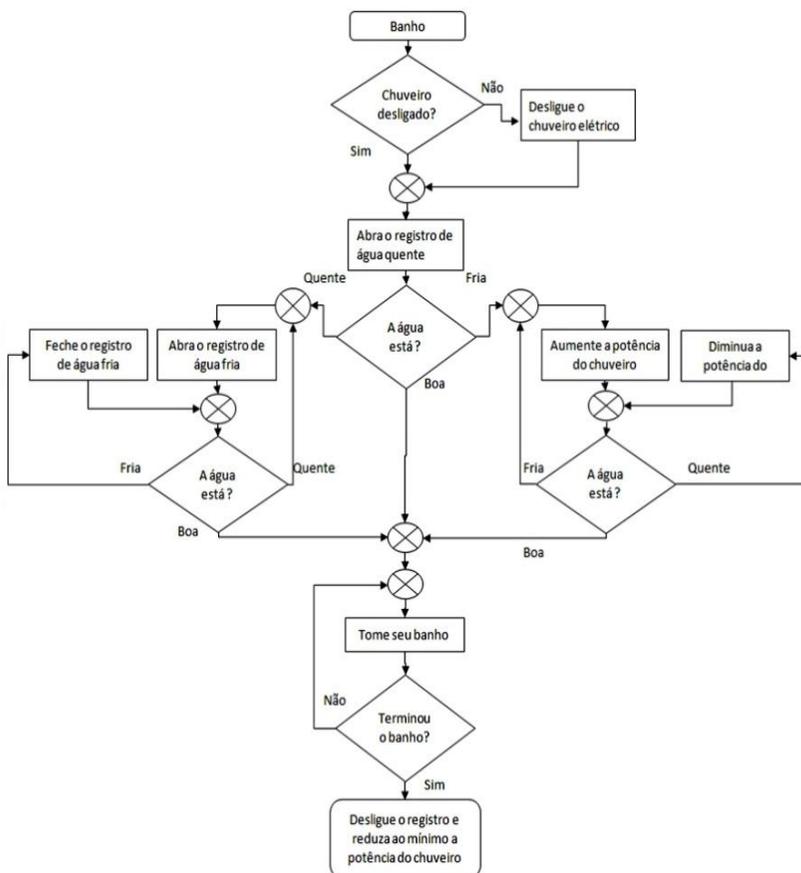


Figura 2.23 - Fluxograma de procedimento melhorado de banho

Posteriormente, Salazar (2004) e Salazar et. al. (2005) complementaram o trabalho desenvolvido por Abreu et. al. (2004) e Colle et. al. (2004), estendendo o período de análise de fevereiro a dezembro de 2004. Nesse estudo, os autores apresentam como principais resultados, a evolução mensal da fração solar, do consumo médio horário de energia elétrica e dos picos mensais de demanda de energia elétrica.

A Tab. 2.4 apresenta a Fração Solar estimada e a média mensal dos totais diários de irradiação global horizontal.

Tabela 2.4 - Fração solar estimada e média mensal dos totais diários de irradiação solar global horizontal. (Fonte: Salazar et. al., 2005)

Mês	f^*	\bar{H} [MJ/m ²]
Fevereiro	0.56	21.52
Março	0.56	17.31
Abril	0.59	13.74
Mai	0.32	9.89
Junho	0.40	10.44
Julho	0.39	8.91
Agosto	0.14	13.33
Setembro	0.38	13.21
Outubro	0.45	17.64
Novembro	0.57	18.21
Dezembro	0.63	20.71
Média anual	0.45	15.33

Os resultados mostram fração solar estimada média de 0,45, para média mensal dos totais diários de irradiação solar global horizontal de 15,33 MJ/m².

A Fig. 2.24 apresenta, para o período analisado (fevereiro a dezembro de 2004) e para ambos os grupos, as médias mensais dos consumos horários de energia elétrica.

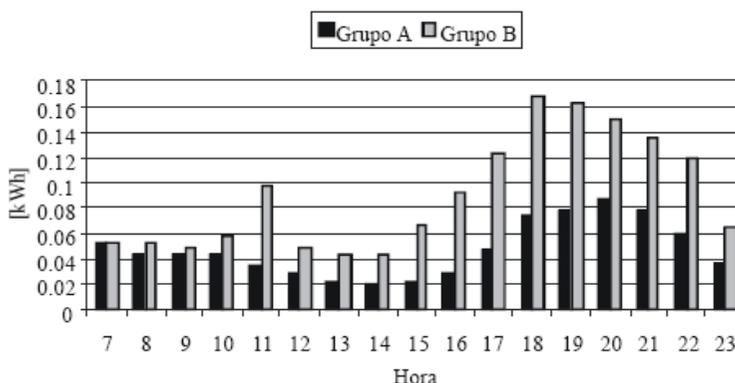


Figura 2.24 - Média mensal do consumo horário de energia elétrica (Fonte: Salazar et. al., 2005)

Os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou redução significativa na

média mensal dos consumos horários de energia elétrica, no período analisado. Os autores estimam que o sistema termossolar de aquecimento da água para o banho proporcionou no horário de pico, em torno das 18 horas, economia média de energia elétrica de 0,044 kWh/chuveiro elétrico.

A Fig. 2.25 apresenta, para ambos os grupos, a evolução mensal dos picos de demanda de energia elétrica dos chuveiros elétricos.

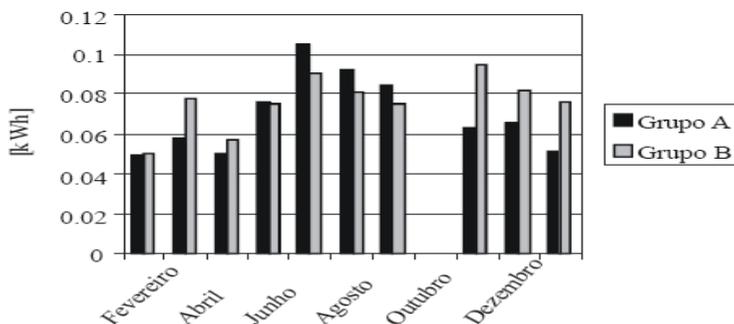


Figura 2.25 - Pico de demanda de energia elétrica dos chuveiros elétricos (Fonte: Salazar et. al., 2005)

Os resultados mostram que apenas durante os meses de verão e de primavera foi observada redução nos picos de demanda de energia elétrica.

Salazar (2004) e Salazar et. al. (2005) buscaram obter indicadores técnicos para avaliar a economia de energia e o potencial de redução do consumo de energia elétrica durante o horário de ponta, para um grupo de consumidores residenciais de baixa renda, na cidade de Florianópolis, Santa Catarina. Os autores levaram em consideração, no período analisado, a sazonalidade do consumo de energia elétrica com o aquecimento da água para o banho, mostraram que o sistema termossolar de aquecimento da água proporciona, no horário de pico (18 horas), uma economia média de energia elétrica de 0,044 kWh/chuveiro e que o pré-aquecimento solar da água para o banho proporcionou redução no pico de demanda apenas nos meses de verão e da primavera.

A redução negativa da demanda no horário de ponta observada nos meses de junho, julho e agosto (Fig. 2.25) deveria ser mais investigada e justificada pelos autores, já que, à primeira vista, pode induzir à conclusão de que a inserção da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho contribui para aumentar investimentos na expansão dos sistemas de

transmissão e de distribuição de energia elétrica, impondo uma enorme restrição à sua utilização na moradia popular.

Adicionalmente, este projeto apresenta como resultado a otimização de parâmetros construtivos do sistema de aquecimento solar de baixo custo, através de uma função objetivo que contempla múltiplos perfis de consumo de água quente, tarifa horo-sazonal e penalidade por excesso de potência instantânea. Este novo produto (ASBC) foi proposto por Colle et. al. (2001), Salazar et. al. (2003), Colle et. al. (2003), Salazar (2004) e Salazar et. al. (2004).

Colle et. al. (2003) propuseram a otimização da espessura do isolamento do reservatório térmico do ASBC. A técnica proposta mostrou que os custos evitados (economias) no ciclo de vida, são sensíveis aos custos do isolamento, quando o pré-aquecimento do tanque de armazenamento se faz necessário.

Salazar et. al. (2003) propuseram a otimização de sete parâmetros do ASBC atendendo restrições de potência e de custo total. Foram otimizados os parâmetros: área da placa coletora, volume do reservatório térmico, temperatura de regulação do termostato, temperatura de projeto da válvula termostática de mistura, ângulo de inclinação da placa coletora, potência instantânea do chuveiro elétrico e potência instantânea do resistor do reservatório térmico. Segundo os pesquisadores, a otimização escolhida foi bem sucedida, mas a falta de informação sobre o consumo de água quente impõe limitações sobre a confiabilidade das previsões.

Além da otimização de parâmetros construtivos do ASBC, o projeto UFSC – Celesc (2004) apresenta como grande diferencial em relação aos anteriormente mencionados, o uso de técnicas de medição para validar os resultados esperados.

CAPÍTULO 3 MÉTODO

3.1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho propõe um método para avaliar os benefícios e o potencial da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na moradia popular, através de técnicas de medição e verificação da demanda e energia elétrica consumida por um grupo de sistemas de aquecimento solar monitorados.

O trabalho foi dividido nas etapas abaixo relacionadas:

- a) Avaliar o potencial da energia solar no local da habitação;
- b) Conhecer as reais necessidades e prioridades envolvidas na agregação da energia solar térmica ao banho;
- c) Avaliar os impactos proporcionados pela energia solar sobre o consumo de energia elétrica;
- d) Inventariar as emissões evitadas de gases de “efeito estufa”, expressas em toneladas de CO₂ equivalentes, proporcionadas pela agregação da energia solar ao banho;
- e) Avaliar os impactos da energia solar sobre a demanda ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água.
- f) Avaliar, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor final, a viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar ao banho.
- g) Avaliar o potencial de inserção da energia solar, na moradia popular, através da criação de um “fundo solar térmico” de investimentos.

Para avaliar os impactos e o potencial de energia solar no local da habitação, o método adotado busca levantar informações solarimétricas sobre a distribuição do recurso solar, ao longo do ano, no local onde a moradia popular está inserida.

Para conhecer as reais necessidades e prioridades envolvidas na agregação da energia solar ao banho, o método adotado busca obter, ao longo do período analisado, indicadores, tais como: duração média do banho, frequência média diária de banhos e duração e frequência média diária de banhos, tanto no horário de ponta como fora deste.

No período analisado, para avaliar os impactos da energia solar sobre o consumo de energia elétrica, para ambos os grupos classificados pela utilização da energia para aquecer a água para o banho, para cada intervalo de 1 hora e por unidade consumidora, o método adotado busca obter a energia elétrica consumida com o banho e a energia economizada devido ao pré-aquecimento solar da água.

As emissões evitadas de gases de “efeito estufa”, expressas em quilogramas de CO₂ equivalentes, são inventariadas através das energias

economizadas, mensalmente, pelo pré-aquecimento solar da água para o banho.

No período analisado, para avaliar os impactos da energia solar sobre a demanda ativa, reativa e aparente, solicitadas à rede elétrica para aquecer a água, são levantadas, em intervalos de 5 minutos, as curvas mensais de demanda ativa, reativa e aparente. Através das curvas mensais de demanda ativa, reativa e aparente são calculadas as reduções de demanda ativa, reativa e aparente, no horário de ponta.

Para avaliar, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor final, a viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar térmica ao banho na moradia popular, o método adotado busca quantificar seu impacto sobre o setor elétrico, através de indicadores técnicos e econômicos, tais como: energia economizada, redução da demanda medida no horário de ponta, custos evitados devido à geração evitada, e custos evitados devido à demanda evitada. Adicionalmente, procura obter indicadores quantitativos referentes às emissões de CO₂ evitadas, visando à obtenção de recursos adicionais para projetos de inserção da energia solar térmica na moradia popular brasileira, oriundos da Redução Anual Certificada de Emissões, via projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL para energias renováveis. Finalmente, propõe-se analisar financeiramente, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor final, o retorno do investimento despendido para inserir o sistema termossolar na moradia popular.

Para avaliar o potencial de inserção da energia solar térmica na habitação popular através de um “fundo solar” de investimento, o método adotado busca descrever a evolução de um “fundo solar térmico” de investimentos, com dotação inicial equivalente a N_i instalações solares, realimentado com o valor da amortização equivalente ao valor anual do custo evitado (pelo setor elétrico), proporcionado pela agregação da energia solar térmica ao banho.

Apesar de o método desenvolvido apresentar caráter geral, este trabalho foca na avaliação da viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na moradia popular, localizada em Florianópolis, cidade inserida na região de menor incidência de irradiação solar do Brasil. O conhecimento adquirido pode proporcionar subsídios à regulamentação mais eficaz quanto à aplicação de recursos e obtenção de resultados em projetos de inserção da energia solar térmica na moradia popular.

A escolha de Florianópolis se justifica pela existência da mais completa estação do país para coleta de dados de irradiação solar e parâmetros meteorológicos relevantes (Estação Baseline Surface Radiation

Network da Organização Mundial de Meteorologia - BSRN/WMO), porque a cidade está localizada numa região de baixa incidência média anual de irradiação solar, correspondendo possivelmente ao caso mais desfavorável no país, e ainda, pelo fato de que na Região Sul do país aproximadamente 99% dos domicílios possui chuveiro elétrico para fins de aquecimento de água para o banho.

A escolha do Edifício Residencial Solar Buona Vita, localizado no bairro de Canasvieiras, Florianópolis, Santa Catarina (Abreu et al., 2004), justifica-se por ser um conjunto habitacional popular de médio/grande porte, arrendado pela Caixa Econômica Federal do Brasil a famílias classificadas na classe social média renda, com renda média familiar de aproximadamente 5 salários mínimos. O conjunto habitacional Solar Buona Vita é constituído por 25 blocos de apartamentos. Cada bloco é composto por 8 apartamentos idênticos, totalizando no conjunto habitacional 200 unidades residenciais. O domicílio integrante da classe amostral selecionada para este estudo é generalizado por um padrão de 3 pessoas (dois adultos e uma criança) por habitação (2 dormitórios, sala, cozinha e banheiro) com área útil de aproximadamente 45 m².

O sistema de aquecimento solar utilizado é o sistema de aquecimento compacto para população de baixa renda com restrições de custo e de demanda máxima proposto por Salazar (2004) e Salazar et al. (2005), típico caso de sistemas de circulação natural. Embora a literatura proponha sistemas solares de baixo custo utilizando tecnologia de polímeros (Tsilingiris, 1999), o sistema de aquecimento solar de baixo custo monitorado utiliza tecnologia de metal. A escolha do sistema de aquecimento solar compacto levou em consideração tecnologia e custo. No período da realização das medições o sistema utilizado, Modelo UC-100, marca Solares Aquecimento Solar, fabricado sob encomenda, resguardando o desenho industrial adotado pelo fabricante nacional, atendia às prescrições das Normas Técnicas ABNT 10184/88, ABNT 10185/88 e INMETRO/SOLAR-006/97. O coletor solar foi testado por Salazar (2004) de acordo com padrões europeus de teste (Müller-Steinhagen, 2002) para coletores solares planos.

As Fig. 3.1 e 3.2 mostram, respectivamente, uma vista parcial do conjunto residencial com os aquecedores solares compactos instalados e a planta baixa do apartamento tipo.



Figura 3.1 - Vista parcial dos aquecedores solares do Solar Buona Vita
(Fonte: Relatório Final - P&D LABSOLAR/NCTS/Celesc, 2004)

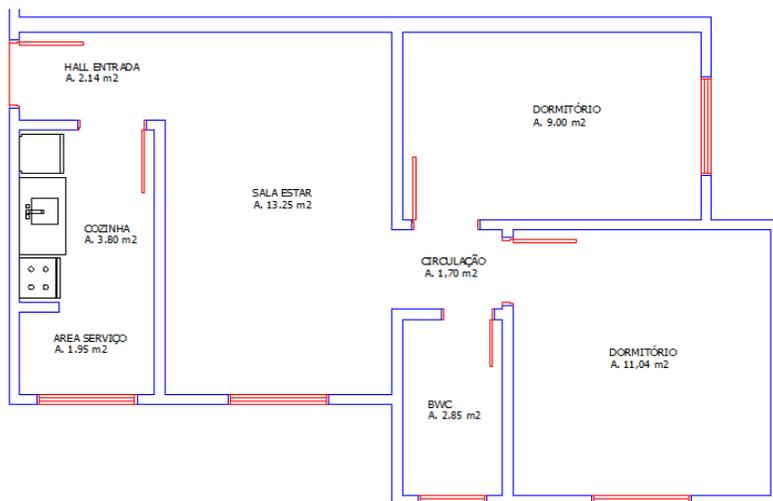


Figura 3.2 - Planta baixa do apartamento tipo do Solar Buona Vita
(Fonte: Relatório Final - P&D LABSOLAR/NCTS/Celesc, 2004)

3.2 IRRADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA

O conhecimento da distribuição do recurso solar ao longo do ano, para cada localidade e região, é imprescindível, tanto para o desenvolvimento como para a disseminação da tecnologia solar.

A metodologia adotada para levantar informações solarimétricas sobre a distribuição do recurso solar, ao longo do ano, em Florianópolis, consiste em calcular, para o ano de 2004, a evolução mensal da irradiação solar média diária e da temperatura média diária, através de dados de irradiação solar, expressa em kWh/m² e de temperatura, expressa em °C, registrados, em intervalos de 1 minuto, pela Estação Baseline Surface Radiation Network da Organização Mundial de Meteorologia (BSRN/WMO), integrante do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR).

Os valores de irradiação solar média diária obtidos para Florianópolis, em 2004, foram comparados com valores médios de irradiação solar média diária de Florianópolis, proporcionados pelo projeto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), e os valores de temperatura média diária obtidos para Florianópolis, em 2004, foram comparados com valores médios de temperatura média diária de Florianópolis, obtidos através da Associação Brasileira de Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento/Instituto Brasileiro do Frio (ABRAVA/IBF), junto ao Centro Aero Espacial/Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) para o período de 10 anos, de 1961 a 1970 (Goulart et al., 1998).

3.3 APROPRIAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA MORADIA POPULAR

O consumo de água quente com o banho e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica para aquecer a água para este fim são fortemente dependentes do comportamento do usuário.

A maioria dos dados disponíveis sobre consumo de água quente é oriunda de medições realizadas em países desenvolvidos (Jonson e Holtzberg, 1994; Lowenstein e Hiller, 1996 e 1998; Abrams e Shedd, 1996; Jordan e Vagen, 2000; Knudsen, 2002), com raras exceções (Meyer e Tshimankinda, 1998a e 1998b e Papakostas et al., 1995).

No Brasil, apesar de que informações parciais sobre o uso final da água (Rocha et al., 1998) e da energia elétrica (Prado e Gonsalvez, 1998) possam ser encontradas, a falta de informação sobre o consumo de água quente doméstica é ainda uma dificuldade a ser superada. Não existe um perfil de usuário típico para ser usado como referência. O consumo de água

quente e, conseqüentemente, o consumo de energia com o banho sofre grande influência de características econômicas e socioculturais, o que exige um estudo abrangente para a caracterização do perfil de consumo das várias regiões do país.

Embora o levantamento de informações sobre o consumo de água quente via questionários possa apresentar o inconveniente de a informação coletada ser muitas vezes difícil de ser estimada pelo entrevistado, através de critérios adequados é possível selecionar um grupo com perfil de consumo homogêneo e que também seja adequado às dimensões do sistema de aquecimento solar (Projeto UFSC - Celesc, 2004).

Vine et al. (1987) investigaram o consumo doméstico de água quente em quatro edifícios administrados pela Autoridade de Moradia Pública da Cidade de São Francisco. Seus resultados demonstraram que a informação coletada via questionário pode ser utilizada para estimar o consumo de água quente, sem monitoração detalhada. Esta foi a forma considerada economicamente viável para selecionar as famílias que participaram do projeto UFSC/Celesc (2004), já que dados de perfis de consumo de água quente não estavam disponíveis.

A metodologia utilizada na organização da classe amostral fez uso de questionários aplicados, por meio de entrevista, às 166 famílias residentes no Solar Buona Vita, com o objetivo de levantar dados socioeconômicos (número de membros da família e renda média familiar), possíveis mudanças de cenário durante o período da coleta de dados (aumento/diminuição do número de pessoas, vacância do imóvel), e perfis de consumo de água quente/morna de cada domicílio e de cada morador. Foram entrevistados representantes das 166 famílias, das quais apenas 5 não demonstraram interesse pelo projeto e não quiseram responder aos questionários. Na etapa inicial, foram distribuídos *folders* informativos sobre o projeto, o funcionamento do sistema de aquecimento solar, aspectos legais e entidades envolvidas na pesquisa. Posteriormente, foram aplicados critérios de seleção para obtenção das amostras, resultando num conjunto final de 90 famílias classificadas.

O critério de classificação utilizado, denominado “Desvio de Comportamento Ideal”, conforme mostra a Eq. 1, foi baseado no modelo proposto por Vine et al. (1987).

$$DCI = \sum \frac{|C_i - VR_i| P_i}{VR_i} \quad (1)$$

onde:

- DCI - Desvio do comportamento ideal;
 C_i - Valor do i-ésimo critério de classificação;
 VR_i - Valor de referência do i-ésimo critério de classificação;
 P_i - Peso do i-ésimo critério de classificação.

A Eq. 1 mede a soma ponderada dos desvios de cada critério do seu comportamento ideal e o normaliza em relação a seu valor ideal. Cada parte da equação é multiplicada por um fator de peso relativo.

A Tab. 3.1 resume os critérios de classificação utilizados, seus valores de referência e pesos.

Tabela 3.1 – Critérios de classificação, valores de referência e pesos (Fonte: Relatório Final - P&D LABSOLAR/NCTS/Celesc, 2004)

Critério	Identificação	Valor de Referência	Peso
Número de membros da família	C_1	4	3
Número total anual de minutos de banho quente/morno por família	C_2	10.950	1
Número de banhos diários com água quente/morna por pessoa	C_3	1,6	2

O critério de seleção das famílias levou em consideração o número total de moradores da unidade consumidora, o número de banhos (quente/morno) diários por morador e o número total anual de minutos no banho usando água quente/morna, por unidade consumidora.

Através do critério de seleção apresentado pelas Eq. 1 e Tab. 3.1, foram selecionadas as 90 unidades consumidoras que apresentaram o menor DCI para compor as amostras a serem submetidas à aplicação das técnicas de medição e verificação da demanda de energia elétrica consumida pelo grupo dos sistemas de aquecimento monitorados, instalados nas moradias populares.

A amostra das 90 famílias selecionadas, classificada na classe social: média renda (renda média familiar, em 2004, de aproximadamente 5 salários mínimos), apresenta média de 3 pessoas/família (2 adultos e 1

criança) e desvio padrão 0,9. O domicílio integrante da classe amostral selecionada para este estudo é generalizado por um padrão de 3 pessoas por habitação de 2 quartos, sala, cozinha e banheiro.

Visando comparar desempenhos dos grupos, classificados pela utilização da energia para fins de aquecimento da água para o banho, o grupo total de 90 consumidores foi dividido em dois subgrupos:

Grupo “SE”, composto de 60 consumidores, com suprimento de água quente para o banho fornecido por sistemas híbridos (sistema solar para pré-aquecimento da água e chuveiro elétrico do tipo “potência ajustável”, no ponto de uso);

Grupo “E”, composto de 30 consumidores, com suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido por chuveiros elétricos do tipo “potência ajustável”, no ponto de uso.

O segundo grupo foi utilizado como referência para avaliar o potencial e os benefícios causados pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho.

A Tab. 3.2 apresenta, para o período analisado e por grupo, o tamanho da amostra e o respectivo período de coleta de dados.

Tabela 3.2 - Amostra e período de coleta de dados

Período monitorado	Dias	Unidades monitoradas	
		SE	E
Janeiro	31	57	28
Fevereiro	29	59	28
Março	31	54	23
Abril	30	57	26
Maiο	31	55	24
Junho	30	45	19
Julho	31	55	25
Agosto	31	51	27
Setembro	30	49	24
Outubro	31	49	24
Novembro	30	45	21
Dezembro	31	42	22

Em cada unidade consumidora selecionada foi instalado um medidor de energia elétrica junto ao quadro de distribuição da instalação elétrica, conectado em série com o circuito do chuveiro elétrico. Todos os chuveiros

elétricos utilizados são do tipo “potência ajustável”, de mesmo modelo e fabricante, com ajuste de potência manual até 6,8 kW.

Os valores medidos das variáveis: demanda ativa e reativa, tensão de operação e do fator de potência foram registrados, em intervalos de 5 minutos, por medidores de energia, em 12 meses consecutivos, no período de um ano (2004) e foram coletados durante os 10 primeiros dias de cada mês. A cada 5 minutos, o medidor realiza as medidas de demanda por meio do cálculo da integral das medidas realizadas neste período. Não foi possível coletar a totalidade dos dados medidos, devido ao fato de que os medidores foram localizados no interior dos apartamentos, tornando a presença dos moradores necessária durante a coleta dos dados.

A Fig. 3.3 apresenta o desenho esquemático do sistema de aquecimento solar compacto monitorado. Tais sistemas funcionam em modo termossifão e são constituídos por uma placa coletora de cobre coberta com tinta seletiva e com cobertura simples de vidro, área de aproximadamente 1,4 m², integrada a um reservatório térmico, localizado acima do coletor, com capacidade de 100 litros. O reservatório térmico possui uma proteção de fibra de vidro e é isolado termicamente com lã de vidro. O aquecedor auxiliar integrante do sistema foi desativado. Neste projeto, o aquecimento auxiliar da água a ser usada no banho foi proporcionado apenas pelo chuveiro elétrico com potência variável.

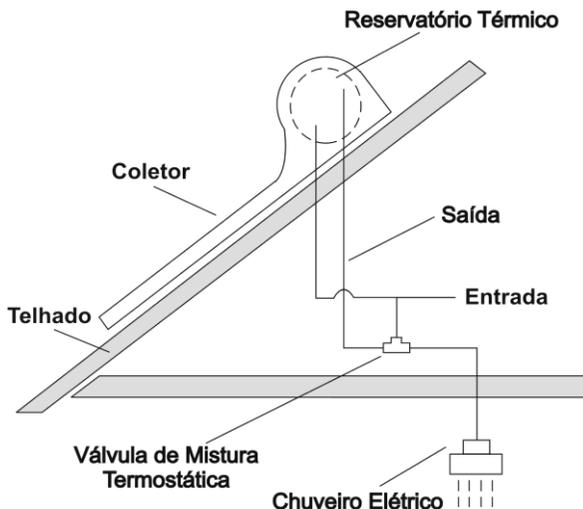


Figura 3.3 - Desenho esquemático do sistema de aquecimento solar
(Fonte: Relatório Final - P&D LABSOLAR/NCTS/Celesc, 2004)

A utilização do sistema híbrido para aquecer a água para o banho (Fig. 3.3) evita o desperdício da água residual que fica nas tubulações uma vez que este sistema aciona a resistência elétrica no momento do início do banho e gradativamente a retira

A Fig. 3.4 apresenta o circuito do chuveiro elétrico com controle eletrônico de temperatura. Neste circuito, a rede elétrica é representada por uma fonte ideal de tensão em corrente alternada, indicada por V_i (220 V, 60 Hz), o chuveiro elétrico com controle eletrônico de temperatura ($P_{max}= 6,8$ kW) é representado por uma resistência R ($7,1 \Omega$) e o controle de fase é efetuado através de um Triac ideal (sem perdas joule), com α variando de 0° a 180° (0 a π radianos).

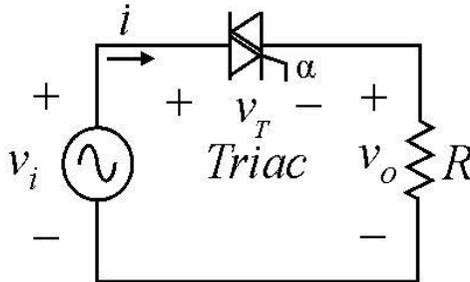


Figura 3.4 - Circuito do chuveiro elétrico com controle de temperatura (Fonte: Oliveira e Kassick, 2008)

As Eq. 2 a 5 descrevem o comportamento das potências ativa, reativa e aparente solicitadas pelo chuveiro à rede elétrica e do fator de potência, em função de α (Oliveira e Kassick, 2008).

$$P(\alpha) = \frac{V_{ef}^2}{R} \cdot \frac{\pi - \alpha + \frac{1}{2} \cdot \text{sen}(2\alpha)}{\pi} \quad (2)$$

$$Q(\alpha) = \frac{V_{ef}^2}{R} \cdot \sqrt{\frac{(2\alpha - \text{sen}(2\alpha))}{\pi} \cdot \frac{2\pi - 2\alpha + \text{sen}(2\alpha)}{4\pi}} \quad (3)$$

$$S(\alpha) = \frac{V_{ef}^2}{R} \cdot \sqrt{\frac{\pi - \alpha + \frac{1}{2} \cdot \text{sen}(2\alpha)}{\pi}} \quad (4)$$

$$FP(\alpha) = \sqrt{\frac{\pi - \alpha + \frac{1}{2} \cdot \text{sen}(2\alpha)}{\pi}} \quad (5)$$

Através das Eq. 2 e 5, obtém-se:

$$P(\alpha) = \frac{V_{ef}^2}{R} \cdot (FP(\alpha))^2 \quad (6)$$

onde:

- $P(\alpha)$ - Potência ativa, expressa em W;
- $Q(\alpha)$ - Potência reativa, expressa em var;
- $S(\alpha)$ - Potência aparente, expressa em VA;
- V_{ef} - Tensão eficaz da rede elétrica, expressa em V;
- α - Ângulo de disparo do Triac, expresso em radianos;
- R - Valor do resistor, expresso em Ω ;
- $FP(\alpha)$ - Fator de potência.

Para levantar hábitos de banho, para ambos os grupos, a metodologia adotada buscou obter, ao longo do período analisado, indicadores, tais como: duração média do banho, frequência média diária de banhos e duração e frequência média diária de banhos tanto no horário de ponta como fora deste.

O horário de ponta adotado neste trabalho coincide com o utilizado pelas Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc), empresa concessionária da distribuição de energia elétrica no Estado de Santa Catarina, para a cidade de Florianópolis e consiste, para todos os dias úteis da semana (segunda a sexta-feira), do período compreendido no intervalo de tempo entre 18h30min e 21h30min (www.celesc.com.br, 2008).

Através dos valores das demandas ativas individuais, registradas, mensalmente, pelos medidores de energia elétrica, em intervalos de 5 minutos, foram identificados os banhos quente/morno de cada família selecionada.

A Eq. (7) apresenta a estimativa da duração do banho, em intervalos de 5 minutos, a partir da energia medida e da potência ativa estimada.

$$t = \frac{E}{P(\alpha)} \quad (7)$$

onde:

t - Duração do banho, em intervalos de 5 minutos, expresso em horas;

E - Energia elétrica consumida pelo chuveiro, em intervalos de 5 minutos, expressa em kWh;

$P(\alpha)$ – Potência solicitada à rede elétrica para aquecer a água para o banho (estimativa), em intervalos de 5 minutos, expressa em kW.

Este trabalho admite que a potência ativa utilizada pelo chuveiro elétrico para aquecer a água para o banho é constante, a cada intervalo de 5 minutos, e pode ser estimada através da Eq. (6).

A duração total de cada banho quente/morno pode ser obtida através da soma das durações do banho, calculadas em cada intervalo de 5 minutos, integrante do intervalo de medição do banho.

Para cada família selecionada, através das demandas ativas individuais registradas mensalmente pelos medidores de energia elétrica, em intervalos de 5 minutos, foi estimado o número total de banhos quente/morno por família (mensal e anual) e o número total de minutos de banho quente/morno por família (mensal e anual).

Finalmente, para os 12 meses do período analisado e para ambos os grupos, foram estimadas a duração média do banho bem como a frequência média diária de banho quente/morno por pessoa.

3.4 *IMPACTOS SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E SOBRE A POTÊNCIA SOLICITADA AO SISTEMA ELÉTRICO PARA AQUECER A ÁGUA*

Para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar ao banho sobre o consumo de energia elétrica, para ambos os grupos, através das demandas ativas individuais registradas (mensalmente) pelos medidores de energia elétrica, foram obtidas as curvas mensais de demanda ativa, em intervalos de 5 minutos.

Tais curvas representam, por grupo, uma unidade consumidora hipotética, cujo significado pode ser interpretado de duas formas:

- a) Refletem a divisão das respectivas curvas de demanda ativa mensal (com o banho) pelo número de unidades consumidoras atendidas;
- b) Refletem os consumos mensais de energia elétrica (com o banho) de tal unidade consumidora, considerando as frações dos equipamentos de aquecimento de água possuídos e expandidos para o universo das unidades consumidoras, bem

como os hábitos de uso distribuídos ao longo dos meses típicos, conforme medições obtidas por amostragem.

A definição de demanda ativa, adotada neste trabalho, consiste na média das potências ativas solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado (5 minutos).

Para os 12 meses do período analisado e para ambos os grupos, através das curvas mensais de demanda ativa, foram obtidas as energias consumidas com o banho, em intervalos de 5 minutos, conforme mostra a Eq. 8.

$$E = D \cdot \frac{5}{60} \quad (8)$$

onde:

E - Energia elétrica consumida pelo chuveiro, em intervalos de 5 minutos, expressa em kWh;

D - Demanda ativa, em intervalos de 5 minutos, expressa em kW.

Para cada grupo, a energia consumida com o banho/unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado, pode ser obtida pela soma das energias consumidas com o banho, a cada intervalo (de 5 minutos) integrante do intervalo de tempo especificado.

A Eq. 9 apresenta a energia economizada por unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado.

$$EE = E_E - E_{S+E} \quad (9)$$

onde:

EE - Energia economizada por unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado, expressa em kWh;

E_E - Energia consumida por unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado, referente ao grupo que teve suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido por energia elétrica, expressa em kWh;

E_{S+E} - Energia consumida por unidade consumidora, no intervalo de tempo especificado, referente ao grupo que teve suprimento de água quente para o banho fornecido por energia solar assistida por energia elétrica, expressa em kWh.

Para os 12 meses do período analisado, para ambos os grupos e por unidade consumidora, foram levantados, em intervalos de 1 hora, os perfis de consumo de energia elétrica com o banho (Eq. 8). Adicionalmente, foram obtidas as energias economizadas (Eq. 9) e as energias economizadas acumuladas proporcionadas pelo pré-aquecimento solar da água para o banho.

Com o objetivo de avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar ao banho sobre o consumo total de energia elétrica da unidade consumidora, para os 12 meses do período analisado, foram obtidos junto à concessionária local (Celesc), os consumos mensais de energia elétrica de cada família selecionada.

A potência média mensal utilizada pelo chuveiro elétrico com controle de temperatura para aquecer água para o banho pode ser calculada conforme Eq. 10.

$$P = \frac{E_m}{t.f.N.D} \quad (10)$$

onde:

P – Potência média mensal utilizada para aquecer a água para o banho por unidade consumidora, expressa em kW;

E_m – Consumo mensal de energia elétrica com o banho por unidade consumidora, expresso em kWh;

t – Duração média do banho, no mês, expressa em horas;

f – Frequência média diária de banhos por pessoa, no mês;

N – Número médio de pessoas por domicílio, no mês;

D – Número médio de dias de uso do chuveiro, no mês.

A potência média mensal evitada por unidade consumidora, devido ao pré-aquecimento solar da água para o banho, pode ser calculada conforme Eq. 11.

$$P = P_E - P_{S+E} \quad (11)$$

onde:

P - Potência média mensal evitada por unidade consumidora, expressa em kW;

P_E - Potência média mensal por unidade consumidora, solicitada pelo grupo “E” à rede elétrica, para o suprimento de água quente para o banho, expressa em kW;

P_{S+E} - Potência média mensal por unidade consumidora, solicitada pelo grupo “SE” à rede elétrica, para o suprimento de água quente para o banho, expressa em kW.

Para os 12 meses do período analisado, para ambos os grupos e por unidade consumidora, foram obtidas, através da Eq. 11, as potências médias mensais evitadas proporcionadas pela agregação da energia solar ao banho.

3.5 INVENTÁRIO DAS EMISSÕES EVITADAS DE CO₂ PROPORCIONADAS PELA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO

As emissões evitadas de gases de “efeito estufa”, expressas em toneladas de CO₂ equivalentes, são os principais indicadores técnicos para avaliar os impactos ambientais proporcionados pela agregação da energia solar ao aquecimento da água para o banho.

As emissões de CO₂ evitadas por unidade consumidora, no período y , podem ser calculadas conforme a Eq. (12).

$$CO_2 = EE_y \cdot F_y \quad (12)$$

onde:

CO_2 - Emissões evitadas de gases de “efeito estufa”, no período y , proporcionadas pelo pré-aquecimento solar da água para o banho, expressas em toneladas de CO₂;

EE_y - Energia economizada, no período y , expressa em MWh;

F_y - Fator de emissão médio, no período y , expresso em toneladas de CO₂/MWh.

A Tab. 3.3 apresenta, para o sistema elétrico brasileiro, no ano de 2008, os fatores médios de emissão de CO₂ equivalente, expressos em toneladas

de CO₂/MWh, calculados e disponibilizados pelo Sistema Interligado Nacional do Brasil.

Tabela 3.3 - Fatores médios de emissão de CO₂ (t CO₂ / MWh) – Ano base 2008 (Fonte: www.mct.gov.br, 2009)

Fator de emissão médio (tCO ₂ /MWh) - mensal											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,058	0,067	0,060	0,045	0,046	0,052	0,044	0,042	0,041	0,044	0,033	0,047

Os fatores de emissão médios de CO₂ equivalente para energia elétrica, apresentados na Tab. 3.3, têm por objetivo, estimar a quantidade de CO₂ associada a determinada geração de energia elétrica. Seu cálculo leva em consideração a participação térmica na produção de eletricidade da matriz energética nacional.

3.6 IMPACTOS SOBRE A DEMANDA ATIVA, REATIVA E APARENTE

Para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar sobre a demanda ativa, reativa e aparente, para os 12 meses do período analisado e para ambos os grupos, foram comparadas as curvas mensais de demanda ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água, em intervalos de 5 minutos.

De maneira similar à definição adotada neste trabalho para a demanda ativa, a demandas reativa e aparente consistem, respectivamente, na média das potências reativa e aparente solicitada ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de 5 minutos.

Através das curvas mensais de demanda ativa, reativa e aparente, em intervalos 5 minutos, foram identificados e comparados mensalmente os respectivos valores máximos, verificados no horário de ponta.

A Eq. 13 apresenta a redução mensal da demanda ativa, no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos.

$$RDP = P_E^{MAX} - P_{S+E}^{MAX} \quad (13)$$

onde:

RDP - Redução mensal da demanda ativa no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, expressa em kW;

P_E^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda ativa no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido por energia elétrica, expressa em kW;

P_{S+E}^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda ativa no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho fornecido por energia solar assistida por energia elétrica, expressa em kW.

Analogamente, a Eq. 14 apresenta a redução mensal da demanda reativa no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos.

$$RQP = Q_E^{MAX} - Q_{S+E}^{MAX} \quad (14)$$

onde:

RQP - Redução mensal da demanda reativa no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, expressa em kvar;

Q_E^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda reativa no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido por energia elétrica, expressa em kvar;

Q_{S+E}^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda reativa no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho fornecido por energia solar assistida por energia elétrica, expressa em kvar.

A Eq. 15 apresenta a redução mensal da demanda aparente no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos.

$$RSP = S_E^{MAX} - S_{S+E}^{MAX} \quad (15)$$

onde:

RSP - Redução mensal da demanda aparente no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, expressa em kVA;

S_E^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda aparente no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido por energia elétrica, expressa em kVA;

S_{S+E}^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda aparente no horário de ponta por unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho fornecido por energia solar assistida por energia elétrica, expressa em kVA.

As reduções anuais das demandas (ativa, reativa e aparente), no horário de ponta, em intervalos de 5 minutos, foram obtidas pelas respectivas diferenças entre as máximas demandas (ativa, reativa e aparente), no horário de ponta, em intervalos de 5 minutos, proporcionadas pela utilização da energia elétrica nos 12 meses do período analisado, e as máximas demandas (ativa, reativa e aparente), em intervalos de 5 minutos, no horário de ponta, proporcionadas pela utilização da energia solar assistida por energia elétrica para o aquecimento de água para o banho, nos 12 meses do período analisado.

3.7 AVALIAÇÃO ECONÔMICA, SOB A ÓTICA DO SETOR ELÉTRICO E DO CONSUMIDOR, DA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO BANHO

Este trabalho tem como um dos objetivos avaliar, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor, a viabilidade econômica da agregação da energia solar térmica ao aquecimento de água para o banho na habitação popular. A metodologia adotada busca quantificar os impactos proporcionados pelo pré-aquecimento solar da água para o banho sobre o setor elétrico, através de indicadores técnicos e econômicos, tais como, energia anual economizada, redução anual da demanda medida no horário de ponta, custos anuais evitados devido à geração evitada e custos anuais evitados devido à demanda evitada. Adicionalmente, procura obter indicadores quantitativos referentes às emissões anuais evitadas de gases de “efeito estufa”, expressas em toneladas de CO₂ equivalentes, visando à obtenção de recursos adicionais oriundos da Redução anual Certificada de Emissões, via projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), para projetos de inserção da energia solar térmica ao banho na habitação popular. Finalmente, propõe-se a analisar financeiramente, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor final, o retorno do investimento despendido para inserir o sistema termossolar na moradia popular, através de diversas simulações de cálculos do tempo de retorno de investimento, do valor presente líquido e da relação de custo-benefício, para distintas taxas de retorno do capital.

À primeira vista pode parecer um grande paradoxo que, sob a ótica do setor elétrico, a inserção de sistemas de aquecimento solar em

substituição aos chuveiros elétricos possa apresentar atratividade financeira, uma vez que seu principal objetivo é produzir e comercializar energia. Entretanto, observando a curva de carga do setor elétrico pode-se constatar que o consumo de energia elétrica está concentrado no horário de ponta e, para atender a demanda nesse horário, o setor elétrico necessita realizar grandes investimentos adicionais na expansão de seu sistema de fornecimento, ficando ocioso nos períodos fora do horário de ponta.

A receita oriunda dos investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para atender a demanda no horário de ponta pode não ser suficiente para remunerar o investimento realizado. Portanto, buscar eficiência energética através da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho pode se constituir numa oportunidade de negócios mais rentável para o setor elétrico do que a realização de investimentos na expansão de seus sistemas de fornecimento de energia elétrica (geração, transmissão e distribuição). Os kW evitados e os kWh não consumidos proporcionados pelo pré-aquecimento solar da água para o banho representam um excedente que pode ser disponibilizado para o consumo. Em outras palavras, os kW evitados e kWh não consumidos, representam um excedente que, para ser obtido via expansão da geração, exigiria custos adicionais para o setor elétrico (geração, transmissão e distribuição) e para a sociedade em geral.

A energia anual economizada proporcionada pelo pré-aquecimento solar da água para o banho pode ser calculada através da Eq. 9.

A Eq. 16 apresenta a redução mensal da demanda medida no horário de ponta por unidade consumidora.

$$RDP = D_E^{MAX} - D_{S+E}^{MAX} \quad (16)$$

onde:

RDP - Redução mensal da demanda medida no horário de ponta por unidade consumidora, expressa em kW;

D_E^{MAX} - Máxima demanda mensal medida no horário de ponta por unidade consumidora, causada pelo suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido pela energia elétrica, expressa em kW;

D_{S+E}^{MAX} - Máxima demanda mensal medida no horário de ponta por unidade consumidora, causada pelo suprimento de água quente para o banho fornecido pela energia solar assistida por energia elétrica, expressa em kW.

Neste trabalho, a definição de demanda medida coincide com a definição de demanda medida adotada pelo sistema elétrico brasileiro,

conforme Resolução 414/2010 da ANEEL e consiste na maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 minutos durante o período de faturamento, expressa em kW.

As curvas mensais de demanda medida foram obtidas pela integralização, a cada três intervalos de 5 minutos, das demandas ativas, em intervalos de 5 minutos.

A redução anual da demanda medida, no horário de ponta, pode ser obtida pela diferença entre a máxima demanda medida, no horário de ponta, proporcionada pela utilização da energia elétrica nos 12 meses do período analisado, e a máxima demanda medida, no horário de ponta, proporcionada pela utilização da energia solar assistida por energia elétrica para o aquecimento de água para o banho nos 12 meses do período analisado.

Para estimar os benefícios devido às emissões evitadas proporcionadas pela agregação da energia solar térmica ao banho, este trabalho considera os sistemas termossolares (ASBC) como “fontes virtuais” (fonte renovável de energia) conectadas à rede elétrica que reduzem o consumo de energia elétrica da rede do sistema interligado e consequentemente, reduzem as emissões de gases de efeito estufa a serem lançados na atmosfera.

Esta pesquisa adota a metodologia intitulada “Metodologia consolidada de linha de base para a geração de eletricidade conectada à rede a partir de fontes renováveis - Metodologia ACM0002”, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto, para calcular a emissões evitadas de gases de efeito estufa proporcionadas pelo pré-aquecimento solar da água para o banho. Esta metodologia é amplamente utilizada para quantificar a contribuição futura de uma usina que vai gerar energia elétrica para a rede em termos de redução de emissões de CO₂, em relação a um cenário de base (a emissão da linha de base visa estimar as emissões que ocorreriam na ausência do projeto). O cálculo das emissões evitadas leva em consideração os fatores de emissão de CO₂ resultantes da geração de energia elétrica verificada no Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil.

A Tab. 3.4 apresenta, para o ano de 2008, os fatores de emissão médios de CO₂ equivalentes, expressos em toneladas de CO₂/MWh (calculados através da ferramenta metodológica intitulada “Tool to calculate the emission factor for an electricity system”, aprovada pelo Conselho Executivo do MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, integrante do Anexo 12 do EB 35 Report), tanto para a margem de construção como para a margem de operação para o SIN do Brasil.

Tabela 3.4 - Fatores médios de emissão de CO₂ (t CO₂ / MWh) – MDL Ano Base 2008 (Fonte: www.mct.gov.br)

Margem de construção											
Fator de emissão médio (t CO ₂ /MWh) – anual											
0,1458											
Margem de operação											
Fator de emissão médio (tCO ₂ /MWh) – mensal											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,57	0,62	0,58	0,45	0,46	0,52	0,44	0,43	0,41	0,44	0,33	0,47

Os fatores de emissão de CO₂ apresentados têm como objetivo estimar a contribuição, em termos de redução de emissões de CO₂, de um projeto de MDL que gere eletricidade para a rede. Resumidamente, o fator de emissão do SIN, para fins de MDL, é uma combinação do fator de emissão da margem de operação, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ da energia despachada na margem (ponta), com o fator de emissão da margem de construção, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ das últimas usinas construídas. Esse fator serve para quantificar a emissão que está sendo deslocada na margem. A sua utilidade está associada a projetos de MDL e se aplica, exclusivamente, para estimar as reduções certificadas de emissões (RCE) dos projetos de MDL (www.mct.gov.br, 2009).

No período y , o fator de emissão associado à margem de operação, calculado pelo SIN do Brasil por análise dos dados do despacho, é definido como a média ponderada dos fatores de emissão das usinas que compõem os 10% superiores da curva de prioridade de despacho e é calculado para cada hora. O fator de emissão de cada usina existente no sistema é calculado anualmente, a partir dos valores de geração e consumo de combustíveis da usina no ano anterior (www.mct.gov.br, 2009). Para cada nova usina que entra em operação a cada ano, o SIN do Brasil adota como seu fator de emissão para o correspondente ano, o valor referente ao do ano anterior de uma usina similar.

O SIN calcula para o sistema s , no período y , o fator de emissão da margem de construção. Este fator é calculado como o fator de emissão médio ponderado do conjunto M de usinas mais recentemente construídas. O conjunto M é constituído pelas usinas mais recentes que compreendam 20% da geração anual do sistema, ou pelas 5 usinas mais recentes, desde que estas sejam responsáveis por mais de 20% da geração do sistema.

Visando estimar as emissões evitadas (que ocorreriam na ausência da agregação da energia solar térmica ao banho), as Eq. 17 e 18 apresentam,

para o período y , o cálculo do fator de emissão da linha de base, expresso em toneladas de CO_2/MWh .

$$E_y = K_i \cdot FO_y + (1 - K_i) \cdot FC_{sy} \quad (17)$$

$$E_y = 0,75 \cdot FO_y + 0,25 \cdot FC_{sy} \quad (18)$$

onde:

F_y - Fator de emissão médio de CO_2 equivalente no período y , expresso em toneladas de CO_2/MWh ;

K_i - Fator de ponderação da margem de operação para um projeto tipo i (0,75 para energia solar e eólica);

FO_y - Fator de emissão associado à margem de operação, no período y , expresso em toneladas de CO_2/MWh ;

FC_{sy} - Fator de emissão da margem de construção, para o sistema s , no período y , expresso em toneladas de CO_2/MWh .

De acordo com a literatura oficialmente adotada (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Tool to calculate the emission factor for an electricity system. Methodological tool. CDM Executive Board, Anexo 12 do EB 35 Report) o fator de emissão da linha de base é calculado como a média ponderada do fator de emissão da margem de operação e do fator de emissão da margem de construção. Os pesos, por padrão, são 0,5 para a margem de operação e 0,5 para a margem de construção. Para projetos de energia eólica e solar podem ser adotados os pesos 0,75 para a margem de operação e 0,25 para a margem de construção. Pesos diferentes podem ser utilizados em casos especiais com justificativa adequada (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Tool to calculate the emission factor for an electricity system. Methodological tool. CDM Executive Board, Anexo 12 do EB 35 Report).

As emissões evitadas de gases de efeito estufa proporcionadas pelo pré-aquecimento solar da água para o banho, no período y , expressas em toneladas de CO_2 equivalentes, são calculadas multiplicando-se a energia economizada (Eq. 9) proporcionada pelo pré-aquecimento solar da água pelo fator de emissão da linha de base (Eq. 18).

As emissões evitadas de gases de efeito estufa, aliadas ao fato de que, projetos de MDL para energias renováveis possuem adicionalidade *a priori*,

pois estimulam mudanças tecnológicas que contribuem para a redução de emissões para o desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento (Protocolo de Quioto), possibilitam a obtenção de recursos oriundos da Redução anual Certificada de Emissões (RCE), através de projetos de MDL para energias renováveis. Chamado oficialmente de RCE, cada crédito equivale a 1 tonelada de CO₂ equivalente evitada de gases de efeito estufa a serem lançados na atmosfera.

Os custos evitados representam as economias decorrentes do adiamento de investimentos na expansão do sistema elétrico (custo da demanda evitada) e/ou da redução de despesas operacionais (custo da energia economizada). São considerados como custos (de demanda e de energia) para o atendimento de uma unidade consumidora, os incorridos em todo sistema elétrico à montante da unidade consumidora, inclusive aqueles onde a mesma se encontra ligada (ANEEL/MPEE, 2008).

A Eq. 19 apresenta o custo evitado devido à energia economizada.

$$CE = CEE * EE \quad (19)$$

onde:

CE - Custo anual evitado por unidade consumidora devido à energia anual economizada, expresso em R\$;

CEE - Custo unitário evitado devido à energia economizada, expresso em R\$/MWh;

EE - Energia anual economizada por unidade consumidora, expressa em MWh;

A Eq. 20 apresenta o custo evitado devido à demanda evitada.

$$CD = CED * RDP \quad (20)$$

onde:

CD - Custo anual evitado por unidade consumidora, devido à redução anual da demanda medida no horário de ponta, expresso em R\$;

CED - Custo unitário evitado devido à redução da demanda medida no horário de ponta, expresso em R\$/kW.ano;

RDP - Redução anual da demanda medida no horário de ponta por unidade consumidora, expressa em kW.

A determinação dos custos unitários evitados baseia-se na estrutura de valores da tarifa horo-sazonal azul, homologada pela ANEEL para cada subgrupo tarifário e concessionária/permissionária (ANEEL/MPEE, 2008). Os custos unitários evitados, adotados neste trabalho, coincidem com os valores utilizados pela Celesc para avaliar Projetos de Eficiência Energética para Sistemas em Média e Alta Tensão e Sistemas de Baixa Tensão Subterrâneos, no ciclo 2007 – 2008. Para o Custo unitário Evitado de Energia (CEE) foi adotado o valor de R\$ 143,80/MWh e para o Custo unitário Evitado da Demanda no horário de Ponta (CED) foi adotado o valor de R\$ 430,51/kW.ano (www.celesc.com.br, 2007).

O benefício anual por unidade consumidora, devido ao pré-aquecimento solar da água para o banho pode ser calculado, através da Eq. 21.

$$B = CE + CD + RCE \quad (21)$$

onde:

B - Benefício anual por unidade consumidora devido ao pré-aquecimento solar da água para o banho, expresso em reais;

CE - Custo anual evitado por unidade consumidora devido à energia economizada, expresso em reais;

CD - Custo anual evitado por unidade consumidora devido à redução da demanda no horário de ponta, expresso em reais.

RCE - Recurso anual por unidade consumidora oriundo da Redução anual Certificada de Emissões, via projetos de MDL para energias renováveis, expresso em reais.

As análises financeiras do retorno do investimento a ser despendido para inserir o sistema termossolar na moradia popular podem ser feitas através de diversas simulações de cálculos do tempo de retorno de investimento, do valor presente líquido (VPL) e da relação de custo-benefício (RCB), para distintas taxas de retorno do capital.

As Eq. 22 e 23 apresentam, respectivamente, o Valor Presente do Capital e o Valor Presente Líquido

$$VP(t) = -I + \sum_{j=1}^t \frac{(R_j - C_j)}{(1+i)^j} \quad (22)$$

$$VPL = VP(n) \quad (23)$$

onde:

$$1 \leq t \leq n$$

$VP(t)$ - Valor presente do capital, expresso em reais;

VPL - Valor presente líquido, expresso em reais;

I - Investimento inicial, expresso em reais;

R_j - Receita proveniente do ano j , expressa em reais;

C_j - Custo proveniente do ano j , expresso em reais;

i - Taxa anual de juros empregada;

j - Índice genérico que representa o período $j = 1$ a t ;

n - Vida útil do equipamento, expressa em anos.

O Valor Presente de um fluxo de caixa (Eq. 22), a uma dada taxa de juros, representa a quantia atual (neste caso, a data atual é tomada como origem e referência para a contagem de tempo) equivalente a um fluxo de custos e benefícios.

Sob a ótica do setor elétrico, a receita anual (Eq. 22) equivale aos benefícios anuais (Eq. 21), proporcionados pelo pré-aquecimento solar da água para o banho e o custo anual (custo anual de manutenção e de operação dos sistemas solares) é nulo.

Sob a ótica do consumidor final, a receita anual equivale à redução anual de despesas de energia elétrica com o banho proporcionadas pelo pré-aquecimento solar da água e o custo anual corresponde ao custo anual de manutenção dos sistemas solares.

Para $VP(t) = 0$, t (considerando valor inteiro) corresponde ao tempo de retorno de investimento. Para $VP(t) < 0$, a interpolação para determinar t fracionário, é executada no intervalo $j - 1$.

O VPL (Eq. 23) representa o valor presente total final do projeto. Se VPL é maior do que zero, o projeto deve ser aprovado, pois o retorno do dinheiro investido no projeto é maior do que o custo do capital.

A Relação Custo-Benefício (RCB) pode ser calculada através da Eq. 24.

$$RCB = \frac{\text{Custos Anualizados}}{\text{Benefícios Anualizados}} \quad (24)$$

onde:

RCB - Relação Custo-Benefício.

O custo anualizado do sistema termossolar pode ser calculado através da Eq. 25.

$$CA_{equip} = CPE_{equip} \times FRC \quad (25)$$

onde:

CA_{equip} - Custo anualizado do equipamento.

CPE_{equip} - Custo do equipamento acrescido da parcela correspondente a outros custos diretos e indiretos.

FRC - Fator de recuperação do capital.

A Eq. 26 apresenta o fator de recuperação de capital.

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (26)$$

onde:

FRC - Fator de recuperação do capital

i - Taxa anual de juros (taxa de desconto) empregada;

n - Vida útil do equipamento, expressa em anos.

3.8 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA MORADIA POPULAR ATRAVÉS DA CRIAÇÃO DE UM “FUNDO SOLAR TÉRMICO” DE INVESTIMENTO

Apesar do uso da energia solar térmica reduzir o custo do banho e investimentos em novas usinas e em ampliações de sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica, além de contribuir para a redução do efeito estufa e com a preservação ambiental, a comodidade no uso da energia elétrica e o elevado investimento inicial da instalação solar (comparado com outras modalidades de aquecimento) são os grandes empecilhos para a generalização do uso da energia solar no aquecimento da água para o banho.

Visando contribuir com a inserção da energia solar térmica na moradia popular, este trabalho se propõe a analisar a evolução de um “fundo solar térmico” de investimentos (FST), com dotação inicial equivalente a N_i instalações solares, realimentado com valor de amortização equivalente aos

benefícios proporcionados, ao setor elétrico, pela agregação da energia solar térmica ao banho, conforme mostram as Eq. (27) e (28).

$$N_j = N_{(j-1)} * \left(1 + \frac{a}{p}\right) \quad (27)$$

$$1 \leq j \leq n$$

$$N_j = N_{(j-1)} * \left(1 + \frac{a}{p}\right) - N_{(j-n)} \quad (28)$$

$$n + 1 \leq j \leq t$$

onde:

N_j - Número de sistemas termossolares, no ano j ;

N_{j-1} - Número de sistemas termossolares, no ano $j - 1$;

a - Amortização (B = benefício anual ao setor elétrico, calculado através da Eq. 21), expressa em R\$/domicílio.ano;

p - Preço do sistema termossolar (equipamento + instalação do equipamento), expresso em R\$/domicílio;

n - Vida útil do sistema termossolar; expresso em anos;

j - Índice genérico que representa o período $j = 1$ a t ;

t - Duração do FST, expressa em anos;

$N_{(j-n)}$ - Termo de baixa progressiva de sistemas termossolares.

Para o FST proposto, este trabalho adota cronograma linear de financiamento, de forma que a amortização correspondente ao acréscimo anual de instalações é reinvestida no ano seguinte.

3.9 CONCLUSÃO

Uma limitação do presente estudo é a falta de informações sobre perfis de consumo de água quente com o banho, em termos de vazão e temperatura da água quente consumida. Entretanto, através do critério de classificação das famílias, baseado no modelo proposto por Vine et al. (1997), pode-se afirmar que os grupos analisados apresentam perfis semelhantes de consumo de água quente.

Neste projeto, o Grupo “SE” utiliza sistemas híbridos para aquecer a água para o banho (sistema solar para pré-aquecimento da água e chuveiro elétrico do tipo “potência ajustável”, no ponto de uso), evitando o

desperdício da água residual que fica nas tubulações, uma vez que este sistema aciona a resistência elétrica no momento do início do banho e gradativamente a retira, e o Grupo “E” utiliza apenas chuveiros elétricos do tipo “potência ajustável”, no ponto de uso. É importante ressaltar que, ambos os grupos analisados, utilizam no ponto de consumo de água quente chuveiros elétricos do tipo “potência ajustável” idênticos e que, a princípio, no momento do banho o banhista não teria como identificar se está compondo o Grupo “SE” ou o Grupo “E”.

Apesar da falta de informações sobre os perfis de consumo de água quente com o banho, o método desenvolvido avalia claramente os benefícios e o potencial da agregação da energia solar térmica ao banho na moradia popular, através de técnicas de medição da demanda de energia elétrica consumida por um grupo de sistemas de aquecimento solar monitorados, como uma medida de eficiência energética (conservação da energia e redução da demanda no horário de ponta).

CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta e discute os principais resultados obtidos pela aplicação do método desenvolvido no Condomínio Residencial Solar Buona Vita, localizado no bairro de Canasvieiras, Florianópolis/Santa Catarina.

Neste trabalho, os dados foram explorados e as simulações realizadas através do uso de planilhas do Excel do Pacote Office da Microsoft. O programa desenvolvido consiste de uma pasta de trabalho do Microsoft Office Excel e compõe-se de diversas planilhas. A sequência de entrada de dados e a comunicação entre as planilhas, elaboradas em Visual Basic, é executada através de controles que ativam sub-rotinas (Macros).

Para avaliar o potencial da energia solar no local onde a moradia popular está inserida foram levantadas a evolução mensal da irradiação solar média diária incidente no plano horizontal, expressa em kWh/ m² e a evolução mensal da temperatura média diária, expressa em °C, no ano de 2004.

Para conhecer as reais necessidades e prioridades envolvidas na agregação da energia solar térmica ao banho na moradia popular, no período analisado, foram obtidos indicadores, tais como, duração média do banho, frequência média diária de banhos, duração e frequência médias diárias do banho tanto em horário de ponta como em horário fora da ponta.

Para avaliar os impactos proporcionados pela energia solar sobre o consumo de energia elétrica com o banho, para cada grupo, foram calculados, em intervalos de 1 hora, através das curvas de demanda ativa, os consumos (diário, mensal e anual) de energia elétrica com o banho por unidade consumidora. Adicionalmente, foram calculadas, também em intervalos de 1 hora, a energia (diária, mensal e anual) economizada por unidade consumidora e a energia (diária, mensal e anual) economizada acumulada por unidade consumidora.

As emissões evitadas de gases de efeito estufa, expressas em kg de CO₂ equivalentes, foram inventariadas mensalmente através das energias economizadas mensalmente devido à agregação da energia solar térmica ao banho.

Para avaliar os impactos proporcionados pela energia solar sobre a demanda ativa, reativa e aparente solicitadas do sistema elétrico, para ambos os grupos, através dos valores mensurados das demandas ativa e reativa individuais, registradas em intervalos de 5 minutos, foram obtidas as curvas médias mensais de demanda ativa, reativa e aparente, em intervalos de 5 minutos. Adicionalmente, para ambos os grupos, através das curvas de

demanda ativa, reativa e aparente, foram identificados e comparados seus valores máximos verificados no horário de ponta.

Para avaliar, sob a ótica do setor elétrico, a viabilidade econômica da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na moradia popular, foram obtidos indicadores quantitativos, tais como, energia anual economizada, redução anual da demanda medida no horário de ponta, custos anuais evitados devido à geração evitada e custos anuais evitados devido à demanda medida evitada.

Visando à obtenção de recursos adicionais, para projetos de inserção da energia solar térmica na moradia popular brasileira, oriundos da Redução anual Certificada de Emissões, via projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para energias renováveis, foram obtidos indicadores quantitativos referentes às emissões equivalentes de CO₂ evitadas.

Finalmente, foi feita a análise financeira, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor final, do retorno do investimento despendido para inserir o sistema termossolar na moradia popular e a avaliação do potencial de inserção da energia solar térmica na moradia popular através da criação de um “fundo solar térmico” de investimentos.

4.2 IRRADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA NO LOCAL DE INSERÇÃO DA MORADIA POPULAR

Para cada mês do período analisado (2004), através da metodologia apresentada, foram levantadas, para Florianópolis, as curvas de irradiação solar média diária, expressa em kWh/m² e da temperatura média diária, expressa em °C, conforme mostram as Fig. C1 a C12 do Apêndice C. Para os períodos compreendidos entre os dias 01 a 12 de março, 23 e 24 de junho e 16 a 26 de novembro de 2004, não foram calculadas a irradiação solar média diária e a temperatura média diária, devido ao fato de que dados de irradiação solar e de temperatura não foram registrados, nas referidas datas, pela Estação Baseline Surface Radiation Network da Organização Mundial de Meteorologia - BSRN/WMO do LABSOLAR da UFSC.

Para melhor visualização gráfica, valores de irradiação solar média diária e de temperatura média diária, embora sejam valores discretos, foram representados através de linhas nas Fig. 4.1 a 4.3 e C1 a C12.

A Fig. 4.1 apresenta, para o ano de 2004, a evolução mensal da irradiação solar média diária no plano horizontal e da temperatura média diária em Florianópolis, Santa Catarina. Os cálculos da irradiação solar média diária no plano horizontal e da temperatura média diária basearam-se em dados de irradiação solar média e de temperaturas médias registradas,

para Florianópolis no ano de 2004, em intervalos de 1 minuto, pela Estação BSRN/WMO do Laboratório de Energia Solar da UFSC (LABSOLAR/UFSC).

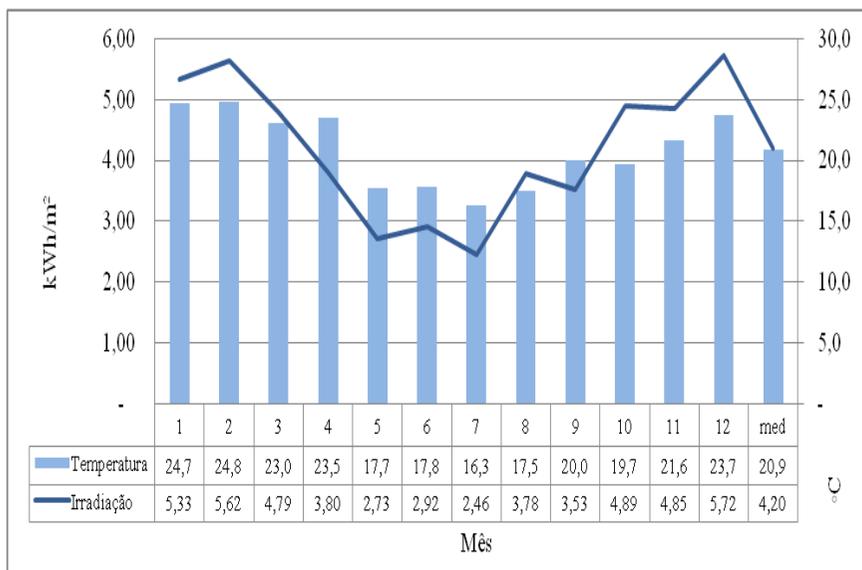


Figura 4.1 - Evolução mensal da irradiação solar média diária e da temperatura média diária em Florianópolis (2004)

Os resultados mostram valor mínimo de irradiação solar média diária de 2,46 kWh/m² em julho (inverno), valor máximo de 5,72 kWh/m² em dezembro (verão), valor médio diário de 4,20 kWh/m² e irradiação solar anual incidente sobre o plano horizontal de 1.536,53 kWh/m². O valor mínimo de temperatura média diária foi de 16,3 °C em julho (inverno), o valor máximo de 24,81 °C em fevereiro (verão) e a temperatura média diária de 20,9 °C.

Os valores mensais de irradiação solar média diária obtidos, para Florianópolis no ano de 2004, foram comparados com valores médios de irradiação solar média diária oriundos do projeto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), para Florianópolis, conforme mostra a Fig. 4.2.

Para todos os meses do ano de 2004, os resultados mostram pequenas diferenças entre a irradiação solar média diária registrada em Florianópolis,

no ano de 2004, e a irradiação solar média diária da cidade de Florianópolis (SWERA).

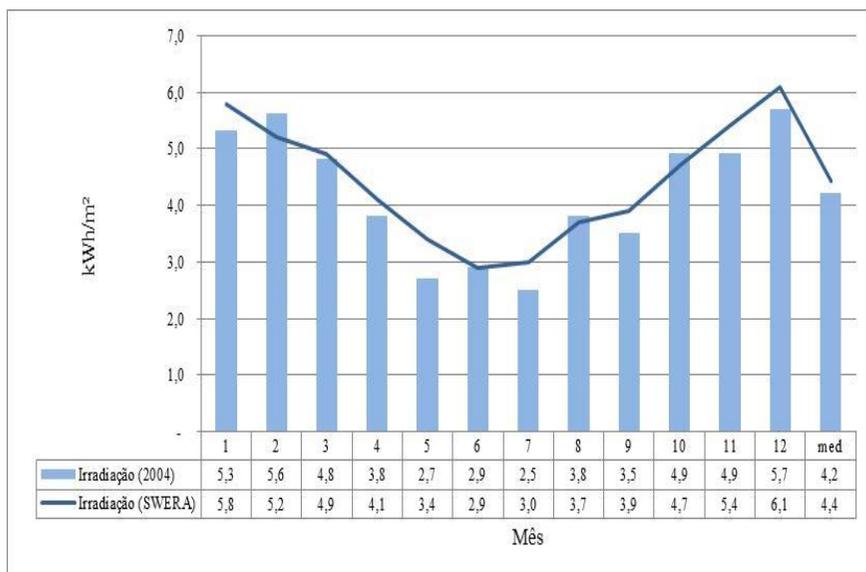


Figura 4.2 - Evolução mensal da irradiação solar média diária em Florianópolis (2004) e da irradiação solar média diária em Florianópolis (SWERA)

Os valores mensais de temperatura médios diários obtidos, para Florianópolis em 2004, foram comparados com valores médios de temperatura média diária da cidade de Florianópolis, obtidos através da ABRAVA/IBF junto à CTA/IAE, para todos os meses do período compreendido entre 1961 e 1970, conforme mostra a Fig. 4.3.

Os resultados mostram pequenas diferenças entre as temperaturas médias diárias registradas em Florianópolis (2004) e as temperaturas médias diárias obtidas pela média das temperaturas médias diárias no período compreendido entre 1961 e 1970, para Florianópolis (CTA/IAE).

A variabilidade intersazonal dos dados, observada tanto na irradiação solar incidente no plano horizontal quanto nas temperaturas médias registradas no período analisado, pode ser justificada por condições de latitude, longitude, proximidade do mar, relevo, vegetação e clima a que a cidade de Florianópolis está submetida.

Os resultados mostram que, o ano de 2004 pode ser considerado um ano típico, e embora Florianópolis esteja localizada na região do país onde são observados os menores valores de irradiação solar global no Brasil, a energia solar se apresenta abundante e bem distribuída, permitindo a agregação da energia solar térmica ao aquecimento de água para o banho em todos os meses do ano.

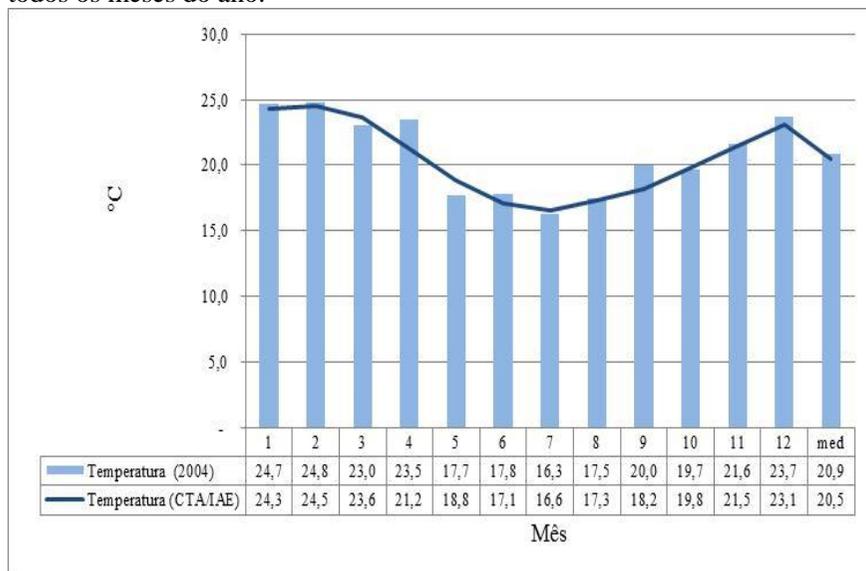


Figura 4.3 - Evolução mensal da temperatura média diária em Florianópolis (2004) e da temperatura média diária em Florianópolis (CTA/IAE (1961-1970))

4.3 APROPRIAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA MORADIA POPULAR

Visando compreender às reais necessidades e prioridades envolvidas na agregação da energia solar térmica ao aquecimento de água para o banho na moradia popular, procurou-se conhecer hábitos de banho.

Inicialmente, procedeu-se à análise exploratória dos dados obtidos através de método de medição e verificação da demanda e energia elétrica consumida pelos grupos de sistemas de aquecimento monitorados. Na análise exploratória da base de dados buscou-se identificar e filtrar possíveis valores decorrentes de ruídos e de registros provenientes de aparelhos defeituosos.

A etapa seguinte à análise exploratória dos dados foi a aplicação da metodologia, para os 12 meses do período analisado e para ambos os grupos, com o objetivo levantar indicadores de hábitos de banho, tais como, duração e frequência de banhos, duração e frequência de banhos tanto no horário de ponta como fora deste. O Apêndice B detalha, para uma unidade consumidora, os cálculos realizados para estimar a duração de um banho quente, fora do horário de ponta.

As Fig. 4.4 e 4.5 apresentam, para o período analisado e por grupo, a evolução mensal da duração média do banho/pessoa e da frequência média diária de banhos/pessoa. Neste trabalho foram registrados e analisados apenas dados referentes aos banhos assistidos por energia elétrica. Portanto, banhos para os quais o aquecimento da água foi feito apenas pela apropriação da energia solar ou banhos utilizando água fria não foram analisados.

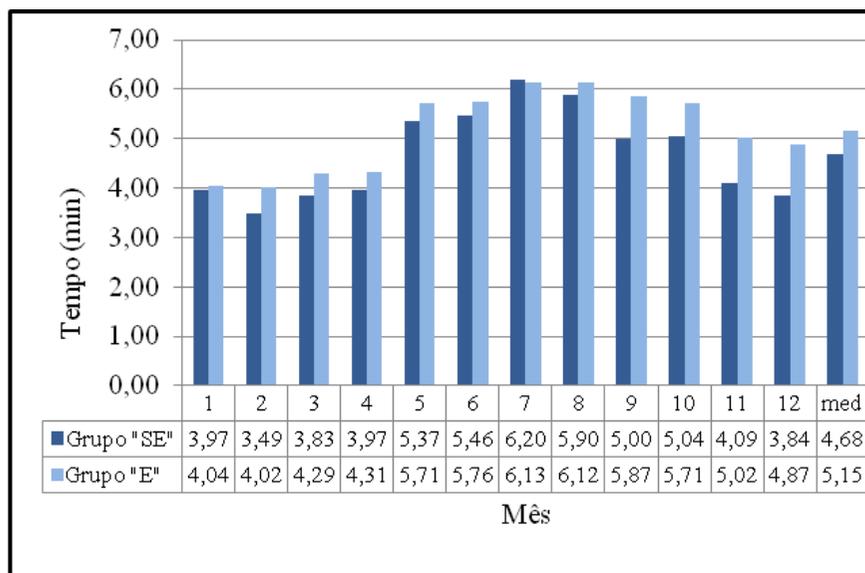


Figura 4.4 - Evolução mensal da duração média do banho do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica ("SE") e do grupo que utiliza energia elétrica ("E") para o banho

Os resultados mostram que, no período analisado, para o grupo que utiliza apenas a energia elétrica para fins de aquecimento da água para o banho, a duração média do banho é de 5,15 minutos/pessoa e sua frequência

média diária é de 0,98 banhos/pessoa. Para o grupo que utiliza a energia solar para o mesmo fim, a duração média do banho é de 4,68 minutos/pessoa e sua frequência média diária é de 0,80 banhos/pessoa.

As diferenças encontradas nos valores calculados para ambos os grupos, tanto na duração média do banho como na frequência média diária do mesmo, podem ser justificadas pela possibilidade de que em dias mais quentes, a energia solar pode ter sido totalmente suficiente para aquecer a água para o banho, dispensando completamente o uso do chuveiro elétrico ou ainda por diferenças (pequenas) de hábitos dos banhistas. Por estas razões, este trabalho considera a duração média do banho assistido por energia elétrica de 5,15 minutos/pessoa e sua frequência média diária de 0,98 banhos/pessoa.

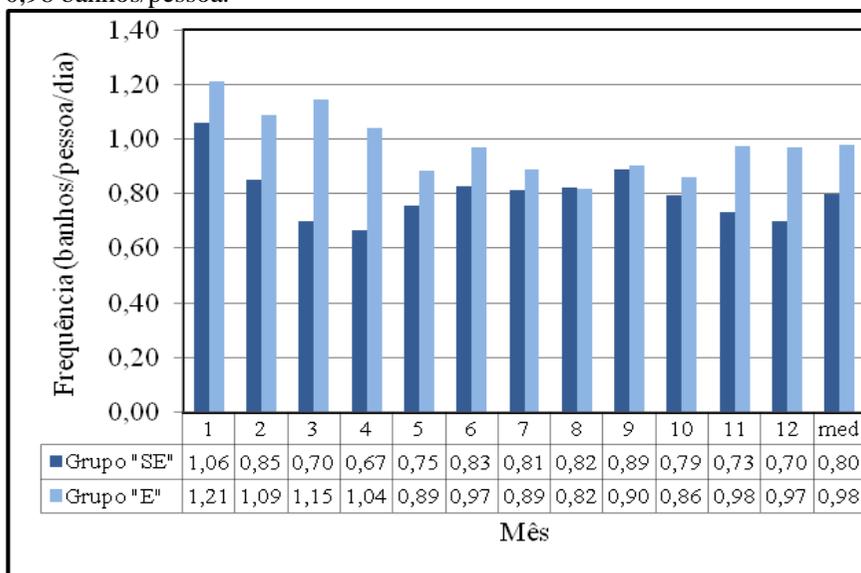


Figura 4.5 - Evolução mensal da frequência média diária de banhos do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica ("SE") e do grupo que utiliza energia elétrica para o banho ("E")

Observou-se ainda, que o tempo médio de duração do banho é maior nos meses mais frios do ano (maio a outubro) e a frequência média diária de banhos é maior nos meses mais quentes do ano (novembro a abril). Nos meses do ano com predominância de maiores temperaturas, os banhos são mais frequentes, porém de menor duração, enquanto nos meses mais frios os banhos são menos frequentes, porém de maior duração. Constatou-se que os

valores obtidos, tanto para duração média do banho quanto para a frequência média diária de banhos, são inferiores aos apresentados por Bermann (2002).

As Fig. 4.6 e 4.7 apresentam, para o período analisado e por grupo, a evolução mensal da duração média do banho/pessoa e da frequência média diária de banhos/pessoa, no horário de ponta (P).

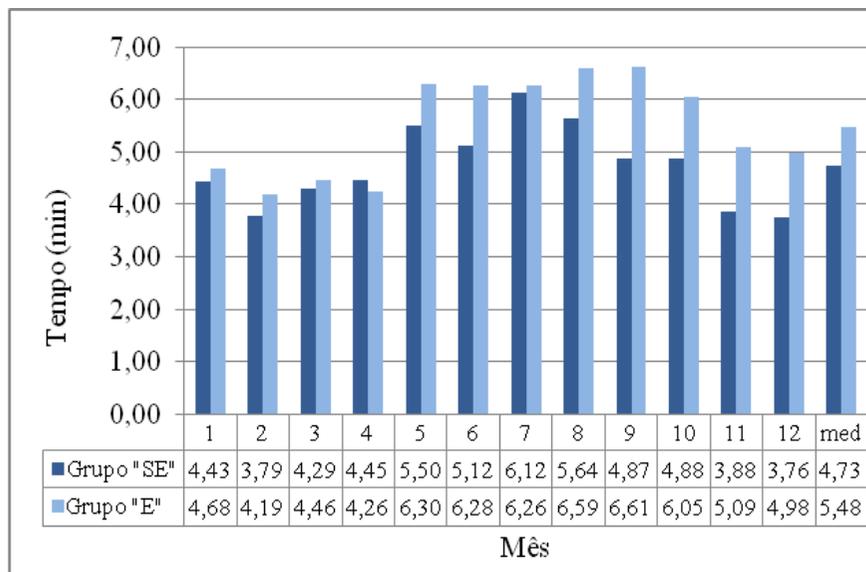


Figura 4.6 - Evolução mensal da duração média do banho do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica ("SE") e do grupo que utiliza energia elétrica ("E") para o banho, no horário de ponta (P)

Os resultados mostram que, no período analisado, para o grupo que utiliza apenas a energia elétrica para aquecer a água para o banho, a duração média do banho, no horário de ponta, é de 5,48 minutos/pessoa e sua frequência média diária, no horário de ponta, é de 0,27 banhos/pessoa. Para o grupo que utiliza a energia solar para o mesmo fim, a duração média do banho, no horário de ponta, é de 4,73 minutos/pessoa e sua frequência média diária, no horário de ponta, é de 0,21 banhos/pessoa.

Pelas mesmas razões apresentadas na análise da duração média do banho e da frequência média diária de banhos, este trabalho considera a duração média do banho assistido por energia elétrica, no horário de ponta,

de 5,48 minutos/pessoa e sua frequência média diária, no horário de ponta, de 0,27 banhos/pessoa.

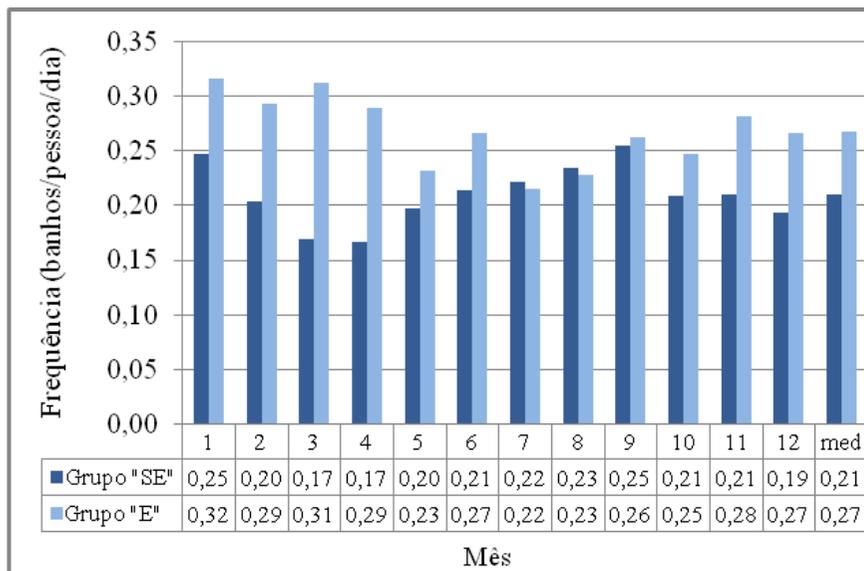


Figura 4.7 - Evolução mensal da frequência média diária de banhos do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica (“E”) para o banho, no horário de ponta (P)

Observou-se ainda que o tempo médio de duração do banho, no horário de ponta, é maior nos meses mais frios do ano (maio a outubro) e a frequência média diária de banhos, no horário de ponta, é maior nos meses mais quentes do ano (novembro a abril). Nos meses do ano com predominância de maiores temperaturas, os banhos no horário de ponta são mais frequentes, porém de menor duração, enquanto nos meses mais frios são menos frequentes, porém de maior duração.

As Fig. 4.8 e 4.9 apresentam, para o período analisado e por grupo, a evolução mensal da duração média do banho/pessoa e da frequência média diária de banhos/pessoa, no horário fora da ponta (FP).

Os resultados mostram que, no período analisado, para o grupo que utiliza apenas a energia elétrica para aquecer a água para o banho, a duração média do banho no horário fora da ponta é de 5,03 minutos/pessoa e sua frequência média diária no horário de ponta é de 0,71 banhos/pessoa. Para o

grupo que utiliza a energia solar para o mesmo fim, a duração média do banho é de 4,67 minutos/pessoa e sua frequência média diária é de 0,59 banhos/pessoa.

Este trabalho considera a duração média do banho assistido por energia elétrica, no horário fora da ponta, de 5,03 minutos/pessoa e sua frequência média diária, no horário fora da ponta, de 0,71 banhos/pessoa.

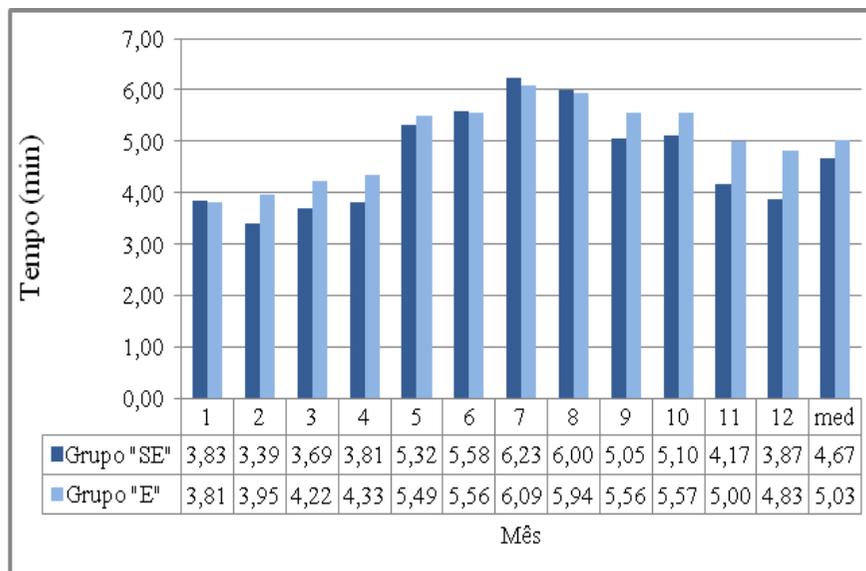


Figura 4.8 - Evolução mensal da duração média do banho do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica (“E”) para o banho, no horário fora da ponta (FP)

O tempo médio de duração do banho no horário fora da ponta é maior nos meses mais frios do ano (maio a outubro) e a frequência média diária de banhos no horário fora da ponta é maior nos meses mais quentes do ano (novembro a abril). Nos meses do ano com predominância de maiores temperaturas, os banhos fora do horário de ponta são mais frequentes, porém de menor duração, enquanto nos meses mais frios são menos frequentes, porém de maior duração. Os resultados mostram ainda, que a duração média do banho no horário de ponta é 8,9% maior do que a duração média do banho fora do horário de ponta.

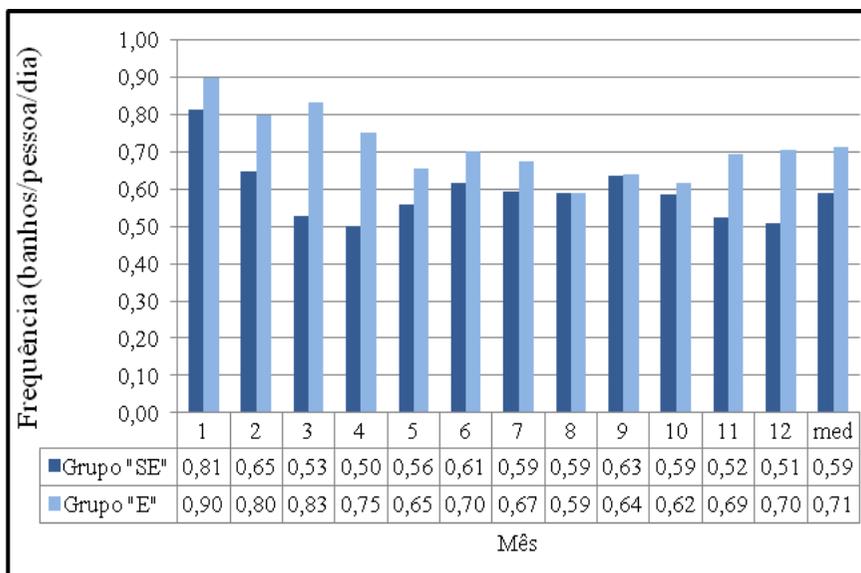


Figura 4.9 - Evolução mensal da frequência média diária de banhos do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica (“E”) para o banho, no horário fora da ponta (FP)

A Fig. 4.10 apresenta, em valores percentuais e por grupo, a evolução mensal da frequência diária de banhos/unidade consumidora, tanto em horário de ponta como em horário fora da ponta.

Para o grupo que utiliza a energia solar térmica para aquecer a água para o banho, em média 26,2% dos banhos ocorre no horário de ponta e para o grupo que utiliza apenas energia elétrica para o mesmo fim, em média 27,3% dos banhos ocorre no horário de ponta. Os resultados mostram ainda, que para o grupo que utiliza a energia solar térmica para aquecer a água para o banho, em média 73,8% dos banhos ocorre no período fora da ponta e para o grupo que utiliza apenas energia elétrica para o mesmo fim, em média 72,7% dos banhos ocorre em horário fora da ponta. Os resultados mostram que, no período analisado, ambos os grupos apresentam, no que diz respeito à duração e frequência diária de banhos, comportamentos similares quanto ao banho, tanto em horário de ponta como fora deste.

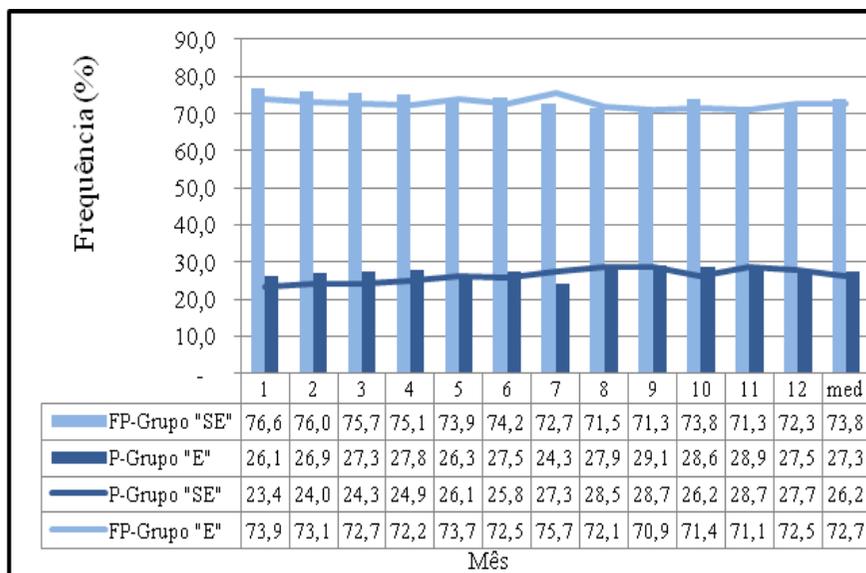


Figura 4.10 - Evolução mensal dos valores percentuais da frequência média diária de banhos do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica ("SE") e do grupo que utiliza energia elétrica ("E") para o banho, no horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP)

4.4 IMPACTOS SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E SOBRE A POTÊNCIA SOLICITADA À CONCESSIONÁRIA PARA AQUECER A ÁGUA PARA O BANHO

Para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar sobre o consumo de energia elétrica com o banho para cada grupo e por unidade consumidora, foram calculados (através das curvas de demandas ativas), em intervalos de 1 hora, os consumos (diário, mensal e anual) de energia elétrica com o banho, as energias (diária, mensal e anual) economizadas e a energia (diária, mensal e anual) economizada acumulada. Adicionalmente, foi avaliado, o impacto proporcionado pelo pré-aquecimento solar da água para o banho sobre o consumo total de energia elétrica das famílias selecionadas.

A Fig. 4.11 apresenta, por grupo, a evolução mensal dos consumos totais de energia elétrica por unidade consumidora.

Para ambos os grupos, os consumos totais de energia elétrica por unidade consumidora foram obtidos a partir dos consumos totais individuais

de energia elétrica dos domicílios, registrados pelos medidores instalados na entrada de energia de cada domicílio.

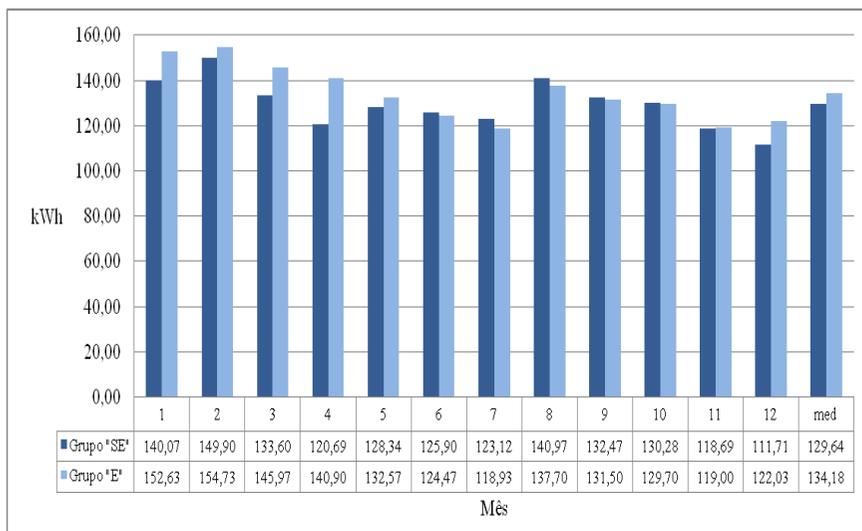


Figura 4.11 - Evolução mensal dos consumos totais de energia elétrica do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e do grupo que utiliza energia elétrica para o banho (“E”)

Para o período analisado, o consumo médio mensal de energia elétrica da unidade consumidora que faz uso apenas da energia elétrica para aquecer a água para o banho foi de 134,18 kWh, enquanto o consumo médio mensal de energia elétrica da unidade consumidora que agrega a energia solar térmica ao banho foi de 129,64 kWh.

Os resultados mostram que o consumo de energia elétrica com o banho é consideravelmente maior nos meses mais frios do ano (maio a outubro) e que no período analisado, o consumo médio mensal de energia elétrica com o banho/unidade consumidora pertencente ao grupo que fez uso apenas da energia elétrica para este fim foi de aproximadamente 43,95 kWh (32,8%), enquanto o consumo médio mensal de energia elétrica com o banho/domicílio do grupo que fez uso da energia solar térmica para a mesma finalidade foi de aproximadamente 27,45 kWh (21,2%). A energia média mensal economizada com o banho devido à agregação da energia solar térmica foi de aproximadamente 16,50 kWh/unidade consumidora e a

economia anual de energia elétrica com o banho foi de 198 kWh/unidade consumidora.

As Fig. 4.12 a 4.15 apresentam, por grupo analisado, a evolução mensal dos consumos de energia elétrica por unidade consumidora, classificados por usos finais.

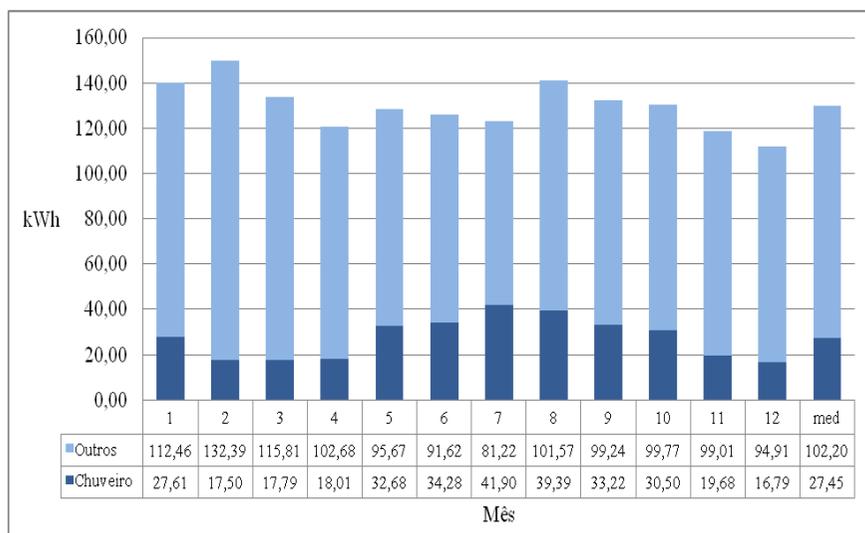


Figura 4.12 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica classificados por usos finais para o grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica para o banho (“SE”)

O consumo total médio mensal de energia elétrica da unidade consumidora que usa apenas energia elétrica para aquecimento de água para o banho foi de 134,18 kWh. Destes 43,95 kWh (32,8%) foram utilizados para garantir o banho quente. Para a unidade consumidora que agrega energia solar assistida por energia elétrica ao aquecimento de água para o banho, o consumo total médio mensal de energia elétrica foi de 129,64 kWh, dos quais 27,45 kWh (21,2%) foram destinados ao aquecimento da água para o banho.

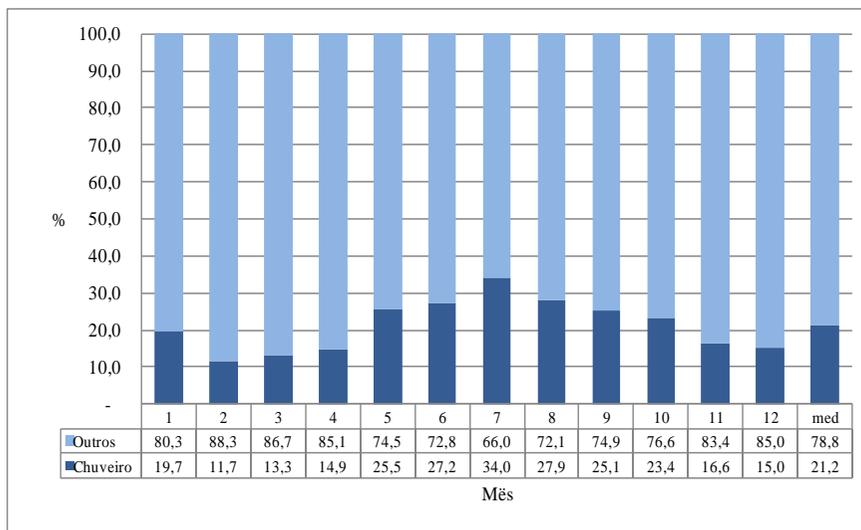


Figura 4.13 - Evolução mensal dos percentuais de consumos de energia elétrica classificados por usos finais para o grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica para o banho (“SE”)

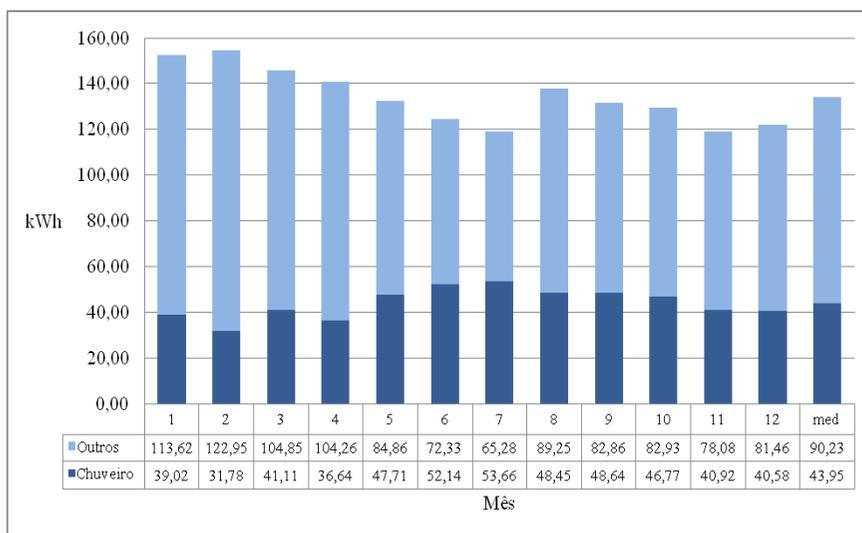


Figura 4.14 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica classificados por usos finais para o grupo que utiliza energia elétrica para o banho (“E”)

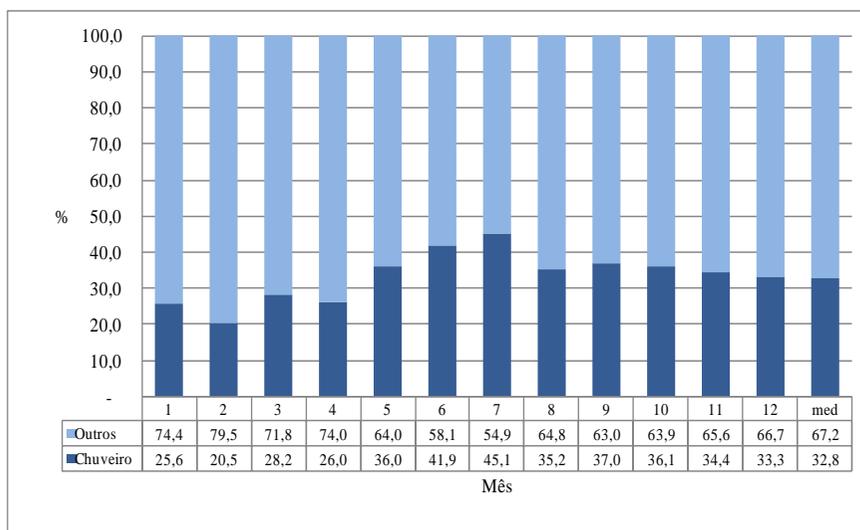


Figura 4.15 - Evolução mensal dos percentuais de consumos de energia elétrica classificados por usos finais para o grupo que utiliza energia elétrica para o banho (“E”)

Considerando que ambos os grupos analisados apresentam comportamentos similares quanto à frequência e duração de banhos, tanto no horário de ponta como em horário fora da ponta, pode-se afirmar que as economias mensais (de energia elétrica) obtidas são oriundas das reduções das potências elétricas utilizadas para aquecer a água para o banho, proporcionadas pela agregação da energia solar térmica. É importante ressaltar ainda, a possibilidade de que em dias mais quentes, a energia solar pode ter sido totalmente suficiente para aquecer a água para o banho, dispensando completamente o aquecimento auxiliar proporcionado pelo uso do chuveiro elétrico.

A Tab. 4.1 apresenta para o período analisado e por grupo, a descrição das variáveis médias de consumo de energia elétrica e renda familiar. A renda média familiar foi obtida a partir de dados socioeconômicos levantados por questionários aplicados, por meio de entrevista, às 166 famílias residentes no Edifício Residencial Solar Buona Vita e não foi levada em consideração no critério de classificação das famílias integrantes das amostras.

Tabela 4.1 - Variáveis médias de consumo de energia elétrica e renda familiar – Ano Base 2004

Consumos médios mensais de energia elétrica e renda familiar		
Classificação	Consumo médio mensal	Renda média familiar
	(kWh)	(salários mínimos)
Grupo “SE”	129,64	5,69
Grupo “E”	134,18	4,93

Os resultados mostram que existe pequena diferença, entre os grupos analisados, nos consumos médios mensais de energia elétrica por unidade consumidora, e que o grupo que utiliza a energia solar térmica para fins de aquecimento da água para o banho possui renda média mensal familiar 15,4 % maior do que o grupo que utiliza apenas a energia elétrica para a mesma finalidade.

No período analisado, embora a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho tenha proporcionado economia média mensal de energia elétrica com o banho de 37,6%, observaram-se apenas pequenas diferenças nos consumos totais médios mensais de energia elétrica por unidade consumidora, entre os grupos pesquisados. As pequenas diferenças observadas podem ser oriundas da possibilidade de posse diferenciada de equipamentos eletrodomésticos diversos (responsáveis pela conversão da energia elétrica em outras formas de energia, tais como: iluminação, refrigeração e força motriz); por possíveis desperdícios de energia elétrica devido à falta de conhecimentos básicos quanto ao uso racional da energia elétrica, ou ainda por ambas as razões anteriormente apresentadas.

Para que a energia economizada devido ao pré-aquecimento solar da água para o banho não seja gasta perdulariamente, torna-se necessário mudar hábitos e atitudes do consumidor final. A inserção da energia solar térmica na habitação popular deve ser acompanhada por ações que visem conscientizar e educar o consumidor final quanto ao uso racional da energia, para que o mesmo evite ações perdulárias ao consumir energia e abandone maus hábitos sobre qualquer desperdício.

As Fig. 4.16 a 4.19 apresentam, por grupo analisado, a evolução mensal do consumo de energia elétrica com o aquecimento da água para o banho por unidade consumidora, em períodos de ponta e fora deste.

Para o grupo que utiliza a energia solar térmica para aquecer a água para o banho, em média 18,4% do consumo de energia elétrica ocorre no período de ponta e para o grupo que utiliza apenas energia elétrica para o

mesmo fim, em média 20,9% do consumo de energia elétrica ocorre no período de ponta. Portanto, ambos os grupos analisados apresentam comportamentos similares quanto ao uso do chuveiro elétrico, tanto em horário de ponta como em horário fora da ponta.

Considerando que o intervalo de tempo definido como horário de ponta corresponde a 756 horas anuais (8,61% do intervalo de tempo total das 8.784 horas anuais disponíveis para o banho, durante o ano de 2004), e ainda que, ambos os grupos apresentam valores similares de consumos de energia elétrica para este fim, tanto no horário de ponta como fora deste, pode-se concluir que ambos os grupos analisados, tem por hábito tomar banho predominantemente no horário de ponta.

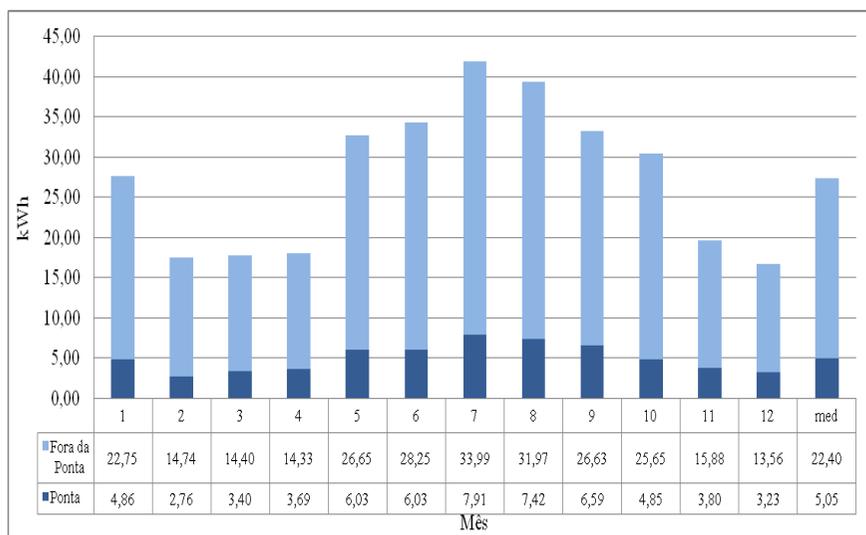


Figura 4.16 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica para aquecer a água para o banho do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”), em horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP)

Sob a ótica do sistema elétrico, o uso do chuveiro elétrico pela população do Edifício Residencial Solar Buona Vita é inadequado, em função de seu horário de uso, já que funciona principalmente no horário de ponta, de sua elevada potência e de seu reduzido período de uso.

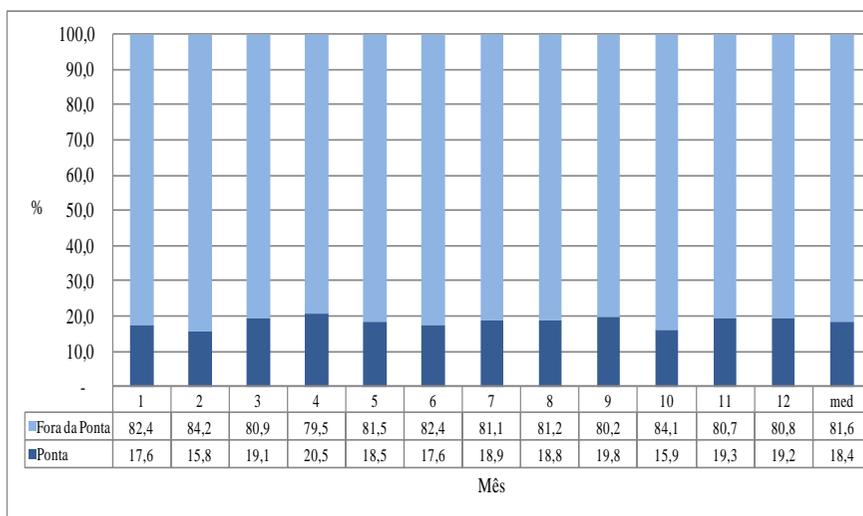


Figura 4.17 - Evolução mensal dos percentuais de consumos de energia elétrica para aquecer a água para o banho do grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”), em horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP)

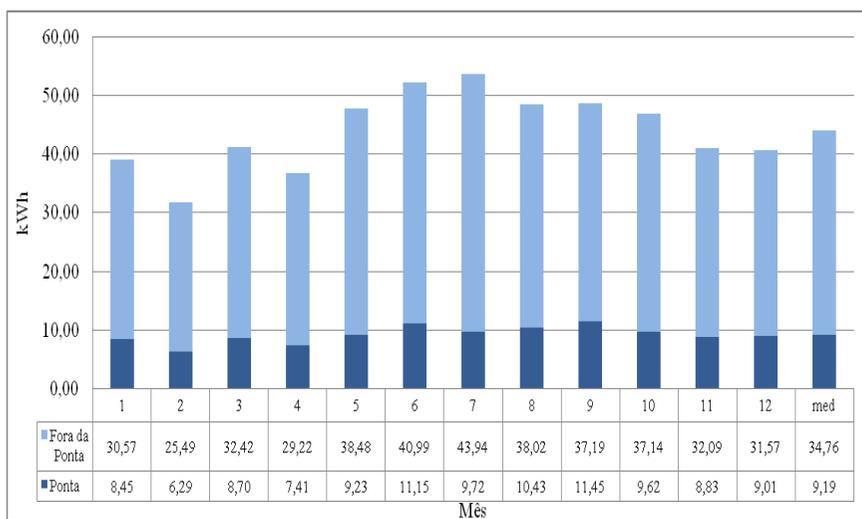


Figura 4.18 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica para aquecer a água para o banho do grupo que utiliza apenas energia elétrica (“E”), em horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP)

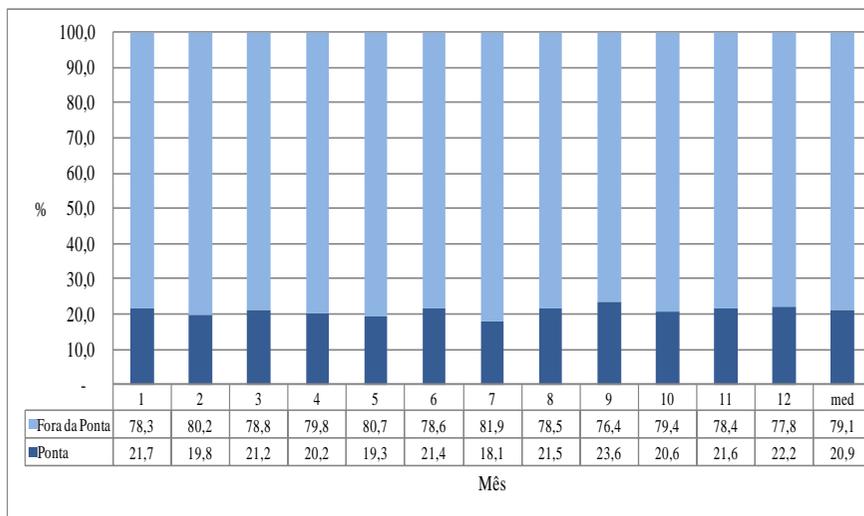


Figura 4.19 - Evolução mensal dos percentuais de consumos de energia elétrica para aquecer a água para o banho do grupo que utiliza energia elétrica (“E”), em horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP)

Para os 12 meses do período analisado, a Fig. 4.20 apresenta, por grupo e por unidade consumidora, a evolução mensal das energias consumidas com o banho, das economias mensais de energia e a economia anual de energia proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho.

A menor economia mensal de energia por unidade consumidora, ou seja, EE = 9,10 kWh (18,7%), foi registrada em agosto (inverno) e a maior economia mensal de energia por unidade consumidora, ou seja, EE = 23,8 kWh (58,6%), foi registrada em dezembro (verão). A economia anual de energia elétrica por unidade consumidora foi de 198 kWh (37,6%).

Este trabalho adota a definição de Fração Solar, como sendo, a razão entre a economia de eletricidade proporcionada pelo pré-aquecimento solar da água para o banho e a energia elétrica total necessária para a mesma finalidade, sem o uso do aquecedor solar.

O sistema termossolar utilizado apresenta fração solar média anual de 0,38. Embora a fração solar média anual do equipamento apresente baixo valor, é compatível com o tamanho dos sistemas de aquecimento solares utilizados e com os perfis de consumo.

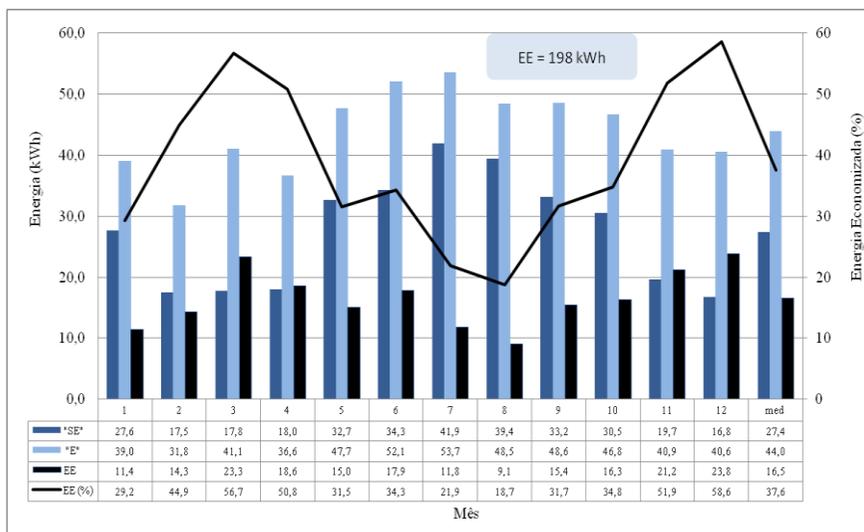


Figura 4.20 - Evolução mensal da energia elétrica consumida com o banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza apenas energia elétrica (“E”), energia economizada (EE) e percentual de energia economizada (EE%)

Salazar (2004) e Salazar et al. (2005) apresentam, para o sistema solar analisado, fração solar média anual de 0,45. A diferença observada entre o valor obtido por Salazar (0,45) e o valor da fração solar obtido neste trabalho (0,38) pode ser oriunda da análise exploratória de dados realizada para garantir a qualidade e representatividade dos dados disponíveis.

A análise exploratória dos dados realizada neste trabalho visou identificar possíveis problemas na aquisição de dados e registros de ruídos não representativos do banho. Foram identificados e eliminados da amostra 3 medidores de energia elétrica defeituosos e registros de ruídos de demanda ativa, não representativos de banhos, totalizando aproximadamente 2,8% da energia total registrada pelos medidores de energia elétrica instalados nas unidades consumidoras selecionadas.

Para os 12 meses do período analisado, foram levantados os perfis de consumo de energia elétrica com o banho (Grupo “E”), as quantidades de energia adicionais que não são supridas pelo sistema de aquecimento solar (Grupo “SE”), e as energias elétricas economizadas devido à agregação da

energia solar térmica ao banho, em intervalos de 1 hora, conforme mostram as Fig. D1 a D24 do Apêndice D.

Os resultados mostram a predominância de um perfil noturno de consumo de energia elétrica com o banho, o que contribui para a atratividade da inserção dos sistemas termossolares para reduzir a demanda no horário de ponta. Os resultados (Fig. D.1 a D.24 e Fig. 4.20) mostram ainda que, embora Florianópolis esteja localizada na região do país onde são observados os menores valores de irradiação global no Brasil, a agregação da energia solar térmica ao banho proporciona economia de energia elétrica em todo o período analisado.

Para o período analisado, as Fig. 4.21 e 4.22 apresentam, por grupo e por unidade consumidora, a evolução horária da energia elétrica anual consumida com o banho, da energia anual economizada e a energia anual economizada acumulada proporcionada pelo pré-aquecimento solar da água para o banho.

Os resultados mostram, para ambos os grupos, baixos consumos anuais de energia elétrica com o banho durante o período compreendido entre 1 e 6 horas, tornando sem sentido, neste período, comparações de consumos entre os dois grupos analisados, uma vez que estes valores percentuais não são estatisticamente significativos, e ganhos anuais em economia de energia elétrica proporcionados pela agregação da energia solar térmica insignificantes no intervalo de tempo compreendido entre 1 e 12:00 horas (meio dia). Os baixos ganhos anuais de energia encontrados neste período podem ser justificados pelo subdimensionamento dos sistemas termossolares de aquecimento utilizados, pelas perdas térmicas que ocorrem durante o período noturno e ainda, devido ao fato de que o ganho solar durante a manhã é pequeno.

Entretanto, a partir do meio dia, podem-se observar ganhos significativos em economia de energia (compatíveis com o tamanho dos sistemas de aquecimento solares utilizados e com os perfis de consumo), proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho, totalizando no ano, economia de energia elétrica por unidade consumidora de 198 kWh (37,6%).

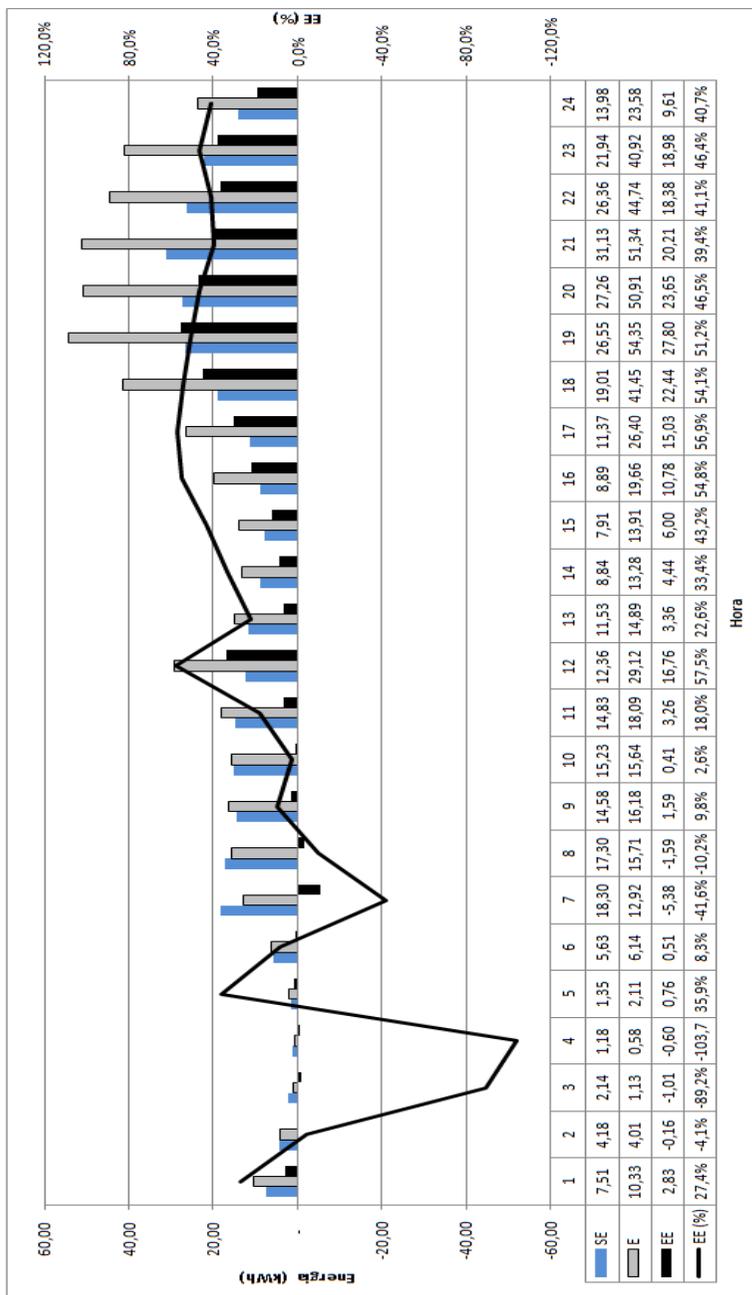


Figura 4.21 – Evolução horária da energia elétrica anual consumida no banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), energia economizada (EE) e percentual de energia economizada (EE%)

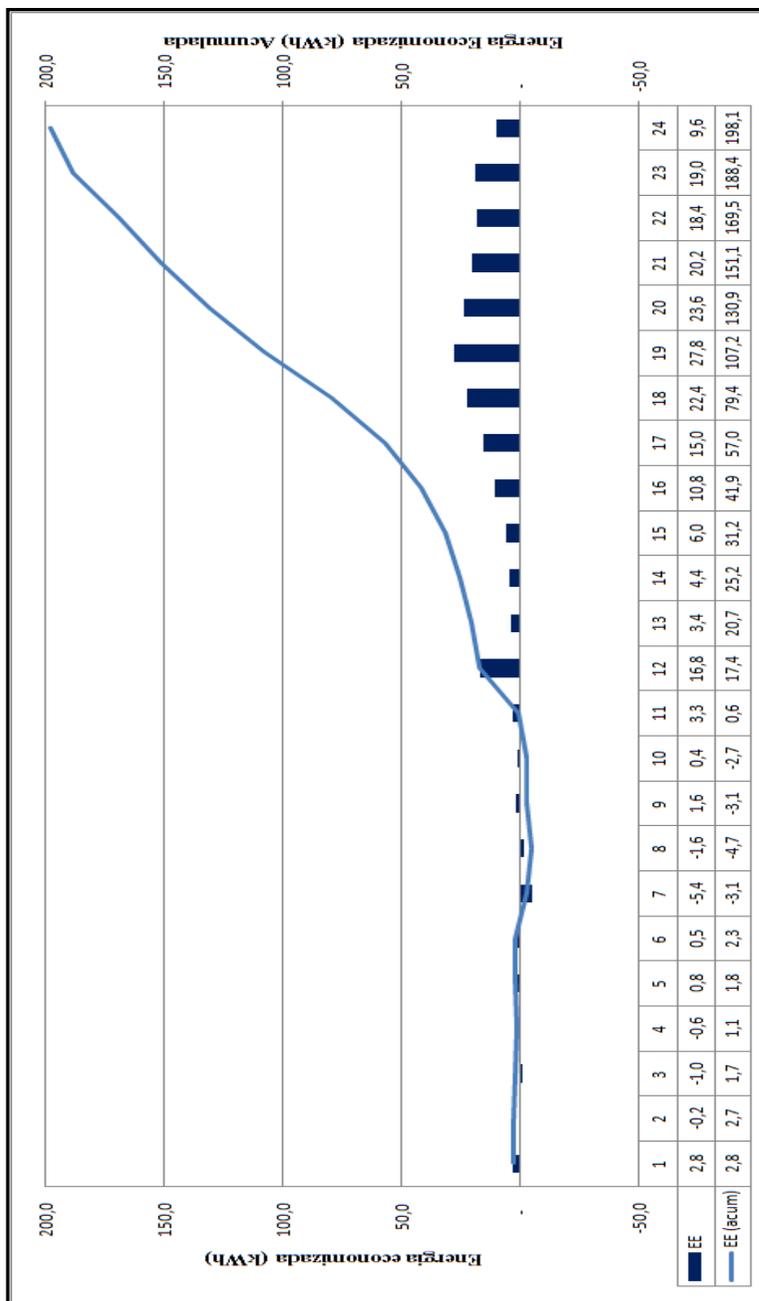


Figura 4.22 – Evolução horária da energia anual economizada (EE) e da energia anual economizada acumulada (EE (acum))

Para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar sobre a potência solicitada à rede elétrica para aquecer a água para o banho, para cada grupo e por unidade consumidora, foram calculadas, mensalmente, potências médias utilizadas para aquecer a água para o banho e as potências médias mensais evitadas.

A Fig. 4.23 apresenta a evolução mensal das potências médias utilizadas para aquecer a água e das potências médias evitadas, no horário de ponta.

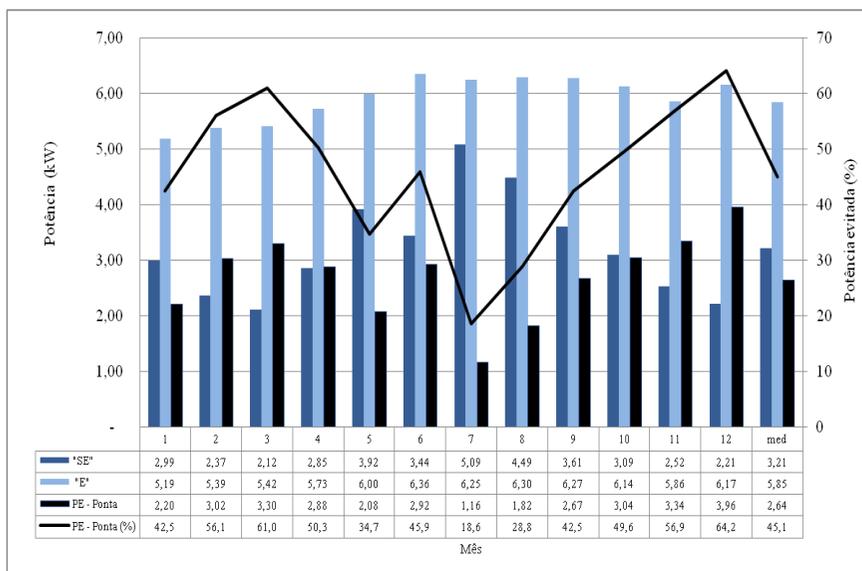


Figura 4.23 - Evolução mensal das potências médias utilizadas para aquecer a água, no horário de ponta, pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), potências médias evitadas no horário de ponta (PE - Ponta) e percentuais de potências médias evitadas no horário de ponta (PE - Ponta (%))

Os resultados mostram que, se o grupo que se apropria do chuveiro eletrônico com controle de temperatura ($P_{\text{máx}} = 6.800\text{W}$) for utilizado como referência para avaliar a potência média evitada, a agregação da energia solar térmica proporciona, no horário de ponta, potência média evitada de 2.638 W/unidade consumidora (45,1%).

Para o período analisado, a Fig. 4.24 apresenta a evolução mensal das potências médias utilizadas para aquecer a água e das potências médias evitadas proporcionadas pela agregação da energia solar térmica.

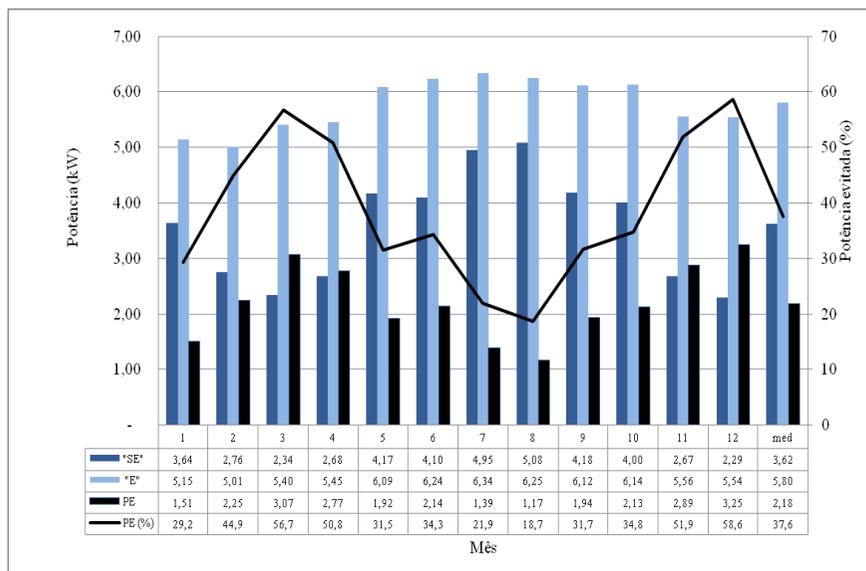


Figura 4.24 - Evolução mensal das potências médias utilizadas para aquecer a água pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), potências médias evitadas (PE) e percentuais de potências médias evitadas (PE(%)).

Os resultados mostram que, se o grupo que se apropria do chuveiro eletrônico com controle de temperatura ($P_{\max} = 6.800\text{W}$) for utilizado como referência para avaliar a redução de potência média utilizada para aquecer a água para o banho, a agregação da energia solar térmica proporcionou potência média evitada de 2.180 W/ unidade consumidora (37,6%).

Os resultados mostram ainda que a agregação da energia solar ao banho proporciona potência média evitada, no horário de ponta, maior do que a potência média evitada no intervalo de tempo total (ponta e fora da ponta). As diferenças observadas podem ser justificadas pelo fato de que o horário mais adequado ao consumo de água quente situa-se no período subsequente ao pôr do sol, já que neste período as perdas de energia para o ambiente são reduzidas, o que torna o uso da energia solar para o

aquecimento da água para o banho uma proposta muito interessante para reduzir tanto a demanda no horário de ponta como para reduzir o consumo total de energia elétrica com o banho.

4.5 INVENTÁRIO DAS EMISSÕES EVITADAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA PROPORCIONADAS PELA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO

Considerando os mesmos hábitos de consumo com o banho observados em 2004, para o ano de 2008, a Fig. 4.25 apresenta a evolução mensal da energia economizada e as emissões médias de CO₂ evitadas proporcionadas pela agregação da energia solar ao banho.

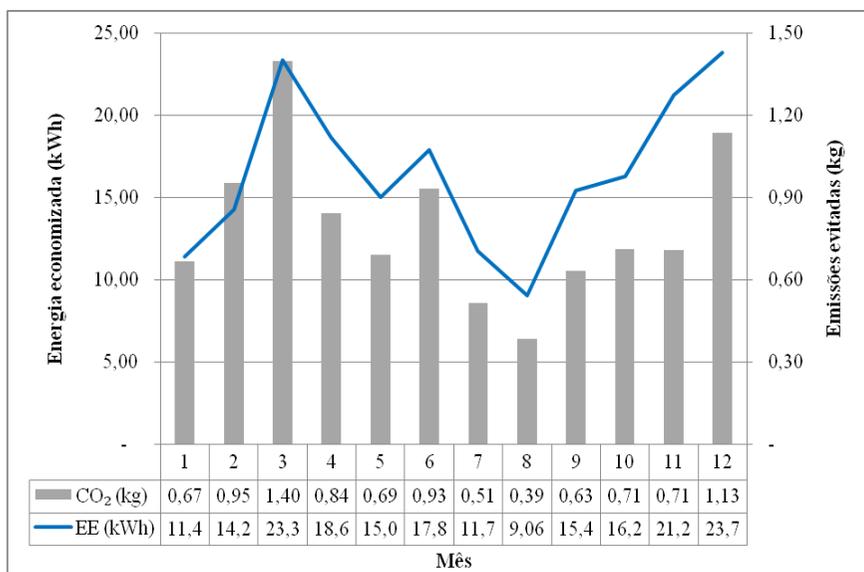


Figura 4.25 - Evolução mensal da energia elétrica economizada (EE) e emissões de CO₂ evitadas

Os resultados mostram que, no ano de 2008, a agregação da energia solar ao banho, proporcionou valores anuais de emissões evitadas de gases de efeito estufa, expressas em kg de CO₂ equivalentes, de aproximadamente 9,57 kg/unidade consumidora.

Os modestos valores encontrados para as emissões evitadas de CO₂ equivalentes, proporcionadas pela agregação da energia solar ao banho,

podem ser explicados pelo fato de que a matriz energética brasileira, ao contrário da maioria dos países, baseia-se, principalmente em fontes renováveis.

Ainda que as emissões evitadas de CO₂ por unidade consumidora apresentem individualmente baixos valores, seu grande potencial de redução se encontra na utilização da tecnologia solar em larga escala, contribuindo, assim, efetivamente, com a redução do efeito estufa e com a preservação ambiental.

Por muitos anos a geração de energia elétrica no Brasil não se preocupou com os impactos ambientais por ela causados. Entretanto, com o surgimento da consciência conservacionista, os impactos ambientais proporcionados pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que hoje se mostram desastrosos para os ecossistemas e para o clima, começam a ser avaliados e mitigados.

4.6 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOBRE A DEMANDA ATIVA, REATIVA E APARENTE SOLICITADAS AO SISTEMA ELÉTRICO PARA AQUECER A ÁGUA

Para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar sobre a demanda ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho, para cada grupo, foram obtidas as curvas mensais de demanda ativa, reativa e aparente, em intervalos de 5 minutos, conforme mostram as Fig. E1 a E36 do Apêndice E. Adicionalmente, foram identificados e comparados seus valores máximos, em todos os meses integrantes do ano de 2004.

Todos os chuveiros elétricos utilizados nesta pesquisa são do tipo “potência ajustável”. O ajuste de temperatura deste equipamento é realizado por gradador com controle de fase (por ângulo de disparo), que alimenta a resistência de aquecimento do chuveiro. Esta técnica de controle de temperatura confere ao chuveiro elétrico, simplicidade e robustez e um grande número de possibilidades de ajuste da potência ativa, permitindo ao banhista um jato de água à vazão e temperatura desejadas (respeitando os limites de potência do aparelho e da instalação hidráulica).

Para o período analisado, a Fig. 4.26 apresenta, por grupo classificado e por unidade consumidora, a evolução mensal dos valores máximos da demanda ativa e a redução da demanda ativa no horário de ponta, em intervalos de 5 minutos.

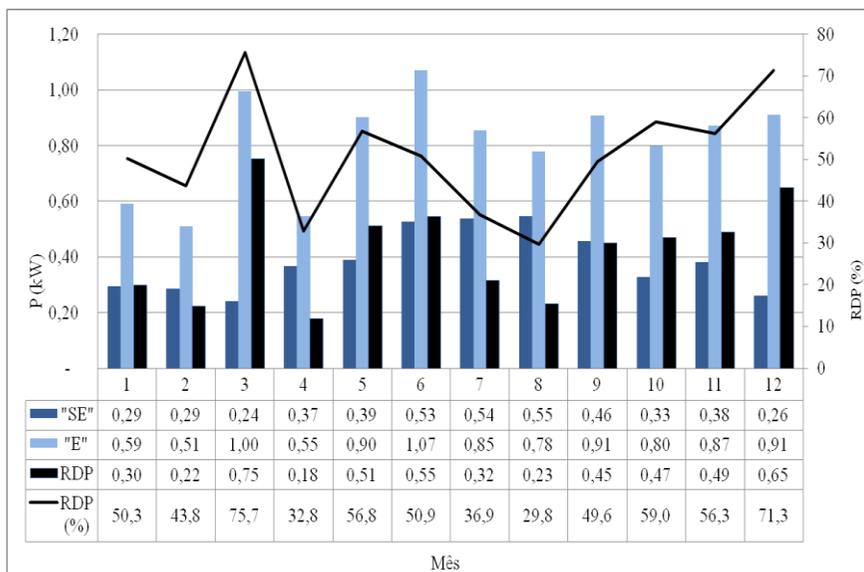


Figura 4.26 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda ativa solicitada ao sistema elétrico para aquecer a água pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica ("SE") e pelo grupo que utiliza energia elétrica ("E"), redução da demanda ativa no horário de ponta (RDP) e redução percentual da demanda ativa no horário de ponta (RDP(%))

Para o período analisado (ano de 2004), os resultados mostram que pré-aquecimento solar da água para o banho proporcionou redução significativa da demanda ativa no horário de ponta, em todos os meses.

Os resultados mostram ainda, que a agregação da energia solar ao banho proporcionou a menor redução percentual da demanda ativa por unidade consumidora, no horário de ponta, no mês de agosto (29,8%), mês de menor incidência de irradiação solar média diária (3,78 kWh/m²) e temperatura média diária de 17,51 °C e a maior redução da demanda ativa por unidade consumidora, no horário de ponta, em dezembro (71,3%), mês de maior irradiação solar média diária (5,72 kWh/m²) e temperatura média diária de 23,69 °C. No ano de 2004, a agregação da energia solar térmica ao banho proporcionou a significativa redução da demanda ativa, em intervalos de 5 minutos, no horário de ponta, de 0,52 kW/unidade consumidora (48,95%).

Para o período analisado, a Fig. 4.27 apresenta, por grupo, a evolução mensal dos valores máximos da demanda reativa e a redução da demanda reativa no horário de ponta, por unidade consumidora.

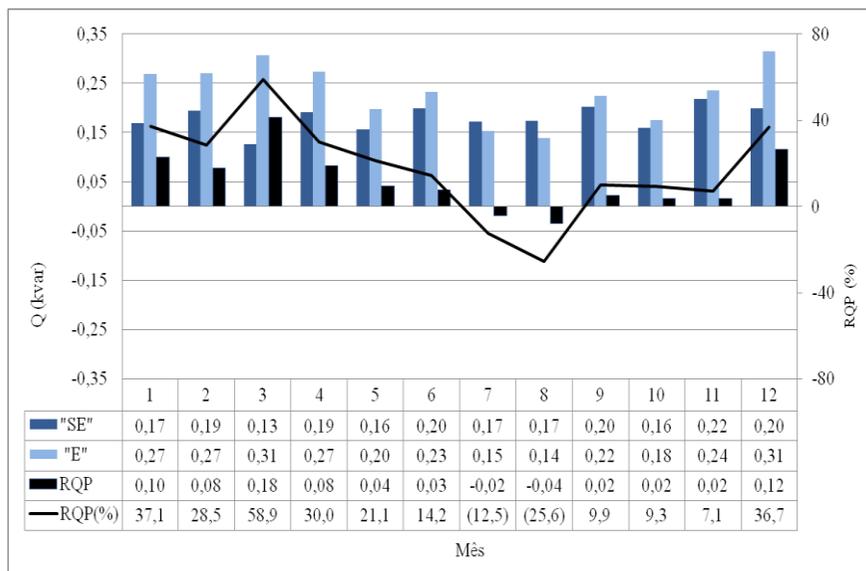


Figura 4.27 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda reativa solicitada ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica (“SE”) e pelo grupo que utiliza energia elétrica (“E”), redução da demanda reativa no horário de ponta (RQP) e redução percentual da demanda reativa no horário de ponta (RQP(%))

Análises do comportamento de chuveiros elétricos com controle eletrônico de temperatura por controle de fase, idênticos aos utilizados nesta pesquisa, realizadas por Moraes & Perin (2000) (Anexo A) e por Oliveira & Kassick (2009), mostram que estes equipamentos apresentam baixo fator de potência e amplo conteúdo harmônico na forma de onda da corrente elétrica, com especial destaque para a terceira harmônica, resultando em elevadas taxas de distorção harmônica da corrente, que se intensificam com o aumento do ângulo de disparo dos triacs.

A terceira harmônica contribui fortemente para aumentar a degradação da qualidade da energia e para aumentar o “carregamento” do sistema elétrico (as componentes da terceira harmônica, ou seja, correntes

de sequência zero, são somadas no neutro, percorrem o sistema a montante da carga, contribuindo desta forma para aumentar a corrente nos cabos e nos transformadores integrantes dos sistemas elétricos).

As características indesejáveis acima relacionadas apresentam-se refletidas nas elevadas demandas de potência reativa solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho por ambos os grupos, conforme mostra a Fig. 4.27. Tais características podem ser minimizadas ou até mesmo eliminadas através de filtros de harmônicas, adequadamente projetados e instalados, ou pelo desenvolvimento de novas topologias de chuveiros elétricos com ajuste de temperatura, que permitam que este equipamento opere com elevado fator de potência (preferencialmente unitário) e baixa distorção harmônica de corrente (preferencialmente nula). Prescrições normativas mais rígidas, a serem adotadas pelo setor elétrico, que limitem tanto o fator de potência quanto o conteúdo harmônico da corrente destes equipamentos, muito contribuiriam para melhorar a qualidade da energia e para impulsionar o desenvolvimento de novas topologias para o ajuste de temperatura do chuveiro elétrico, proporcionando o desenvolvimento de novas tecnologias para estes fins.

Apesar das limitações inerentes à tecnologia do chuveiro elétrico com controle eletrônico de temperatura por controle de fase (por ângulo de disparo) utilizado nesta pesquisa, os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporciona redução dos valores máximos da demanda reativa, no horário de ponta, em todos os meses do ano, exceto nos meses de julho e agosto de 2004. Foram observadas, em julho, reduções negativas de 0,02 kvar (12%) e em agosto, de 0,04 kvar (25%). As reduções negativas de demanda reativa observadas nos meses de julho e agosto (meses em que foram registradas as mais baixas temperaturas) podem ser explicadas pela diminuição da elevada potência ativa de operação do chuveiro eletrônico ($P > 3.500W$) proporcionada pelo pré-aquecimento solar da água para o banho.

Embora tenham sido registradas reduções negativas da demanda reativa em julho e agosto de 2004, no ano de 2004, a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou redução da demanda reativa, em intervalos de 5 minutos, no horário de ponta de 0,09 kvar/unidade consumidora (29,03%).

Para o período analisado, a Fig. 4.28 apresenta, por grupo, a evolução mensal dos valores máximos da demanda aparente e a redução da demanda aparente no horário de ponta.

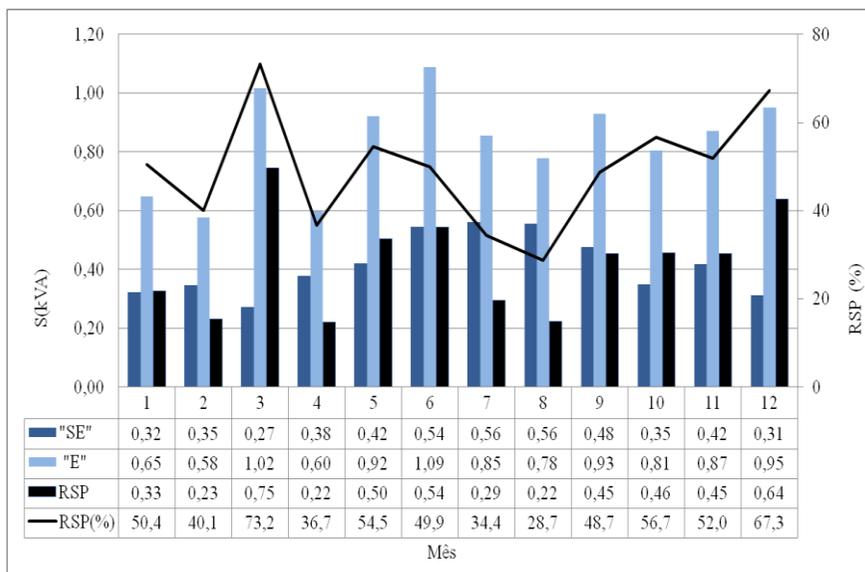


Figura 4.28 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda aparente solicitada ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho pelo grupo que utiliza energia solar assistida por energia elétrica ("SE") e pelo grupo que utiliza energia elétrica ("E"), redução da demanda aparente no horário de ponta (RSP) e redução percentual da demanda aparente no horário de ponta (RSP(%))

Os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou significativa redução da demanda aparente, no horário de ponta, em todos os meses de 2004. No ano de 2004, a redução encontrada da demanda aparente, em intervalos de 5 minutos, foi de 0,53 kVA/unidade consumidora (48,62 %).

O elevado valor percentual da redução da demanda de potência aparente observado mostra que a agregação da energia solar térmica ao banho contribui de forma significativa para reduzir o carregamento e as perdas elétricas nas linhas e nos equipamentos dos sistemas de transmissão/distribuição de energia elétrica, contribuindo assim, para postergar ou evitar elevados investimentos na expansão de tais sistemas.

4.7 AVALIAÇÃO ECONÔMICA, SOB A ÓTICA DO SETOR ELÉTRICO E DO CONSUMIDOR FINAL, DA AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO NA MORADIA POPULAR

Este trabalho se propõe a analisar financeiramente, **sob a ótica do setor elétrico e do consumidor final**, a viabilidade técnica e econômica da inserção da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na moradia popular, assumindo, para o ano de 2008, os mesmos hábitos de banho observados em 2004.

Para avaliar, **sob a ótica do setor elétrico**, a viabilidade econômica da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na moradia popular, o método desenvolvido busca quantificar seus impactos, através de indicadores técnicos e econômicos, tais como: energia anual economizada, redução anual da demanda medida no horário de ponta, custos anuais evitados devido à geração evitada e custos anuais evitados devido à demanda evitada. Adicionalmente, procura obter indicadores quantitativos referentes às emissões de CO₂ evitadas, visando à obtenção de recursos adicionais para projetos de inserção da energia solar térmica na moradia popular brasileira, oriundos da Redução anual Certificada de Emissões, via projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para energias renováveis.

Este trabalho analisa, **sob a ótica do setor elétrico**, o retorno dos investimentos despendidos para inserir o sistema termossolar na moradia popular e, **sob a ótica do consumidor final**, o retorno dos investimentos despendidos para instalar as linhas de água quente e garantir a manutenção do sistema termossolar, através de diversas simulações de cálculos do tempo de retorno de investimento, do valor presente líquido (VPL) e da relação custo-benefício (RCB), para distintas taxas de retorno do capital.

A energia anual economizada (EE), expressa em kWh, e a redução anual da demanda medida no horário de ponta (RDP), expressa em kW, são os principais indicadores técnicos quantitativos para a avaliação econômica da agregação da energia solar térmica ao banho na moradia popular.

Tanto a energia anual economizada como a redução anual da demanda medida no horário de ponta foi calculada, para o ano de 2008, admitindo os mesmos hábitos de banho observados em 2004. A energia anual economizada proporcionada pelo pré-aquecimento solar da água, calculada conforme Eq. (9) foi de 198 kWh (Fig. 4.20 e 4.22).

A Fig. 4.29 apresenta, em valores absolutos e em valores percentuais, por grupo e por unidade consumidora, a evolução mensal das máximas demandas medidas, no horário de ponta, e a redução anual da demanda

medida no horário de ponta (RDP) proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho.

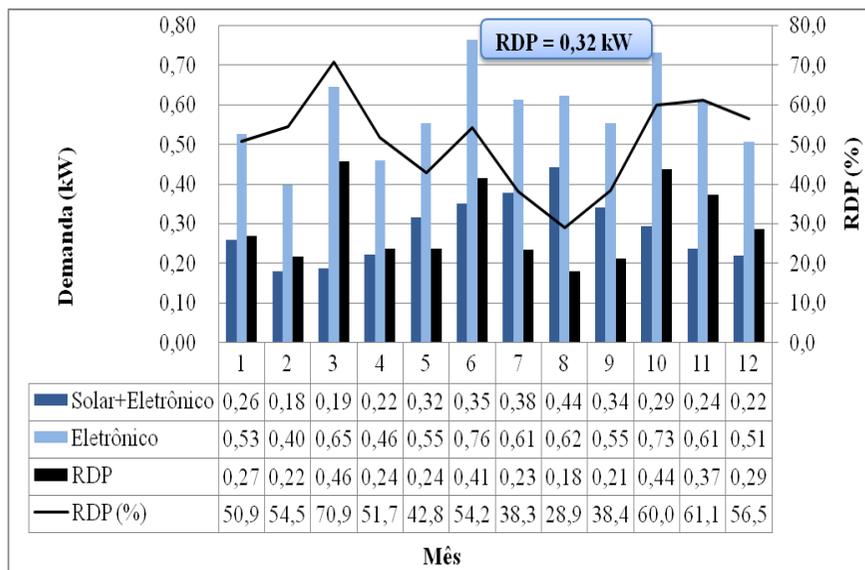


Figura 4.29 - Evolução mensal das máximas demandas medidas no horário de ponta e redução da demanda medida no horário de ponta

Os resultados mostram que o pré-aquecimento solar da água para o banho proporcionou redução significativa da demanda medida, no horário de ponta, em todos os meses do ano. A menor redução da demanda medida por unidade consumidora, no horário de ponta, foi de 0,18 kW (29%), registrada em agosto (inverno) e a maior redução da demanda medida por unidade consumidora, no horário de ponta foi de 0,46 kW (71%), registrada em março (verão). No período analisado, o valor anual encontrado para a RDP por unidade consumidora, foi de aproximadamente 0,32 kW (49%).

A Fig. 4.30 apresenta a evolução mensal da energia economizada e das emissões médias de CO₂ equivalentes evitadas (calculadas segundo a metodologia aplicada a projetos de MDL, para energias renováveis).

Os resultados mostram que, no ano de 2008, o pré-aquecimento solar da água para o banho proporcionou emissões evitadas de gases de “efeito estufa” a serem lançados na atmosfera, expressas em kg de CO₂ equivalentes, de aproximadamente 77,88 kg/unidade consumidora.

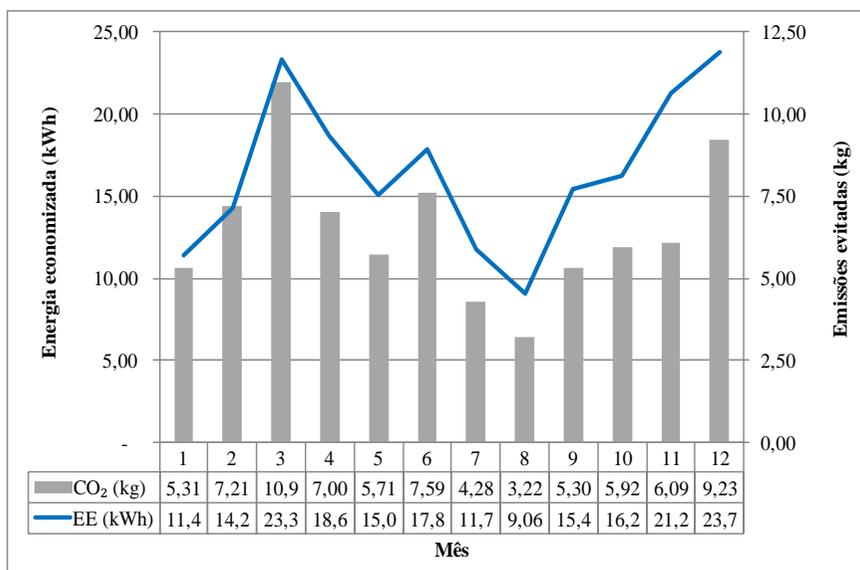


Figura 4.30 - Evolução mensal das energias economizadas e das emissões de CO₂ evitadas

Os resultados mostram ainda que, para uma economia anual de energia elétrica de 198 kWh e redução da demanda medida, no horário de ponta, de 0,32 kW, a agregação da energia solar térmica ao banho proporciona custo anual da demanda evitada de R\$ 137,76/unidade consumidora (CED = R\$ 430,51/kW.ano) e custo anual da energia economizada de R\$ 28,48/unidade consumidora (CEE = R\$ 143,80/MWh), no ano de 2008.

Em 2008, as emissões anuais de CO₂ equivalentes evitadas (77,88 kg/unidade consumidora), aliadas ao fato de que, projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para energias renováveis possuem adicionalidade *a priori*, pois estimulam mudanças tecnológicas que contribuem para a redução de emissões para o desenvolvimento sustentável de países em desenvolvimento (Protocolo de Quioto), possibilitam ainda, a obtenção de recursos oriundos da Redução anual Certificada de Emissões (RCE) de aproximadamente R\$ 4,10/unidade consumidora (www.europeanclimateexchange.com, consulta em 18/09/2008 e www.carbonpositive.net, consulta em 18/09/2008).

Sob a ótica do setor elétrico, as análises financeiras do retorno do investimento despendido para inserir o sistema termossolar na moradia

popular integrante do Solar Buona Vita, foram feitas através de diversas simulações de cálculos do tempo de retorno de investimento, do valor presente líquido e da relação custo-benefício (Eq. 21 a 26), para distintas taxas de retorno do capital. Neste caso, considerou-se que o sistema de distribuição de água é parte integrante do projeto original da edificação e, portanto, não foi levado em consideração seu custo nas análises financeiras de retorno do investimento despendido. Adicionalmente, não foram considerados os custos anuais de manutenção do sistema solar térmico. Admite-se aqui que estes custos sejam absorvidos pelo consumidor, através dos recursos economizados pela agregação da energia solar.

As taxas de retorno do capital adotadas neste trabalho correspondem a juros reais e, portanto, não apresentam embutidas taxas referentes à correção monetária. É importante ressaltar também que os cálculos apresentados tomaram como referência a utilização de coletores solares instalados no Residencial Solar Buona Vita.

As Fig. 4.31 a 4.33 apresentam, sob a ótica do setor elétrico, a evolução do tempo de retorno de investimento, do Valor Presente Líquido (VPL) e da Relação Custo Benefício (RCB) para o sistema termossolar, considerando taxas de desconto variáveis de 0 a 9,5%, custo de instalação das linhas de água quente e custos anuais de manutenção do sistema solar térmico nulos. O sistema termossolar de aquecimento utilizado apresenta vida útil de 15 anos e custo total de R\$ 1.330,00, dos quais R\$ 1.150,00 correspondem ao custo de equipamentos (coletor + reservatório) e R\$ 180,00 correspondem ao custo de instalação do sistema solar (Solares, 2009).

Nos cálculos da evolução do tempo de retorno de investimento, do Valor Presente Líquido (VPL) e da Relação Custo Benefício (RCB) para o sistema termossolar, os benefícios anuais proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho foram calculados, conforme as hipóteses abaixo relacionadas:

- a) Benefícios anuais proporcionados pelos custos evitados devido à energia economizada (CE = R\$ 28,48) e à redução anual da demanda no horário de ponta (CD = R\$ 137,76), totalizando R\$ 166,24/unidade consumidora;
- b) Benefícios anuais proporcionados pelos custos evitados devido à energia economizada (CE = R\$ 28,48) e à redução anual da demanda no horário de ponta (CD = R\$ 137,76) acrescido de

recursos oriundos de créditos de carbono (RCE = R\$ 4,10), totalizando R\$ 170,43/unidade consumidora.

Para a hipótese a, os resultados mostram que para taxa de desconto anual de 0%, o sistema termossolar de aquecimento da água para o banho se paga em 8 anos, com VPL = R\$ 1.163,00 e RCB = 0,53. Para taxa de desconto anual de 5,5%, o sistema termossolar de aquecimento da água para o banho se paga em 10,5 anos, com VPL = R\$ 338,60 e RCB = 0,80. Para taxa de desconto anual de 8%, o sistema termossolar de aquecimento da água para o banho se paga em 13,2 anos, com VPL = R\$ 92,90 e RCB = 0,93. Nesta condição, os resultados mostram ainda que, sob a ótica do setor elétrico, investimentos em projetos de inserção da energia solar térmica na habitação popular com taxa de desconto anual maior do que 9% perdem a atratividade financeira.

A taxa de desconto anual, de no mínimo, 8% ao ano, apresenta interesse especial para o setor elétrico, já que equivale à taxa de desconto aplicada, em 2008, na avaliação de alternativas de expansão, do Plano Nacional de Energia – PNE 2030 (Nota Técnica 1.04.26.07^a, da Empresa de Pesquisa Energética e Manual para Elaboração de Programa de Eficiência Energética, ANEEL, 2008).

Devido aos elevados custos envolvidos nas etapas de elaboração, validação e certificação de Projetos de MDL, e ainda ao fato de que os recursos anuais oriundos da Redução anual Certificada de Emissões (RCE), proporcionados pelo pré-aquecimento solar da água para o banho, são pequenos (para o ano base de 2008, totalizaram apenas R\$ 4,10/unidade consumidora), Projetos de MDL para agregação da energia solar térmica ao banho só se justificam para aplicação da tecnologia solar em larga escala. Apesar das considerações anteriormente descritas, foram executadas, sob a ótica do setor elétrico, diversas simulações de tempo de retorno do investimento, VPL e RCB para o sistema termossolar, considerando custo do projeto MDL nulo e recursos adicionais oriundos da Redução anual Certificada de Emissões de R\$ 4,10/unidade consumidora.

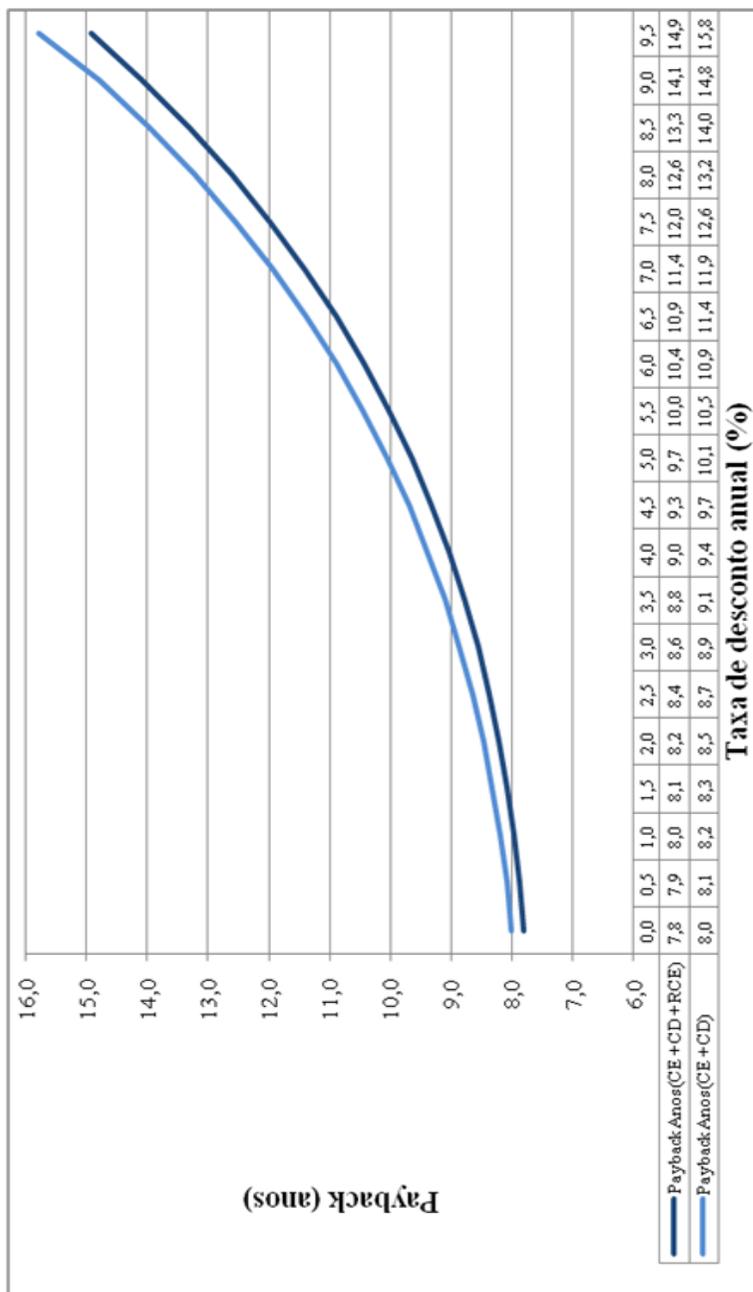


Figura 4.31 - Evolução do tempo de retorno de investimento (payback) com a taxa de desconto anual

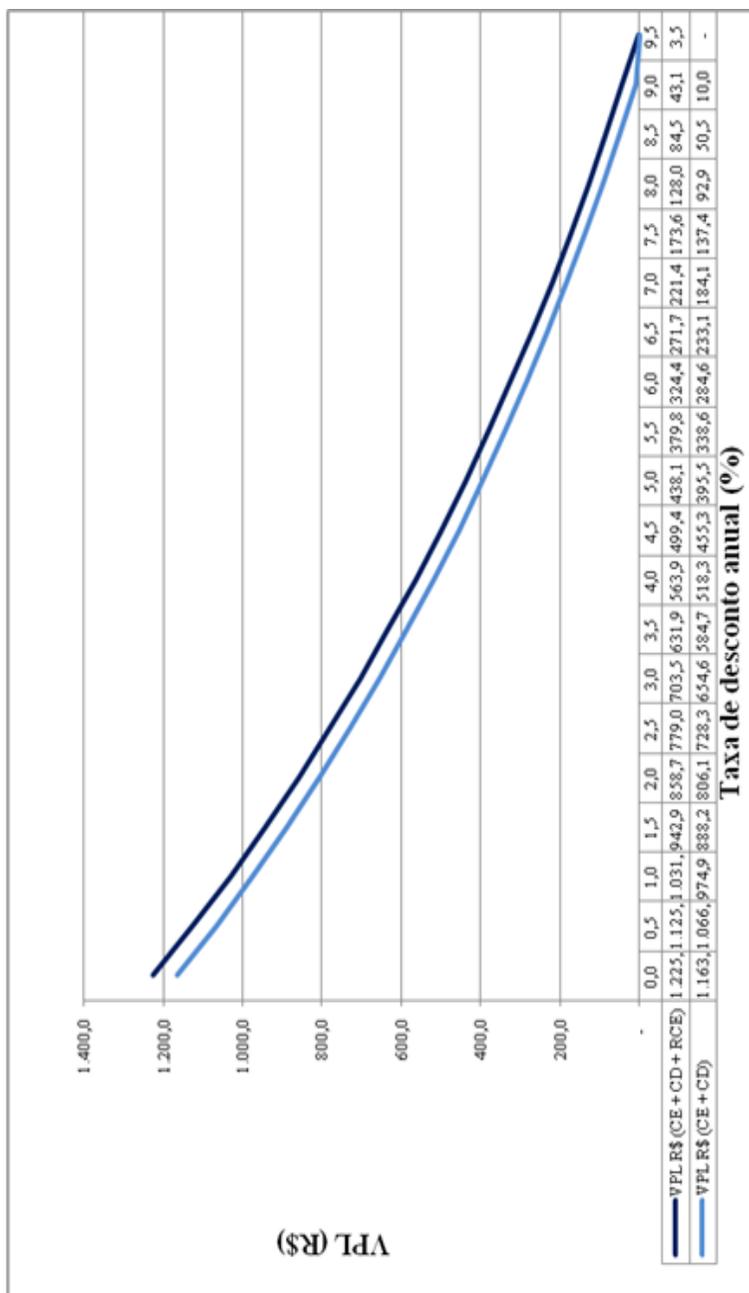


Figura 4.32 - Evolução do VPL com a taxa de desconto anual

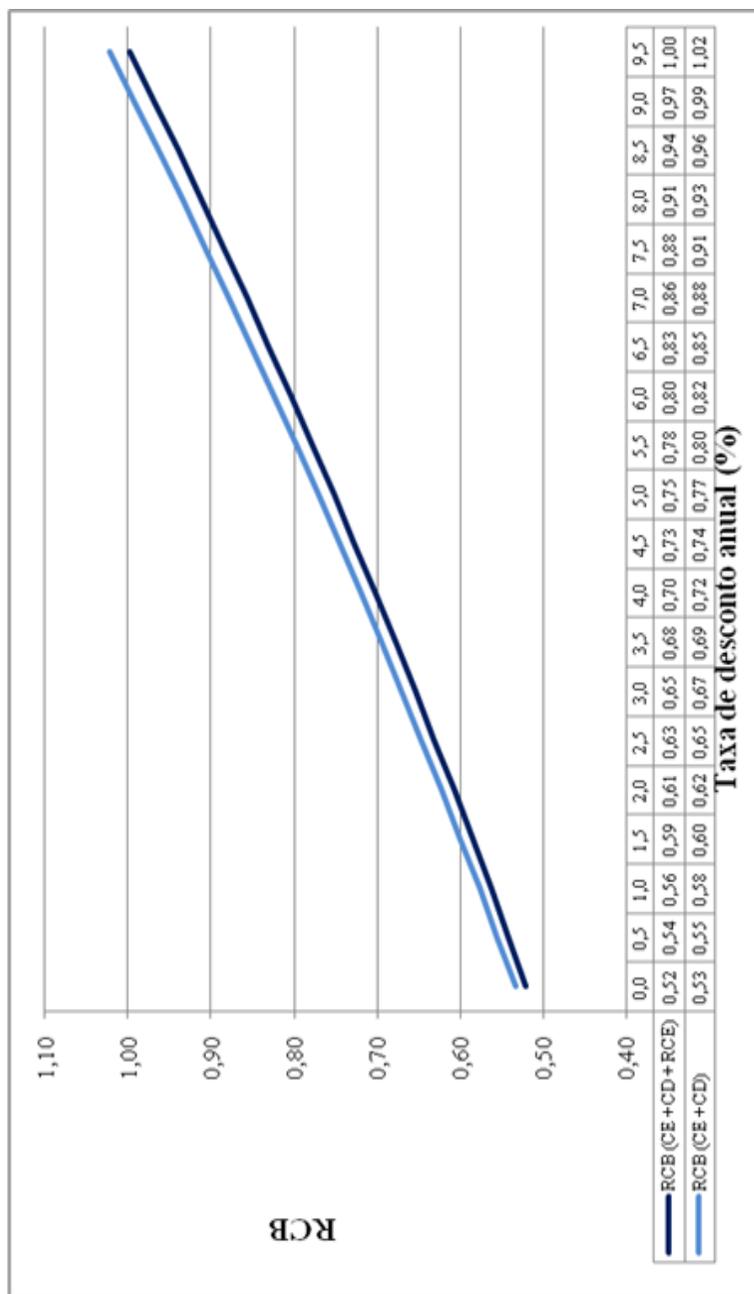


Figura 4.33 - Evolução da RCB com a taxa de desconto anual

Para a hipótese b, os resultados mostram que para taxa de desconto anual de 0%, o sistema termossolar de aquecimento da água para o banho se paga em 7,8 anos, com VPL = R\$ 1.225,00 e RCB = 0,52; mostram ainda que, para taxa de desconto anual de 6%, o sistema termossolar de aquecimento da água para o banho se paga em 10,4 anos, com VPL = R\$ 324,40 e RCB = 0,80. Para taxa de desconto anual de 8,0%, os resultados mostram que o sistema termossolar de aquecimento da água para o banho se paga em 12,6 anos, com VPL = R\$ 128,00 e RCB = 0,91. Para taxa de desconto anual de 9,5%, os resultados mostram que o sistema termossolar de aquecimento da água para o banho se paga em 14,9 anos, com VPL = R\$ 3,50 e RCB = 1. Nesta condição, sob a ótica do setor elétrico, investimentos em projetos de inserção da energia solar térmica na habitação popular com taxa de desconto anual maior do que 9,5% perdem a atratividade financeira.

Sob a ótica do setor elétrico, as simulações mostram que os recursos oriundos da Redução anual Certificada de Emissões pouco afetam a atratividade financeira do investimento para a inserção da tecnologia termossolar na habitação popular.

Sob a ótica do consumidor final, foram feitas análises financeiras do retorno do investimento despendido para a instalação das linhas de água quente na moradia popular, integrante do Solar Buona Vita, através de diversas simulações de cálculos do tempo de retorno de investimento, do Valor Presente Líquido e da Relação Custo-Benefício (Eq. 21 a 26), para distintas taxas de retorno do capital.

Para o consumidor final (residencial normal), a economia anual de energia (198 kWh) devido à agregação da energia solar térmica ao banho proporcionou, em 2008, uma redução de despesas com energia elétrica (data base – janeiro de 2008: tarifa de energia elétrica = 0,362533 R\$/kWh, impostos: ICMS = 12%, PIS/PASEP = 0,93% e COFINS = 4,26%) (www.celesc.com.br, consulta em 28/01/2008) de aproximadamente R\$ 84,12.

As Fig. 4.34 a 4.36 apresentam, sob a ótica do consumidor final, a evolução do tempo de retorno de investimento, do VPL e da RCB para o financiamento das linhas de água quente, considerando taxas de desconto variáveis de 0 a 3,5%, benefícios anuais (B) totalizando R\$ 34,12/unidade consumidora (equivalente à diferença entre a redução, para o consumidor final, de despesas com energia elétrica (R\$ 84,12) proporcionadas pelo pré-aquecimento solar da água e de custos anuais de manutenção (R\$ 50,00) do sistema solar térmico), vida útil de 20 anos para as linhas de água quente e custo total (material e mão de obra) das linhas de água quente de R\$ 500,00 (Solares, 2009).

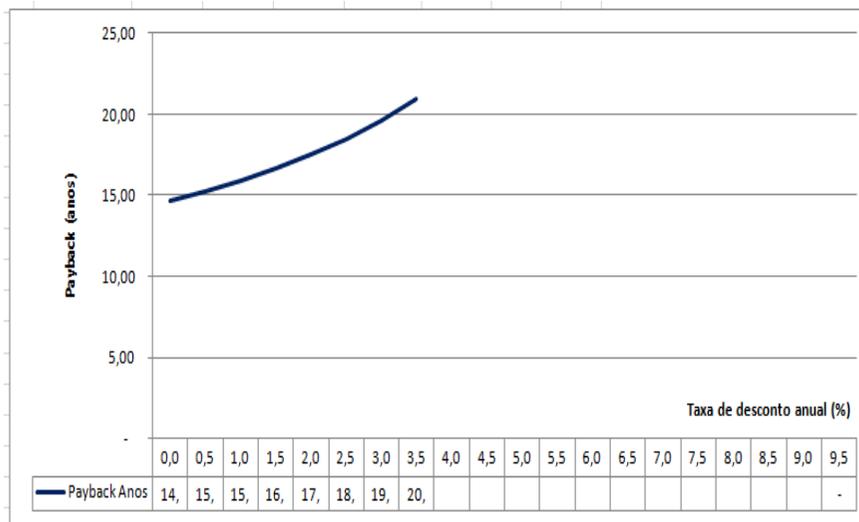


Figura 4.34 - Evolução do tempo de retorno de investimento (payback) com a taxa de desconto anual (Benefícios = Custo evitado pelo consumidor final devido à energia economizada)

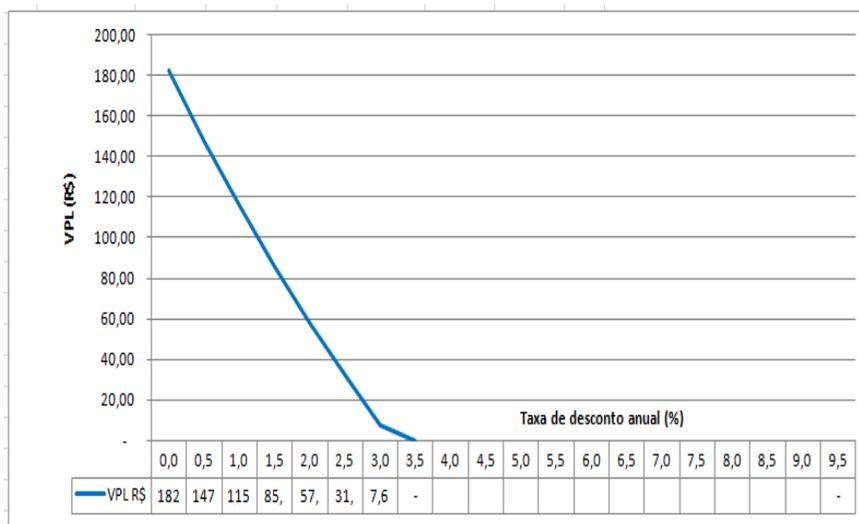


Figura 4.35 - Evolução do VPL com a taxa de desconto anual (Benefícios = Custo evitado pelo consumidor final devido à energia economizada)

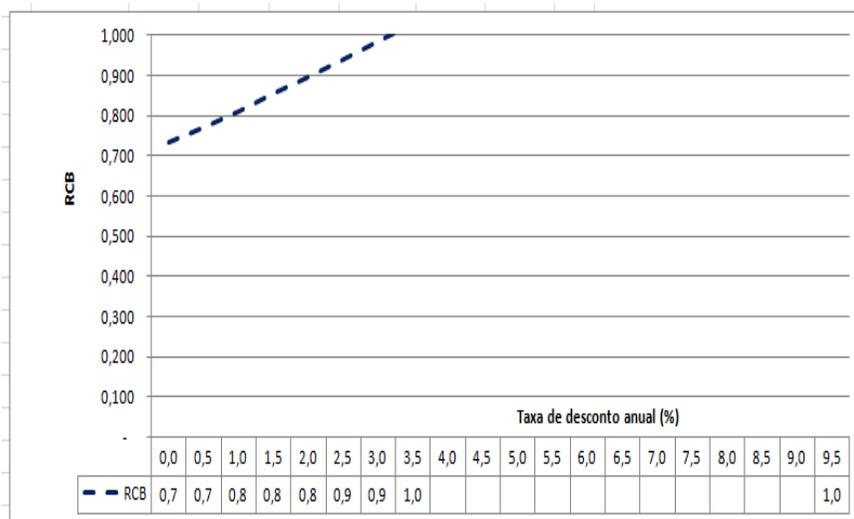


Figura 4.36 - Evolução da RCB com a taxa de desconto anual (Benefícios = custo evitado pelo consumidor final devido à energia economizada)

Sob a ótica do consumidor final, os resultados mostram que investimentos para a instalação das linhas de água quente com taxa de desconto anual maior do que 3,5% não apresentam atratividade financeira.

Os benefícios (redução anual de despesas com energia elétrica) proporcionados ao consumidor final pela agregação da energia solar térmica ao banho, além de garantirem as despesas anuais de manutenção dos sistemas solares de aquecimento, podem financiar os custos de instalação das linhas de água quente.

Este trabalho mostra que existe potencial para se financiar a aquisição dos sistemas termossolares na habitação popular integrante do Residencial Solar Buona Vita, já que ao usuário interessa a redução das despesas com o aquecimento de água (a maioria não tem acesso a aplicações financeiras que poderiam ser mais atraentes do que a economia proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho) e ao setor elétrico interessa evitar o investimento de menor taxa de retorno e livrar-se de tarifa muitas vezes inferior ao custo de suprimento.

4.8 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA MORADIA POPULAR ATRAVÉS DA CRIAÇÃO DE UM FUNDO DE INVESTIMENTO EM ENERGIA SOLAR

Visando contribuir com a inserção da energia solar térmica na habitação popular, este trabalho apresenta a evolução de um “fundo solar térmico” de investimento (FST), conforme metodologia desenvolvida no Capítulo 3. Os resultados tomaram como referência a captação por coletores solares planos instalados no Edifício Residencial Buona Vita (Projeto UFSC- Celesc, 2004) assumindo, para o ano de 2008, os mesmos hábitos de banho observados em 2004.

A Fig. 4.37 e a Tab. 4.2 apresentam a evolução do FST durante 30 anos, para amortização correspondente aos custos anuais evitados pelo setor elétrico, devido à energia economizada e à redução da demanda ativa, no horário de ponta, proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho ($a = R\$ 166,24/\text{domicílio}$), preço, em 2008, da instalação solar no varejo ($p = R\$1.330,00/\text{domicílio}$), vida útil da instalação solar ($n = 15$ anos) e dotação inicial equivalente ao preço de 1.000 instalações solares ($N_i = 1.000$).

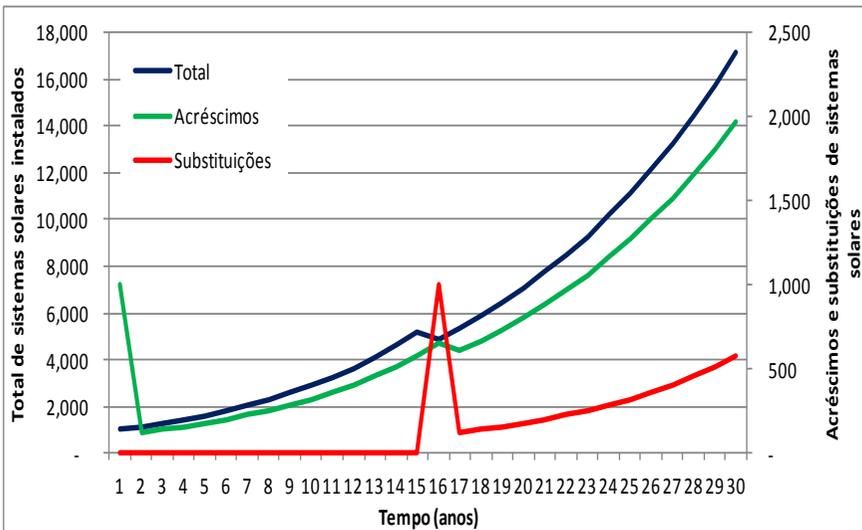


Figura 4.37 - Evolução do FST (Benefícios: custos evitados devido à energia economizada e à redução da demanda no horário de ponta)

Tabela 4.2 - Resultados das simulações do FST (Benefícios: custos evitados devido à energia economizada e à redução da demanda no horário de ponta)

Anos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Acréscimos	1.000	125	141	158	178	200	225	253	285	321	361	406	457	514	578
Substituições	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1.000	1.125	1.266	1.424	1.602	1.802	2.027	2.281	2.566	2.886	3.247	3.653	4.110	4.623	5.201
Anos	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Acréscimos	650	606	667	732	804	882	968	1.060	1.161	1.271	1.389	1.518	1.657	1.807	1.969
Substituições	1.000	125	141	158	178	200	225	253	285	321	361	406	457	514	578
Total	4.851	5.333	5.858	6.433	7.059	7.741	8.483	9.290	10.166	11.116	12.145	13.257	14.457	15.751	17.141

Tendo em vista que, no Brasil, os sistemas solares de aquecimento de água são classificados como equipamentos que promovem a eficiência energética, os recursos necessários para aquisição das 1.000 (N_i) instalações solares poderiam ser oriundos do montante que as empresas concessionárias de energia elétrica devem, obrigatoriamente, investir em programas de eficiência energética.

Este trabalho considera que as despesas decorrentes da instalação das linhas de água quente são assumidas diretamente pelo consumidor final, ou financiadas ao mesmo, pelo setor elétrico (concessionárias). Tais despesas podem ser ressarcidas, através das economias proporcionadas, ao consumidor final, pela agregação da energia solar térmica ao banho.

Os resultados mostram que o FST se apresenta como autossustentado e que o efeito da retirada das instalações com 15 anos de uso produz apenas uma queda no 16º ano, imediatamente recuperada. Adicionalmente, pode-se observar que ao final do período analisado (30 anos), para uma dotação inicial de 1.000 sistemas de aquecimento solar, o FST apresentará um ganho de 16.141 sistemas de aquecimento solar (1.614%).

A Fig. 4.38 apresenta a evolução do FST, durante 30 anos, para amortização correspondente aos custos anuais evitados, pela concessionária de energia elétrica, devido à redução da demanda ativa, no horário de ponta ($a = R\$ 137,76/\text{domicílio}$), preço da instalação solar no varejo ($p = R\$1.330,00/\text{domicílio}$), vida útil da instalação solar ($n = 15$ anos) e dotação inicial equivalente ao preço de 1.000 instalações solares ($N_i = 1.000$).

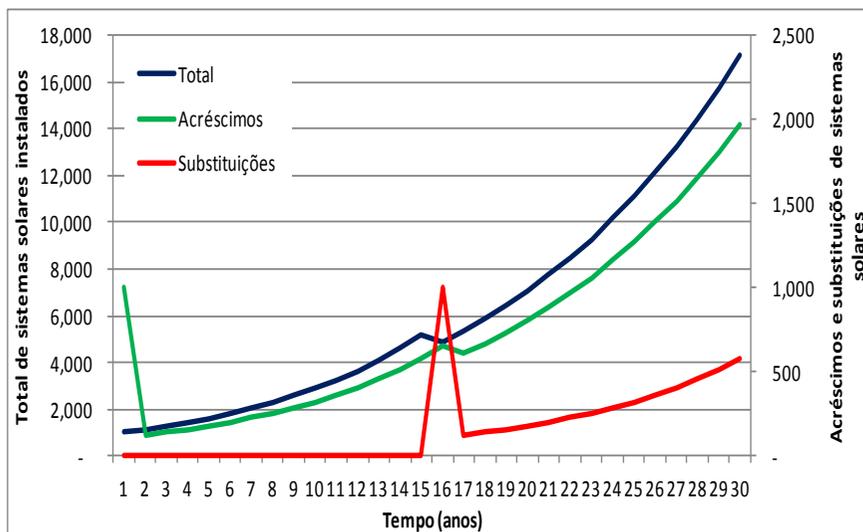


Figura 4.38 - Evolução do FST (Benefícios: custos evitados devido à redução da demanda no horário de ponta)

Neste caso, os resultados mostram que o FST se apresenta como autossustentado e o efeito da retirada das instalações com 15 anos de uso produz uma queda no 16º ano, posteriormente recuperada. Adicionalmente, pode-se observar que ao final do período analisado (30 anos), para uma dotação inicial de 1.000 sistemas de aquecimento solar, o FST apresentará um ganho de 8.234 sistemas de aquecimento solar (823,4%).

Embora o “fundo solar térmico” de investimento abordado neste trabalho contribua, de forma significativa, para impulsionar a substituição do chuveiro elétrico por dispositivos que utilizem a energia solar para aquecer a água para o banho, outras combinações de amortização e preço (que se espera decrescer com a escala de produção) podem ser desenvolvidas para avaliar alternativas à solução proposta.

4.9 CONCLUSÃO

Apesar de a metodologia desenvolvida apresentar caráter geral, este trabalho focou na avaliação da viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na moradia popular, localizada em Florianópolis, cidade inserida na região de menor incidência de irradiação solar do Brasil.

É importante destacar que neste trabalho não foi realizado um estudo estatístico detalhado; o período de medição foi limitado a um ano específico, os resultados apresentados são válidos para um grupo de famílias integrantes do Residencial Solar Buona Vita e para um equipamento específico. Adicionalmente, as discussões apresentadas são oriundas de análises conservativas dos resultados.

Os resultados obtidos mostram claramente a viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar térmica ao banho nas condições avaliadas.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho apresentou como objetivo desenvolver um método para avaliar os benefícios e o potencial da agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na habitação popular.

O método desenvolvido visou avaliar o potencial da energia solar no local da habitação, conhecer hábitos de banho, avaliar os impactos proporcionados pelo pré-aquecimento solar da água para o banho sobre o consumo de energia elétrica e sobre as demandas ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água, inventariar as emissões de CO₂ equivalentes evitadas, e ainda, avaliar, sob a ótica do setor elétrico e do consumidor final, a viabilidade econômica de sua inserção na moradia popular.

O sistema solar de aquecimento da água adotado nesta pesquisa apresentou baixa fração solar (FS = 0,38). O baixo desempenho térmico da solução tecnológica adotada pode ser justificado pelo subdimensionamento dos sistemas de aquecimento solares utilizados e pelos perfis de consumo de água quente com o banho.

Nesta pesquisa foi constatado que o chuveiro elétrico utilizado apresentou baixo fator de potência, devido ao amplo conteúdo harmônico na forma de onda da corrente elétrica, introduzido pelo controle eletrônico de temperatura.

Para os 12 meses do período analisado, constatou-se a predominância de um perfil noturno de consumo de energia elétrica com o banho, o que contribuiu para a atratividade da inserção dos sistemas termossolares para reduzir a demanda no horário de ponta.

A duração média do banho quente/morno foi de aproximadamente 5,15 minutos/pessoa e sua frequência média diária de aproximadamente 0,98 banhos/pessoa. Nos meses do ano com predominância de maiores temperaturas, os banhos foram mais frequentes, porém de menor duração, enquanto nos meses mais frios os banhos foram menos frequentes, porém de maior duração. O valor obtido para a duração média do banho foi inferior ao proposto por Bermann (2002) para a cesta básica energética para o domicílio brasileiro.

A duração média do banho, no horário de ponta foi de 5,48 minutos/pessoa e sua frequência média diária, no horário de ponta, de 0,27 banhos/pessoa. A duração média do banho em horário de ponta é 8,9 % maior do que a duração média do banho em horário fora da ponta. O tempo médio de duração do banho, em horário de ponta, foi maior nos meses mais frios do ano (maio a outubro) e a frequência média diária de banhos, em

horário de ponta, foi maior nos meses mais quentes do ano (novembro a abril). Nos meses do ano com predominância de maiores temperaturas, os banhos em horário de ponta foram mais frequentes, porém de menor duração, enquanto nos meses mais frios foram menos frequentes, porém de maior duração.

Os dois grupos analisados apresentaram comportamento idêntico e tomaram banho, com maior frequência, no horário de ponta. Para ambos os grupos classificados pela utilização da energia para fins de aquecimento da água para o banho, aproximadamente 27% da totalidade dos banhos foram tomados no horário de ponta

A análise dos impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho sobre o consumo de energia elétrica, mostrou ganhos anuais em economia de energia elétrica insignificantes no intervalo de tempo compreendido entre 1 e 12:00 horas (meio dia). Entretanto, a partir do meio dia, podem-se observar ganhos significativos em economia de energia (compatíveis com o tamanho dos sistemas de aquecimento solares utilizados e com os perfis de consumo), totalizando no ano, economia de energia elétrica por unidade consumidora de 198 kWh (37,6%).

As diferenças de ganhos em economia de energia observadas entre os períodos 0 a 12 horas e 12 a 24 horas podem ser justificadas pela pequena capacidade de armazenamento do reservatório térmico e pelo fato de que o horário mais frequente de consumo de água quente situa-se no período subsequente ao pôr do sol. O hábito do banho no horário de ponta torna o uso da energia solar para o aquecimento da água para o banho uma proposta muito interessante para reduzir tanto a demanda no horário de ponta como para reduzir o consumo total de energia elétrica com o banho.

No ano de 2004, se o grupo que utiliza o chuveiro eletrônico com controle de temperatura ($P_{\text{máx}} = 6.800\text{W}$) for utilizado como referência, tanto para avaliar economias de energia como para avaliar potências médias evitadas, a agregação da energia solar ao banho proporcionou energia anual economizada de 198 kWh/unidade consumidora (37,6%) e potência média evitada, no horário de ponta, de 2.638 W/unidade consumidora (45,1%).

Esta pesquisa constatou que, no ano de 2008, a agregação da energia solar ao banho, proporcionou valores anuais de emissões evitadas de gases de efeito estufa, expressas em kg de CO_2 equivalente, de aproximadamente 9,57 kg/unidade consumidora. Embora as emissões evitadas de CO_2 /unidade consumidora apresentem individualmente baixos valores, seu grande potencial de redução se encontra na utilização da tecnologia solar em larga escala, contribuindo, assim, efetivamente, com a redução do “efeito estufa” e com a preservação ambiental.

Na análise dos impactos proporcionados pelo pré-aquecimento solar da água para o banho sobre as demandas ativa, reativa e aparente constatou-se que a agregação da energia solar térmica ao banho, no período analisado, proporcionou redução de demanda ativa no horário de ponta (RDP), em intervalos de 5 minutos, de 0,52 kW/unidade consumidora (48,95%), redução de demanda reativa (RQP), no horário de ponta, em intervalos de 5 minutos, de 0,09 kvar/unidade consumidora (29,03%) e redução da demanda aparente no horário de ponta (RSP), em intervalos de 5 minutos, de 0,53 kVA /unidade consumidora (48,62%). O elevado valor percentual encontrado para a redução da demanda aparente solicitada à rede elétrica para aquecer a água para o banho, no horário de ponta, mostra que a agregação da energia solar térmica ao banho contribui de forma significativa para reduzir o carregamento e as perdas elétricas nas linhas e nos equipamentos dos sistemas de transmissão/distribuição de energia elétrica, permitindo postergar ou evitar elevados investimentos na expansão de tais sistemas.

Este trabalho mostrou que existe potencial para se financiar a aquisição da instalação solar na moradia popular integrante do Residencial Solar Buona Vita, em Florianópolis, em condições favoráveis ao setor elétrico e ao consumidor final. Os resultados mostraram que, sob a ótica do setor elétrico, investimentos em projetos de inserção da energia solar térmica ao banho na habitação popular com taxa de desconto anual de até 9% apresentam atratividade financeira.

Este trabalho comprovou que os recursos oriundos da Redução anual Certificada de Emissões (RCE) pouco afetam a atratividade financeira do investimento para a inserção da tecnologia termossolar na habitação popular. Ainda que a contribuição financeira proporcionada pelos RCE por unidade consumidora seja modesta, a obtenção de recursos oriundos de créditos de carbono, via Projetos de MDL, deve ser vista como um modesto, porém importante primeiro passo, para avaliar e mitigar os impactos ambientais proporcionados pela geração de energia elétrica, que hoje se mostram tão desastrosos para os ecossistemas e para o clima.

Este trabalho mostrou ainda, que a criação do “fundo solar térmico” de investimentos, conforme proposto, se apresenta como uma das formas de se dar um impulso inicial à desejada substituição do chuveiro elétrico por sistemas termossolares para aquecer a água para o banho.

Adicionalmente, no período analisado, foi constatado que a agregação da energia solar térmica ao banho não contribui de maneira significativa para reduzir o consumo mensal total de energia elétrica da moradia popular,

apesar de ter reduzido consideravelmente o consumo de energia elétrica com o banho.

Uma limitação do presente estudo é a falta de informações sobre perfis de consumo de água quente com o banho, em termos de vazão e temperatura da água quente consumida. Entretanto, através do critério de classificação das famílias, baseado no modelo proposto por Vine et al. (1997), pode-se afirmar que os grupos analisados apresentaram perfis semelhantes de consumo de água quente. Adicionalmente, ambos os grupos analisados, utilizaram no ponto de uso chuveiros elétricos do tipo “potência ajustável” idênticos.

Apesar da falta de informações sobre perfis de consumo de água quente com o banho, a metodologia desenvolvida avaliou claramente os benefícios e o potencial da agregação da energia solar térmica ao banho na moradia popular, através da medição e verificação da demanda e energia elétrica consumida por um grupo de sistemas de aquecimento solar monitorados, como uma medida de eficiência energética (conservação da energia e redução da demanda no horário de ponta).

Para o consumidor, a agregação da energia solar térmica ao banho diminui custos operacionais com transferência de renda para as famílias. A inserção do aquecedor solar na habitação de baixa renda no Brasil, não somente possibilita às famílias de baixa renda o acesso à água quente como também auxilia as mesmas a continuar se beneficiando de tarifas subsidiadas.

O uso do chuveiro elétrico, especialmente pelo consumidor de baixa renda, legalmente amparado por tarifas subsidiadas, é completamente inadequado. Especialmente no horário de ponta, quando o sistema elétrico apresenta restrições de potência, os kW e kWh da eletricidade subsidiada que a concessionária de energia elétrica disponibiliza para o consumidor de baixa renda poderiam ser oferecidos para outras classes consumidoras, por preço bem superior.

A agregação da energia solar térmica ao banho em substituição (total ou parcial) aos chuveiros elétricos, largamente utilizados no país, pode ser entendida como uma geração virtual de energia elétrica, que permite às concessionárias de energia elétrica cumprir seu compromisso com o desenvolvimento sustentável e também a postergar ou reduzir investimentos na expansão de seus sistemas de distribuição de energia elétrica para atender a demanda no horário de ponta. Possibilita ainda, uma melhor administração da carga do sistema, melhora da confiabilidade, maior garantia de atendimento ao mercado consumidor, além de reduzir suas perdas técnicas e comerciais.

Para a sociedade, a agregação da energia solar térmica ao banho contribui para a diversificação da matriz energética brasileira. Além disso, contribui com o desenvolvimento sustentável, gera novos empregos, amplia a consciência do cidadão em relação à proteção ambiental, evita grandes investimentos na expansão da geração e transmissão/distribuição, permitindo a realocação de recursos às áreas sociais, contribui para a redução do efeito estufa e com a preservação ambiental.

Apesar dos benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho, no Brasil, sua inserção na moradia popular apresenta barreiras a serem vencidas, tais como, a comodidade no uso da eletricidade (que dificulta a remoção do hábito nacional do uso de chuveiros e torneiras elétricas), a adaptação das residências que não possuem linhas de água quente, a ainda insuficiente conscientização do setor elétrico e da sociedade com questões ambientais, a deficiência de incentivos e legislação, investimentos pouco significativos para o desenvolvimento da tecnologia solar em toda cadeia da energia solar, pouco estímulo à formação de mão de obra especializada na área e indefinição quanto à legislação ambiental. Como oportunidades para sua inserção na moradia popular brasileira, podemos citar condições climáticas muito favoráveis, crescente preocupação da sociedade com questões ambientais e perspectivas de redução de custo com ganhos de escala.

Como sugestões para trabalhos de pesquisa futuros, esta pesquisa apresenta:

- a) Avaliação energética global e avaliação do ciclo de vida do ASBC utilizado neste projeto;
- b) Redimensionamento do ASBC (coletor e reservatório) visando melhorar o desempenho térmico da solução tecnológica adotada;
- c) Desenvolvimento de novas topologias de chuveiros elétricos com controle automático de temperatura (independente da vazão de água), de menor potência, fator de potência unitário, reduzido conteúdo harmônico e baixo cintilamento;
- d) Avaliação dos impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho sobre o consumo de água;
- e) Avaliação dos impactos proporcionados pela agregação da energia solar ao banho sobre o meio ambiente;
- f) Avaliação do potencial da agregação da energia solar ao banho através da utilização da tecnologia híbrida (aquecedor solar de baixo custo, assistido por aquecimento à gás);

- g) Construção de cenários energéticos e mapeamento dos impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho para outras regiões do país;
- h) Proposição de políticas e programas de incentivo para a promoção da inserção da energia solar térmica ao banho, na habitação popular brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.L.; SALAZAR, J.P.L.C.; COLLE, S. Impact of compact solar domestic hot-water systems on the peak demand of a utility grid in Brazil. In: Proceedings of EUROSUN 2004, Freiburg, Germany, 2004, pp. 1832-1840.

ABOU-ZEID, M.R.; HAWAS, M.M. Economic evaluation and optimization of solar systems for space and domestic water heating. *Energy Conversion and Management* 23, 1983, pp. 251-256.

ABRAMS, D.W.; SHEDD, A.C.. Effect of seasonal changes in use patterns and cold inlet water temperature on water heating loads. *ASHRAE Transactions*. 102, 1996, pp. 1038-1053.

ACHÃO, C.C.L.; SCHAEFFER, R. Energia e Renda no Brasil: Um retrato do consumo no setor residencial. In: Proceedings of X Congresso Brasileiro de Energia – X CBE, Rio de Janeiro, Brasil, 2004, pp. 2403-2147.

ACHÃO, C.C.L. Análise da Estrutura de Consumo de Energia pelo Setor Residencial Brasileiro. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2003, 103 p.

ALMEIDA, M.A.; SCHAFFER, R.; ROVERE, E.L. The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil. *Energy* 26, 2001, pp. 413-429 .

ANEEL/Resolução Normativa 414 - Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada, de 09 de setembro de 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Consulta em dezembro de 2011.

ANEEL/Resolução Normativa 431, de 29 de março de 2011. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Consulta em dezembro de 2011.

ANEEL/PEE. Programa de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Consulta em Abril de 2008.

ANEEL/MPEE. Manual para elaboração de Programa de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Consulta em Abril de 2008.

ARAÚJO, P.M.M. Estudo da Viabilidade da Produção Local de Aquecedores Solares de Água Aplicado ao Consumo Doméstico em Habitações Populares. Relatório de Pesquisa. Aracaju, Sergipe, 2002.

BADESCU, V.; STAICOVICI, M.D. Renewable energy for passive house heating: Model of the active solar heating system, *Energy and Buildings* 38 (2006) 129-141.

Balanço Energético Nacional – Ano base 2010. Disponível em: <<http://www.ben.epe.gov.br>>. Consulta em maio de 2012.

BERMANN, C. Energia no Brasil: Para que? Para quem? Crise e alternativas para um desenvolvimento sustentável. Segunda edição. Editora da Física, São Paulo, 2002, ISBN 8588325063.

BOJIE, M.; KALOGIROU, S.; PETRONIJEVIC. Simulation of a solar domestic water heating system using a time marching model. *Renewable Energy* 27, 2002, pp. 441- 452.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables solar electricity consumption. *Energy and Buildings* 40, 2008, pp. 2002-2008.

CANBAZOĞLU, S.; ŞAHINASLAN, A.; EKMEKYAPAR, A.; AKSOY, Ý.G.; AKARSU, F. Enhancement of solar thermal energy storage performance using sodium thiosulfate pentahydrate of a conventional solar water-heating system, *Energy and Buildings* 37 (2005) 235-242.

Celesc Distribuição SA. Projeto UFSC/Celesc. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br>>. Consulta em Julho de 2005.

Celesc Distribuição SA. Horário de Ponta. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br>>. Consulta em Março de 2008.

Celesc Distribuição SA. Tarifas Celesc. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br>>. Consulta em 18/04/2008.

Celesc Distribuição SA. Programas de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br>>. Consulta em Fevereiro de 2007.

CHANDRASEKAR, B.; KANDPAL, T.C. Techno-economic evaluation of domestic solar water heating systems in India. *Renewable Energy*, 2004, Vol. 29, pp.319-332.

COLLE, S.; PEREIRA, E.B. Atlas de Radiação Solar do Brasil - INMET/LABSOLAR/CEPTEC/INPE, 2000.

COLLE, S.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. Uncertainty in Economical Analysis of Solar Water Heating and Photovoltaic Systems. *Solar Energy*, Elsevier Science 70, 2001, pp. 131-142.

COLLE, S.; ABREU, S.L.; GLITZ, K.; COLLE, F. Optimization of the auxiliary heating and water storage insulation of a low cost domestic hot water heating system with an electric shower. *Proceedings of ISES 2001, Solar World Congress, Adelaide, Austrália, Sayman W.Y. and Charters W.W.S, Australian and New Zeland Solar Energy Society, Adelaide, 2001, pp. 993-1001.*

COLLE, S., SALAZAR, J.P.L.C., ABREU, S.L., GLITZ, K. Cost optimization of low-cost solar domestic hot water systems assisted by electric energy. *Proceedings of ISES- International Solar Energy Society. Solar World Congress, Gotemburgo, Suécia, 2003, pp. 1124-1133.*

COLLE, S., ABREU, S.L., SALAZAR, J.P.L.C.; REGUSE, W. Impacto da energia solar sobre o pico de demanda de energia de chuveiros elétricos de famílias de baixa renda do Brasil. *Proceedings of XII Congresso Ibérico y VII Iberoamericano de Energia Solar, Vigo, Spain, 2004, pp. 29-33.*

Código Técnico de Edificações da Espanha, 2006. Disponível em: <<http://www.cidadessolares.org.br>>. Consulta em setembro de 2007.

Comércio de Emissões. Disponível em:
<<http://www.europeanclimateexchange.com>> e em:
<<http://www.carbonpositive.net>>. Consulta em 18/09/2008.

CUADROS, F.; LÓPEZ-RODRÍGUEZ, F.; SEGADOR, C.; MARCOS, A. A simple procedure to size active solar heating schemes for low-energy building design, *Energy and Buildings* 39 (2007) 96-104.

CRUICKSHANK, C.A.; Harrison, S.J. Heat loss characteristics for a typical solar domestic hot water storage, *Energy and Buildings* 42 (2010) 1703-1710.

DIAKOULAKI, D.; ZERVOS, A.; SARAFIDIS, J.; MIRASGEDIS, S. Cost benefit analysis for solar water heating systems. *Energy Conversion and Management* 42, 2001, pp. 1727-1739.

Eletrobras/Procel. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005, Classe Residencial - Relatório Brasil, Julho de 2007. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Consulta em Outubro de 2009.

Desenvolvimento e validação experimental de ferramenta digital para racionalização do uso de energia de chuveiros elétricos de consumidores de baixa renda por agregação da energia termosolar no estado de Santa Catarina. Relatório Final do projeto proposto pelo LABSOLAR/ NCTS do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC ao P&D da Celesc - Centrais Elétricas de Santa Catarina, ciclo 2000-2001, 2004.

DHARUMAN, C.; ARAKERI, J.H.; SRINIVASAN, K. Performance evaluation of an integrated solar water heater as an option for building energy conservation, *Energy and Buildings* 38 (2006) 214-219.

ELO Sistemas Eletrônicos S.A. Medidor Eletrônico de Energia Elétrica – Manual do Usuário, 2002.

Fact Sheet: AB 1470 - Solar Water Heating and Efficiency Act 2007. Disponível em: <<http://www.environmentcalifornia.org>>. Consulta em Setembro de 2007.

FANTINELLI, J.T. Análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar de água para habitações populares: Estudo de Caso em Contagem – MG. Campinas: FEM, UNICAMPI, 2006. Tese, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campinas, 2006.

FANTINELLI, J.T.; PEREIRA, J.T.V.; PEREIRA, E.M.D. As Ações para o Incentivo ao Uso de Sistemas Termossolares na Habitação Brasileira de Interesse Social. Proceedings of V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - CBPE, Brasília, Brasil, 2006, pp. 1-13.

FERREIRA, O.C. Promoção do uso da energia solar para o aquecimento de água no setor residencial. Economia & Energia, Ano VIII, Num. 47, Dezembro de 2004 – Janeiro de 2005, ISSN 1518 2932.

FLOUQUET, F.O.; KERNEVEZ, N. Study of the performance of the solar heating system of a multifamily building, Energy and Buildings 13 (1989) 109-118.

GELLER, H.; JANNUZZI, G.M.; SCHAEFFER, R.; TOLMASQUIN, M.T. The efficient use of electricity in Brazil: Progress and opportunities?. Energy Policy 26 (11), 2002, pp. 859-872.

GILLINGHAM, K. Economic efficiency of solar hot water policy in New Zealand. Energy Policy 37, 2009, pp. 3336-3347.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T.; GOL, O.L. How adequate policies can push renewables. Energy Policy 32, 2004, pp.1141-1146.

GOULART, S.G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S., 1998. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras. II Edição. Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC/ Florianópolis, Brasil, 345 p. CDU 551.58:624.

GUNERHAN, H.; HEPBASLI, A. Exergetic modeling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications, Energy and Buildings 39 (2007) 509-516.

HASAN, A. Thermosyphon solar water heaters: Effect of storage tank volume and configuration on efficiency. Energy Conservation and Management, 1997, Vol. 38 (9), pp.847-854.

HAWLADER, M.N.A.; NG, K.C.; CHANDRATILLEKE, T.T.; SHARMA, D.; KELVIN KOAY, H.L. Economic evaluation of a solar water heating system. *Energy Conversion and Management* 27, 1987, pp. 197-204.

HEPBASLI, A. Exergetic modeling and assessment of solar assisted domestic hot water tank integrated ground-source heat pump systems for residences, *Energy and Buildings* 39 (2007) 1211-1217.

HOTTEL, H.C. Fifty years of solar energy research supported by the Cabot Fund. *Solar Energy*, 1989, Vol. 43, Num. 2, pp. 127-128.

INMETRO. Sistemas Solar PBE-Rev. 09. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso Março de 2009.

INMETRO/SOLAR 006/97–Sistema e equipamentos para aquecimento solar de água. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso Março de 2009.

JÓNSSON, G.R.; HOLTSBERG A.; JÓNSSON V.K. (1994). A modelling technique for estimating hot tap water consumption in district heating systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part A – Journal of Power and Energy*, 1993, Vol.208, pp.79-87.

JORDAN, U.; VAJEN, K. Influence of the DHW load profile on the fractional energy savings: a case study of a solar combi-system with TRNSYS simulations. *Solar Energy*, 2000, Vol. 69, pp.197-208.

JOUDI, K.A.; AL-TABBAKH, A.A; Computer simulation of a two-phase thermosyphon solar domestic hot water heating system. *Energy Conversion and Management*, 1999, Vol. 40, pp. 775-793.

KALOGIROU, S.A.; PAPAMARCOU, C. Modelling of thermosyphon solar water heating system and simple model validation. *Renewable Energy*,2000, Vol. 21, pp. 471-493.

KALOGIROU, S.A. Environmental benefits of domestic solar energy systems. *Energy Conversion and Management* 45, 2004, pp. 3075-3092.

KNUDSEN S. (2002). Consumers' influence on the thermal performance of small SDHW systems-theoretical investigations. *Solar Energy*, 2002 Vol.73, pp. 33-42.

LEONELLI, P.A.; POLLIS, H.; SEABRA, D.A.. Análise energética de um sistema de pré-aquecimento solar de água. *Proceedings of Congresso Brasileiro de Energia*, Rio de Janeiro, Brasil, 1996, pp. 293-309.

LOWENSTEIN, A.; HILLER, C.C. Disaggregating residential hot water use. *ASHRAE Transactions*, 1996, Vol.102, pp. 1019-1027.

LOWENSTEIN, A.; HILLER, C.C. Disaggregating residential hot water use –Part II. *ASHRAE Transactions*, 1998, pp. 1852-1863.

MADUREIRA, R.G.; JANUZZI, G.M. Análise econômica da introdução de pré-aquecedores solares nas habitações brasileiras. *Proceedings of Congresso Brasileiro de Energia*, Rio de Janeiro, Brasil, 1996, pp. 1,14.

MATHYAS, A. Energias Renováveis. *Primeiro Plano*. Ano 2, Número 8. Dezembro de 2008.

MEYER J.P.; TSHIMANKINDA, M. Domestic hot water consumption in South-African townhouses. *Energy Conversion and Management*, 1998a, Vol. 39, pp. 679-684.

MEYER, J.P., TSHIMANKINDA, M. Domestic hot water consumption in South-African apartments. *Energy*, 1998b, Vol. 23, pp. 61- 66.

MICHAELIDES, I.M.; WILSON, D.R. Simulation studies of the position of the auxiliary heater in thermosyphon solar water heating systems. *Renewable Energy* , 1997, Vol.10, pp. 35-42.

MIGUEL, A.F. Constructal design of solar energy-based systems for buildings, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1020-1030.

MILANEZ, F.C.S.; MENDONÇA DE SOUZA, M.H.; MESQUITA, A (Tradutores). *Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance* (Tradução do International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and options for Determining Energy

Savings, 2000). Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

MILLER-STEINHAGEN, H. Test report: Thermal performance of solar collector, Acc. to EN 12795 - 2. 2001, n. 02COL273, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart, Alemanha, 2002.

MILLS, D. Assessing hot water system performance with GIS. Solar Energy, 2004, Vol. 76, pp. 153-157.

Ministério de Ciência e Tecnologia do Brasil. Fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil. Obtenção de toneladas de CO₂ do Grid. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Consulta em Agosto de 2008.

MORAES, P.M.S.D; PERIN, A.J. Controle eletrônico de temperatura de chuveiros elétricos. Relatório Final do Programa PBIC. Projeto INEP 40.559 – Instituto de Eletrônica de Potência da UFSC. Florianópolis, Brasil, 2000.

NAHAR, N.M. Year round performance and potential of a natural circulation type of solar water heater in India. Energy and Buildings, 2003, Vol. 35, pp. 239-247.

NGUYEN, B.T.; PRYOR, T.L. Feasibility of solar hot water systems in Vietnam. Renewable Energy, 1998, Vol. 13 (4), pp. 415-417.

NBR 10184/88 - Coletores solares planos líquidos. Determinação do rendimento térmico. Revisado em Agosto de 2006.

NBR 10185/88 - Reservatório térmico para líquidos destinados a sistema de energia solar. Determinação de desempenho térmico.

OLIVA, G. A; BORGES, T.P.F.; MARTINS, G. Desenvolvimento de tecnologia de pré-aquecedor solar de água para chuveiros elétricos de potência reduzida. Proceedings of XII SENDI – Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Recife, Brasil, 1994.

OLIVA, G.A. Utilização de Aquecedores Solares de Baixo Custo em Programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda - GLD. Proceedings

of XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 1999, pp. 1825-1832.

OLIVA, G.A.; BORGES, T.P.F. Teste de campo piloto com pré-aquecedor solar de água para chuveiros elétricos de potência reduzida. Proceedings of the VII Congresso Brasileiro de Energia, II Seminário Latino Americano de Energia, Rio de Janeiro, 1996, pp. 2087-2102.

OLIVEIRA, R.H.; KASSICK, E.V. Chuveiros Elétricos com Controle Eletrônico de Temperatura: Impactos no Sistema Elétrico. Relatório INEP-Instituto de Eletrônica de Potência da UFSC, Florianópolis, Brasil, 2008.

ORNSTEIN, S.W. A avaliação da habitação auto-gerida no terceiro mundo. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1998, 175 p.

PAPAKOSTAS, K.T.; PAPAGEORGIOU, N.E.; SOTIROPOULOS B.A. Residential hot water use patterns in Greece. Solar Energy, 1995, Vol. 54, pp. 369-374.

PANTELIOU, S.; DENTSORAS, A.; DASKALOPOULOS, E. Use of expert systems for selection and the design of solar domestic hot water systems. Solar Energy, 1996, Vol. 57 (1), pp. 1-8.

PARKER, G.J. The performance of a solar water heating system in a dwelling in Christchurch, New Zealand. Solar Energy, 1981, Vol. 26, pp. 189-197.

PEDRO, J.A.C.B.O. Definição e Avaliação da Qualidade Arquitetônica Habitacional. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitectura, Universidade do Porto, Lisboa, 2000, 372 p.

PEREIRA, E.M.D.; DUARTE, L.O.M.; PEREIRA, L.T.; FARIA, C.F.C. Energia Solar térmica. Fontes renováveis de energia no Brasil. Interciência – Cenergia, Rio de Janeiro, 2003, pp.239-280.

PEREIRA, E.M.D.; MESQUITA, L.C.S.; NETO, L.V.M.; ROCHA, J.M.G.; PEREIRA, L.T.; BUONICONTRO, L.M.S.; AREGUY, E.; CUNHA, D.A. (2003a). Solar Water Heating for Social Housing Projects in Brazil: The

Sapucaias Case. Proceeding of the SESCO 2003 - Conference Queen's University Kingston, Ontário, Canadá, 2003, pp. 18-20.

PEREIRA, E.M.D.; RIBEIRO, M.A.; GONÇALVES, W.B.; MESQUITA, L.C.S.; NEVES, S.D.O. (2003b). Solar water heating for social projects in Brazil. Proceeding of the Canadian Solar Energy Conference – SESCO 2003, Ontario, Canadá, 2003.

PEREIRA, E.M.D.; MESQUITA, L.C.S.; RIBEIRO, M.A.; GONÇALVES, W.B.; NEVES, S.D.O. (2004a). Solar water heaters for social housing projects in Brazil. Proceeding of the Solar Conference, Portland, 2004.

PEREIRA, E.M.D.; MESQUITA, L.C.S.; ROCHA, J.M.G.; SILVA, M.J.; PEREIRA, D.D.; SCHIRM, R.; DINIZ, A.S.C. (2004b). The Brazilian testing program for solar water heating equipment. Proceeding of the Eurosun 2004, Freiburg, Alemanha, 2004, pp.557-565.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE (2006) ISBN 9788517000300.

PEREIRA, E.B.; SILVA, S.A.B.; ABREU, S.L.; COLLE, S. Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment, Energy Policy 36 (2008) 2853-2864.

PILLAI, I.R.; BANERJEE, R., 2007. Methodology for estimation of potential for solar water heating in a target area. Solar Energy, 2007. Vol.81 (2), pp.162-172.

PINTO, C.P. Avaliação de ciclo de vida como instrumento de planejamento energético: metodologia e estudo de caso de pré – aquecedores solares. Proceedings III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, São Paulo, Brasil, 1998, pp. 1-7.

PRADO, R.T.A; GONSALVEZ, O.M. Water heating through electric shower and energy demand. Energy and Buildings, 1998. Vol 29, pp. 77-82.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. Documento de Apoio Técnico n° E1: Caracterização e Monitoramento do Consumo Predial de

Água. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria Nacional de Política Urbana. Brasília, 1998.

ROSA, L.P.; LOMARDO, L.L.B. The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation. *Energy and Buildings* 36, 2004, pp. 89-95.

REDDY, B.S. Electrical vs solar water heater: a case study. *Energy Conversion and Management* 36, 1995, pp.1097-1106.

SALAZAR, J.P.L.C.; ABREU, S.L.; BORGES, T.P.F.; COLLE, S.; REGUSE, W. Optimization of a compact solar domestic hot water system for low-income families with peak demand and total cost constraints. *Proceedings of ISES- International Solar Energy Society. Solar World Congress, Gotemburgo, Suécia, 2003*, pp. 1048-1057.

SALAZAR, J.P.L.C. Economia de Energia e Redução do Pico da Curva de Demanda para Consumidores de Baixa Renda por Agregação de Energia Solar Térmica. *Dissertação de Mestrado. UFSC, EMC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2004*.

SALAZAR, J.P.L.C.; ABREU, S.L.; BORGES, T.F.P.; COLLE, S.; REGUSE, W. Otimização de um sistema de aquecimento solar compacto para população de baixa renda com restrições de custo e de demanda. *Proceedings of Congresso de Ar Condicionado e Ventilação do MERCOSUL – MERCOFRIO 2004, Curitiba, Paraná, Brasil, 2004*, pp. 524-533.

SALAZAR, J.P.L.C.; ABREU, S.L.; COLLE, S. Energy conservation and electric energy peak reduction potential during peak hours for a group of low-income residential consumers of a Brazilian utility. *Proceedings of Solar World Congress- ISES 2005, Orlando, USA, 2005*, pp. 987-992.

SIDIRAS, D.K.; KOUKIOS, E.G. The effect of payback time on solar hot water systems diffusion: the case of Greece. *Energy Conversion and Management* 46, 2005, pp. 269-280.

Solar Thermal Markets in Europe – Trends and Market Statistics 2011. European Solar Thermal Industry Federation – ESTIF. Disponível em: <<http://www.estif.org>>. Consulta em Maio de 2012.

Solares. Produtos. Disponível em: <<http://www.solares-online.com.br>>. Consulta em 2009.

SOUZA RAMOS, M.O.; VITAL BRAZIL, O.A. Apropriação de energia térmica solar pela população de baixa renda no Brasil. Proceedings of V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - V CBPE, Brasília, Brasil, 2006, pp. 1-12.

SOWMY, D.S.; PRADO, R.T.A. Assessment of energy efficiency in electric storage water heaters. *Energy and Buildings* 40, 2008, pp. 2128-2008.

TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N.; MOSZKOWICS, M.; CAVALCANTI, E.S.C.; LYRA, F.J.M.; NOGUEIRA, A.M.B.; GROSSI, H.G. Atlas Solarimétrico do Brasil - Banco de Dados Terrestres. Editora Universitária da UFPE, Recife, 2000. 111 p.

THUR, A.; FURBO, S., SHAH, L.J., 2006. Energy savings for solar heatings systems. *Solar Energy*, 2006. Vol. 80 (11), pp. 1463-1474.

TSILINGIRIS, P.T. Towards making solar water heating technology feasible – the polymer solar collector approach. *Energy Conversion and Management* 40, 1999, pp. 1237-1250.

TULLY, N. The influence of electrical backup element size on the performance of a solar thermosyphon DHW system. *Energy*, 1995, Vol. 20 (3), pp. 209-217.

United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC. Tool to calculate the emission factor for an electricity system. Methodological tool. CDM Executive Board, Anexo 12. EB35 Report. Disponível em: <<http://www.unfccc.com>>. Consulta em Agosto de 2008.

VINE, E.; DIAMOND, R.; SZYDLOWSKI, R. Domestic hot water consupntion in four low-income apartament. *Energy* 12, 1987, pp. 459-467.

VOIVONTAS, D.; TSILIGIRIDIS, G.; ASSIMACOPOULOS, D. Solar potential for water heating explored by GIS. *Solar Energy*, 1998. Vol. 62 (6), pp. 419-427.

WENXIAN, L.; ENRONG, L.; DONGCHENG, W. The solar water heating system with natural circulation assisted by an auxiliary electric heater-performance modelling. *Energy Conversion and Management* 31, 1991, pp. 409-418.

WILLIAMS, N. Private sector initiative: The solar electric light fund. *Renewable Energy*, 1997, Vol. 10, Num. 213, pp.119-124.

XI, C.; LIN, L.; HONGXING, Y. Long term operation of a solar assisted ground coupled heat pump system for space heating and domestic hot water, *Energy and Buildings* 43 (2011) 1835-1844.

ZHAI, X.Q.; WANG, R.Z.; DAI, Y.J.; WU, J.Y.; XU, Y.X.; MA, Q. Solar integrated energy system for a green building. *Energy and Buildings*, 2007, Vol. 39, pp. 985-993.

APÊNDICE A – ARTIGOS ORIUNDOS DO TRABALHO DE PESQUISA, PUBLICADOS E/OU SUBMETIDOS A PERIÓDICOS E CONGRESSOS ATÉ A PRESENTE DATA

*Naspolini, H.F., Rüther, R. Assessing the technical and economic viability of low-cost domestic solar hot water systems (DSHWS) in low-income residential dwellings in Brazil. *Renewable Energy*, doi: 10.1016/j.renene.2012.04.046, no prelo, 2012.

*Naspolini, H.F., Rüther, R. The impacts of solar water heating in low-income households on the distribution utility's active, reactive and apparent power demands. *Solar Energy*, Vol. 85, 2011, pp. 2023-2032.

*Naspolini, H.F., Militão, H.S.G., Rüther, R. The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil. *Energy Conversion and Management*, Vol. 51 (12), 2010, pp. 2835-2845.

Naspolini, H.F., Rüther, R. Redução da demanda no horário de ponta proporcionada pelo preaquecimento solar da água para o banho. *Revista Brasileira de Energia Solar*, Ano II, Vol. 2, 2011, pp.138-148, ISSN 2178-9606.

Naspolini, H.F., Militão, H.S.G., Cordini, J., Rüther, R. Avaliação do potencial da agregação da energia solar térmica para fins de aquecimento da água para o banho humano em núcleos habitacionais de baixa renda. *Revista Brasileira de Energia Solar*, Ano I, Vol. 1, 2010, pp.100-107, ISSN 2178-9606.

Naspolini, H.F., Rüther, R. Análise da viabilidade técnica e econômica da agregação da energia solar térmica ao banho na habitação popular. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES, São Paulo, 2012. Artigo submetido para publicação em 12/03/2012.

Naspolini, H.F., Rüther, R. Agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho: Impactos sobre a demanda de potência ativa, reativa e aparente. *Proceedings of III Congresso Brasileiro de Energia*

Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES, Belém, Brasil, 2010, pp. 1-11.

Naspolini, H.F., Militão, H.S.G., Cordini, J., Rütther, R. Avaliação do potencial da agregação da energia solar térmica para fins de aquecimento da água para o banho humano em núcleos habitacionais de baixa renda. Proceedings of II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES. Florianópolis, Brasil, 2008, pp.745-754.

*Atendendo ao requisito de publicação (de pelo menos um artigo em Periódico Internacional Qualis A) do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil para a obtenção do título de Doutor.

A Fig. B1 ilustra, para o banho quente analisado, a partir dos dados apresentados na Tab. B1, a demanda ativa (D) registrada pelo medidor de energia elétrica, em intervalos de 5 minutos, a estimativa da potência ativa instantânea $P(\alpha)$ e da duração do banho quente, em intervalos de 5 minutos, a energia elétrica consumida com o banho e, a estimativa da duração do banho quente (t).

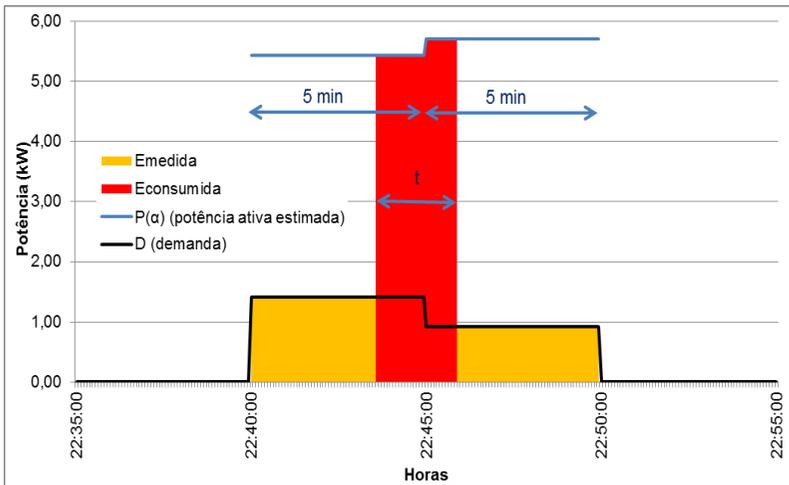


Figura B1 – Demanda ativa registrada pelo medidor de energia elétrica, em intervalos de 5 minutos, a estimativa da potência ativa instantânea $P(\alpha)$ e da duração do banho quente, em intervalos de 5 minutos, energia elétrica consumida com o banho e, estimativa da duração do banho quente (t).

Os resultados mostram, para o banho analisado, duração de 2,34 minutos.

APÊNDICE C – CURVAS DE IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA DIÁRIA E TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA EM FLORIANÓPOLIS

Figura C1 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Janeiro de 2004.....	174
Figura C2 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Fevereiro de 2004.....	175
Figura C3 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Março de 2004.....	176
Figura C4 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Abril de 2004.....	147
Figura C5 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Maio de 2004.....	1478
Figura C6 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Junho de 2004.....	14779
Figura C7 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Julho de 2004.....	180
Figura C8 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Agosto de 2004.....	147
Figura C9 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Setembro de 2004.....	147
Figura C10 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Outubro de 2004.....	147
Figura C11 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Novembro de 2004.....	147
Figura C12 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Dezembro de 2004.....	147

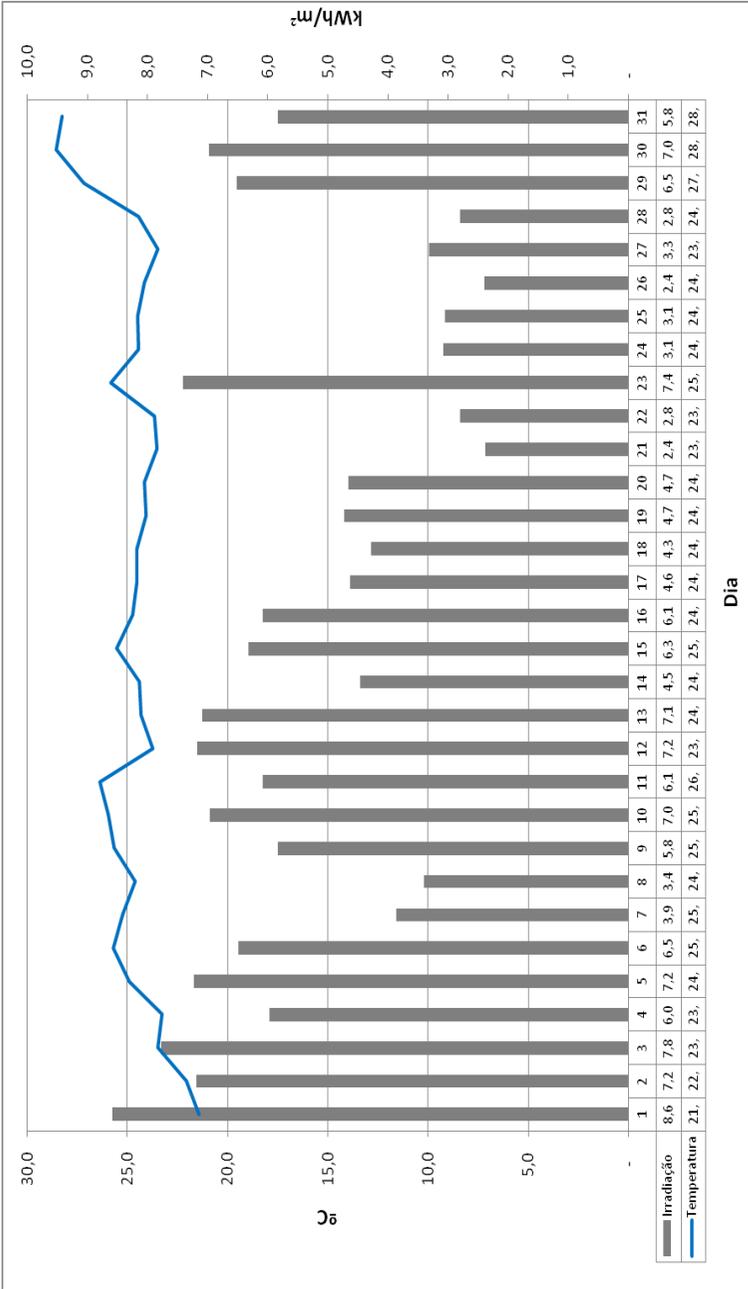


Figura C1 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Janeiro de 2004

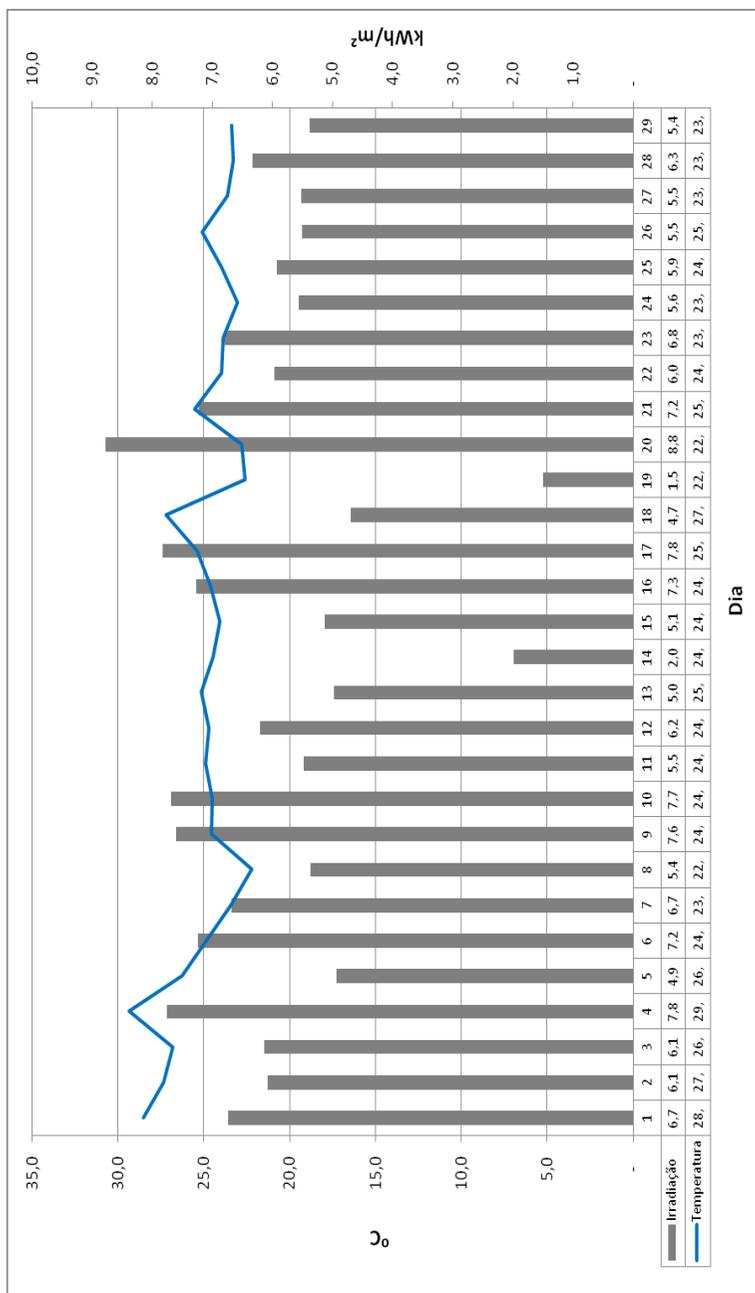


Figura C2 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Fevereiro de 2004

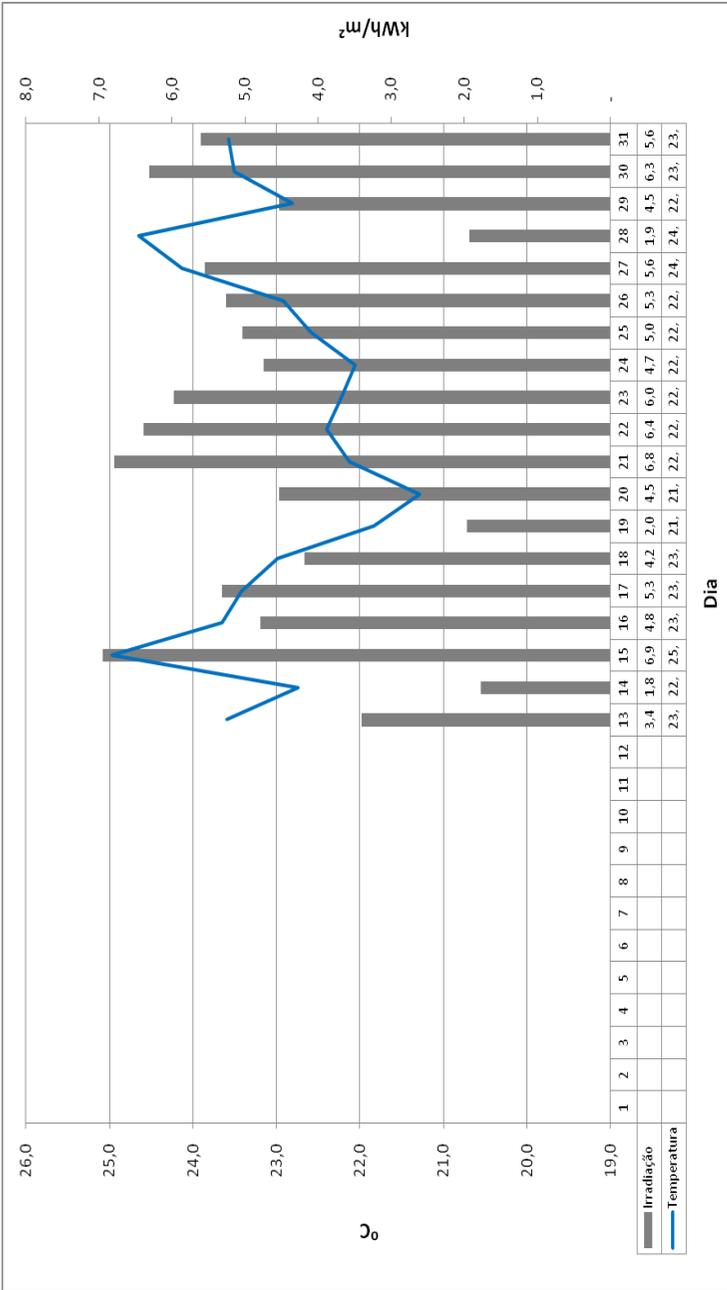


Figura C3 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Março de 2004

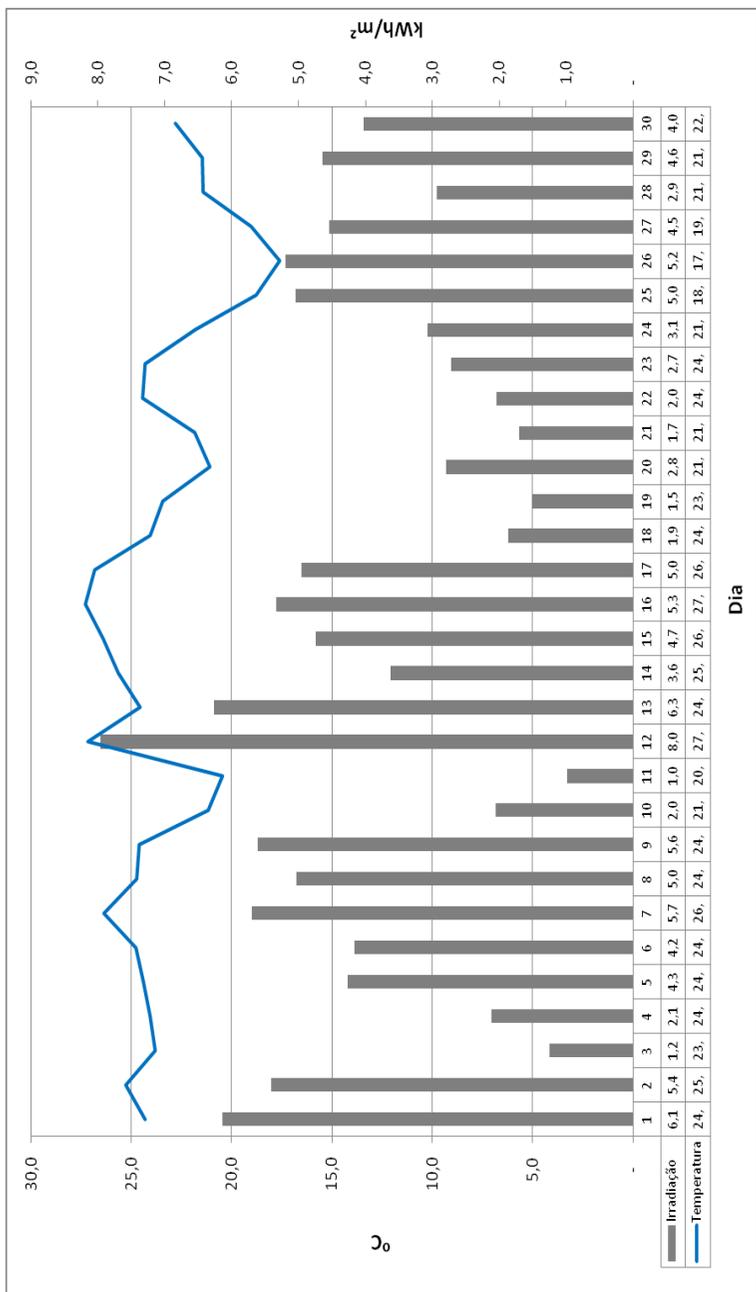


Figura C4 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Abril de 2004

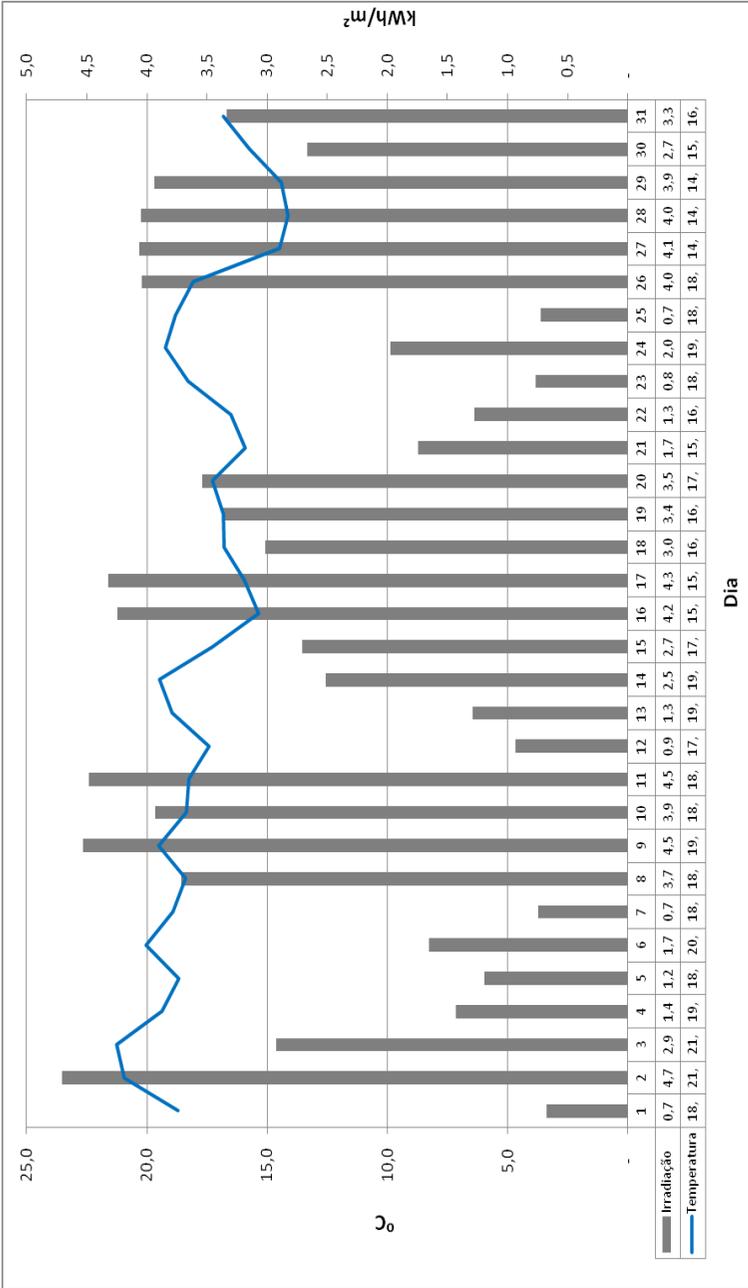


Figura C5 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Maio de 2004

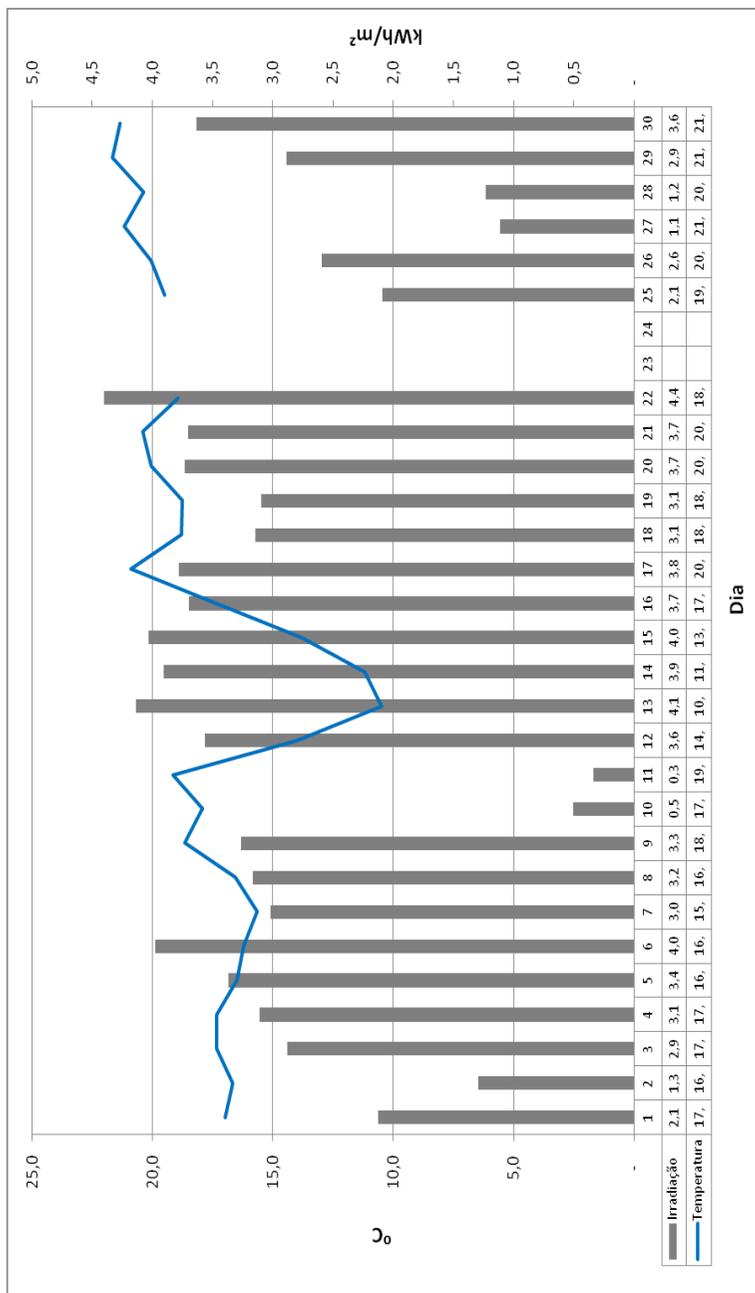


Figura C6 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Junho de 2004

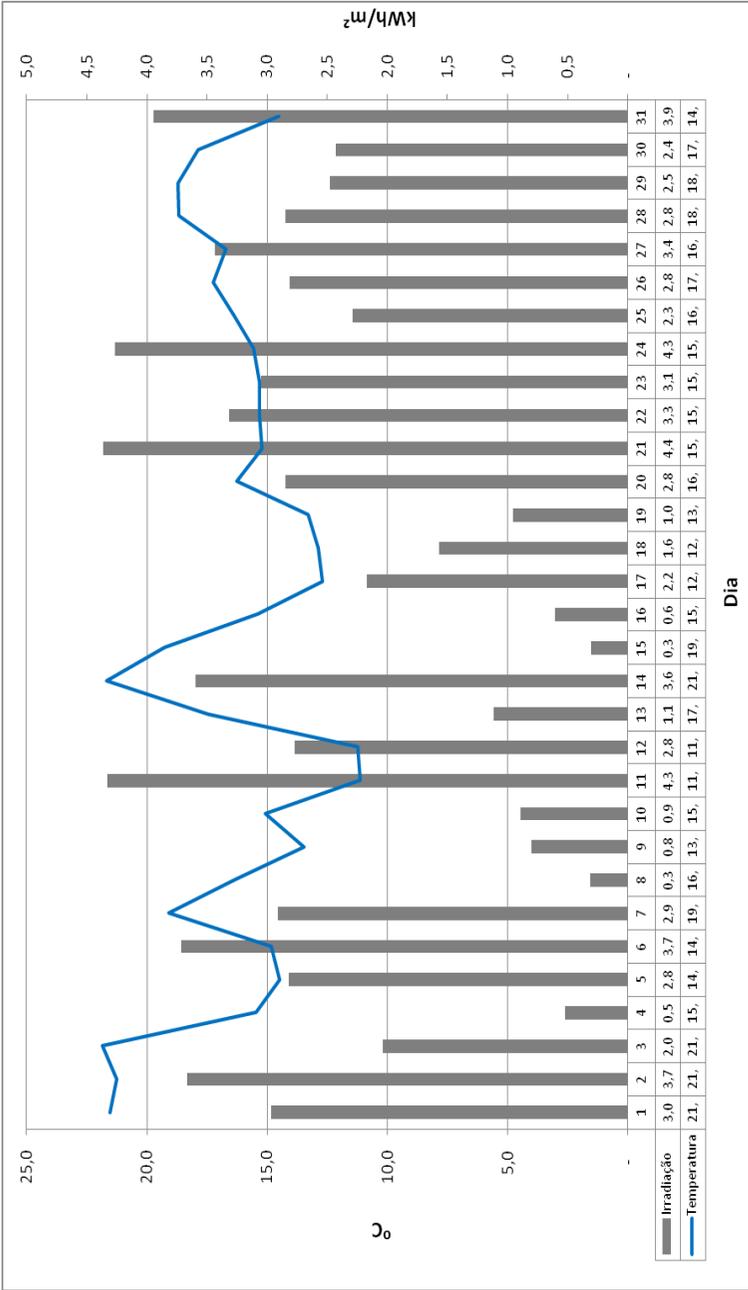


Figura C7 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Julho de 2004

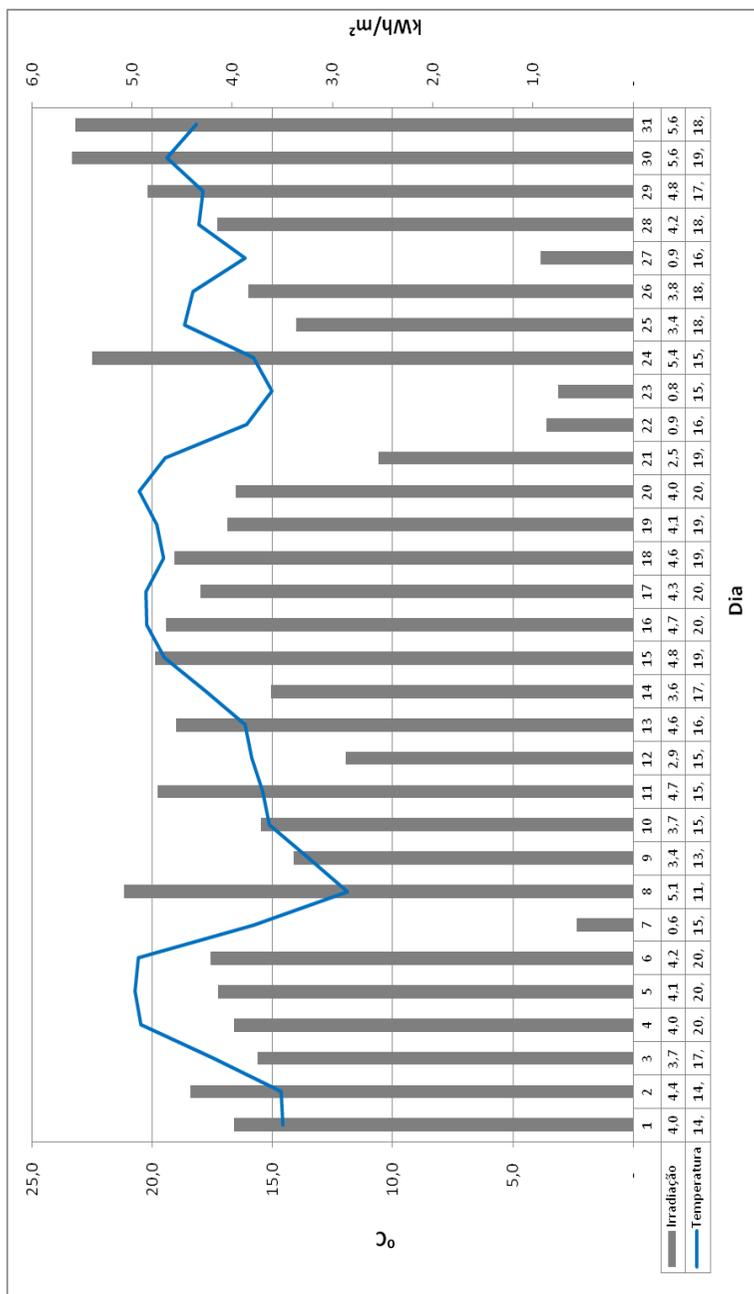


Figura C8 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Agosto de 2004

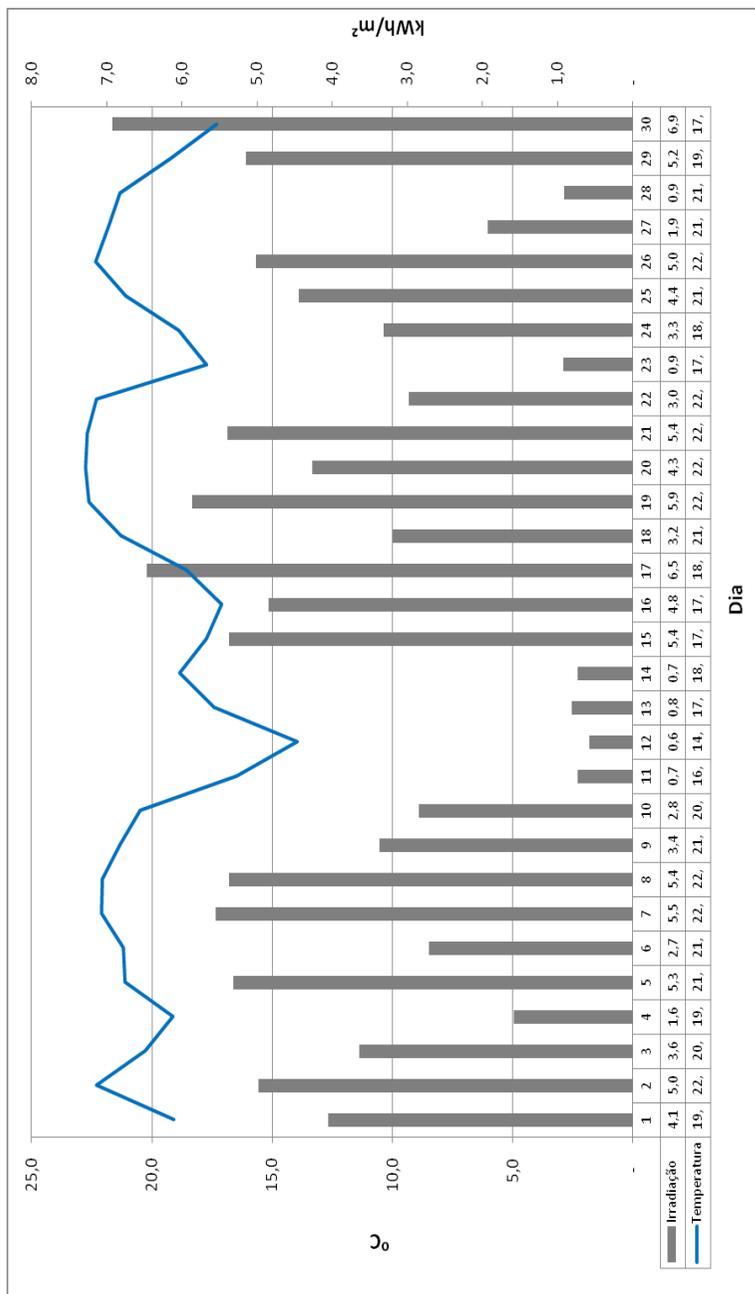


Figura C9 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Setembro de 2004

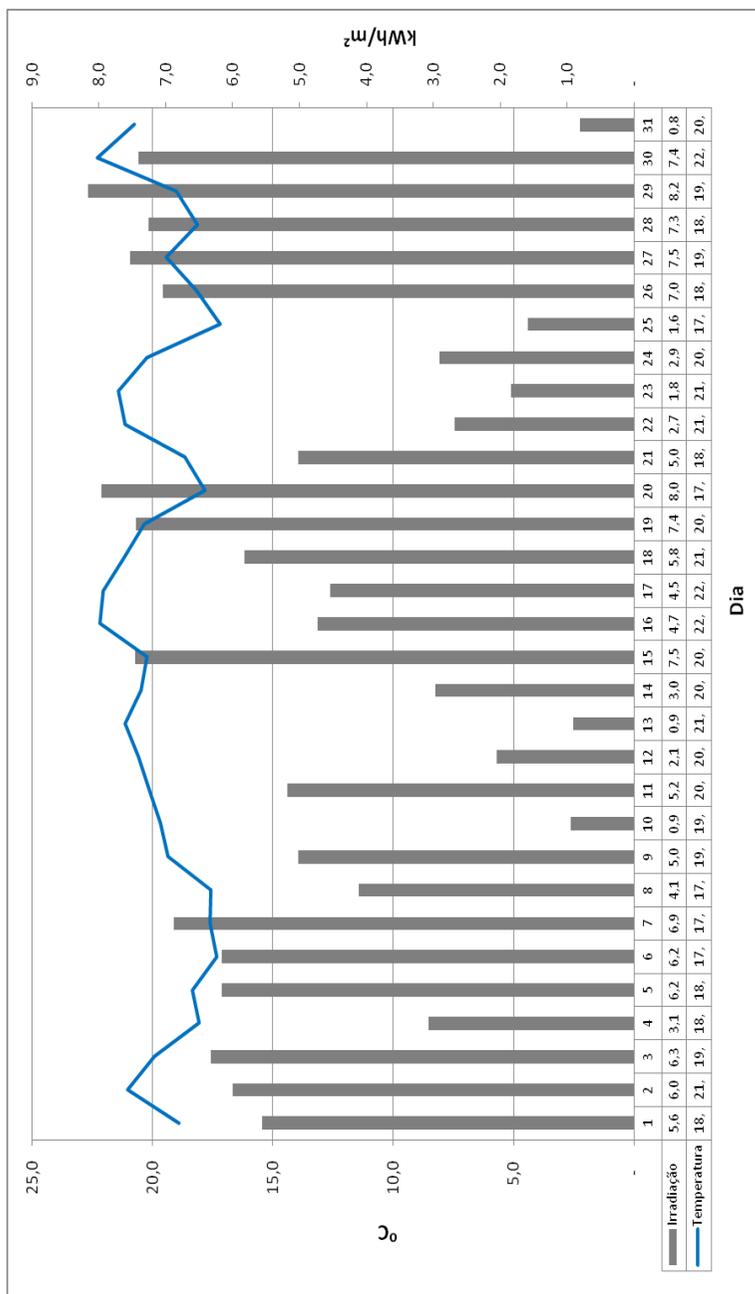


Figura C10 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Outubro de 2004

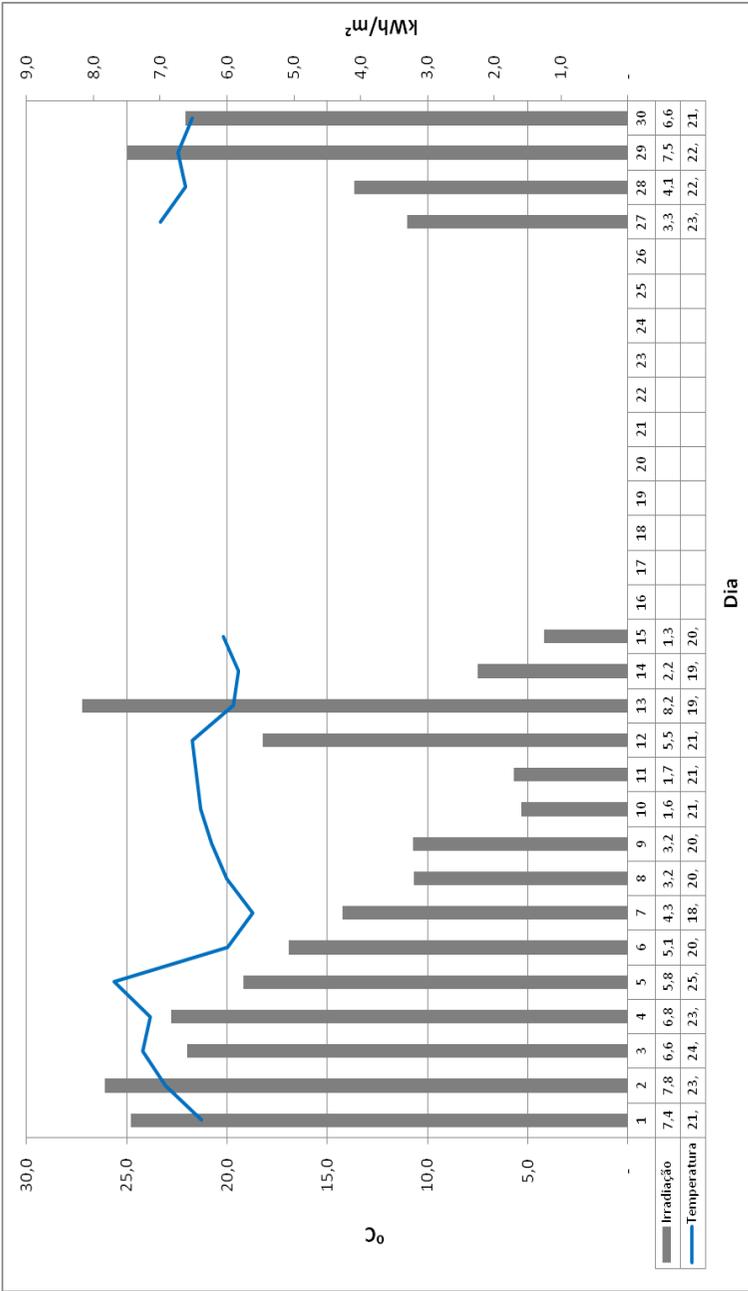


Figura C11 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Novembro de 2004

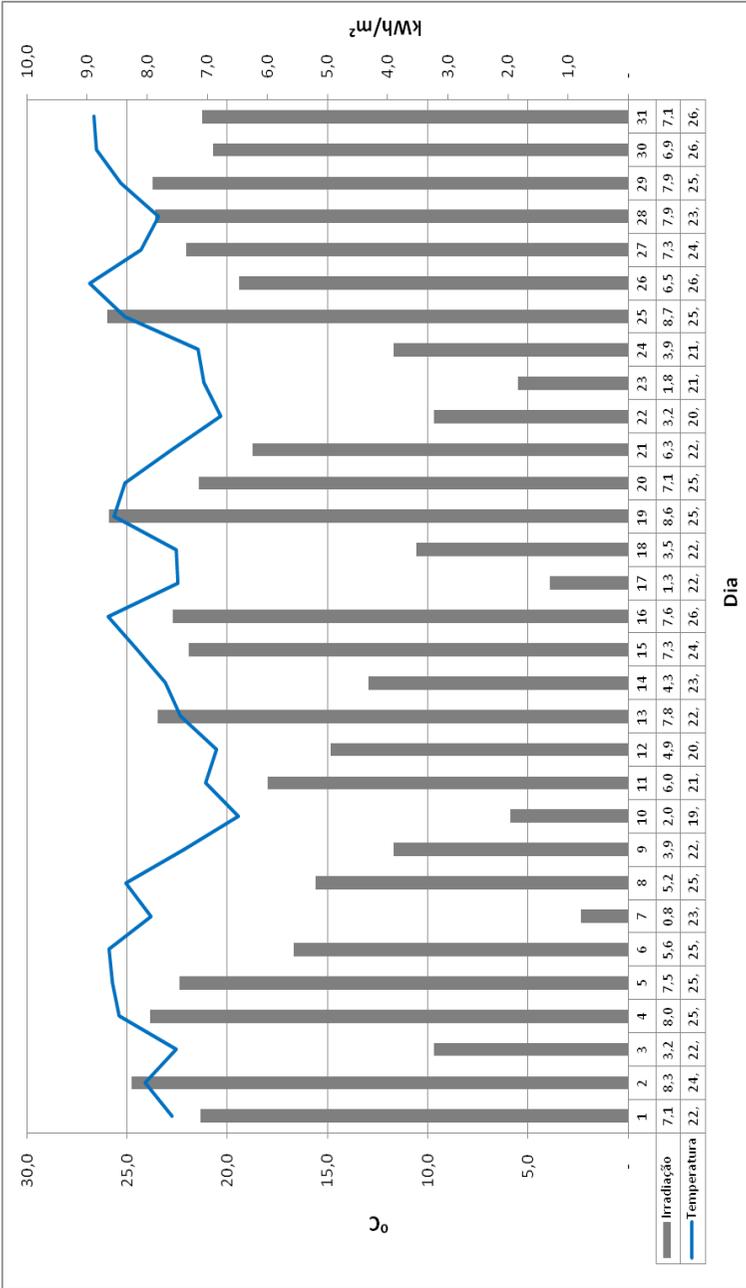


Figura C12 – Evolução diária da irradiação solar e da temperatura média diária – Dezembro de 2004

APÊNDICE D – CURVAS MENSAIS DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NO BANHO E DA ENERGIA ECONOMIZADA

Figura D1 – Evolução horária da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Janeiro de 2004	147
Figura D2 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Janeiro de 2004	147
Figura D3 – Evolução horária da energia elétrica consumida no banho e energia economizada–Fevereiro de 2004	147
Figura D4 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Fevereiro de 2004.....	147
Figura D5 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Março de 2004.....	147
Figura D6 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Março de 2004	147
Figura D7 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Abril de 2004	147
Figura D8 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Abril de 2004	147
Figura D9 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Maio de 2004	147
Figura D10 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Maio de 2004	147
Figura D11 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – junho de 2004	147
Figura D12 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Junho de 2004	147
Figura D13 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Julho de 2004.....	147
Figura D14 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Julho de 2004	147
Figura D15 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Agosto de 2004.....	147
Figura D16 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Agosto de 2004	147

Figura D17 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Setembro de 2004	147
Figura D18 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Setembro de 2004.....	147
Figura D19 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Outubro de 2004	147
Figura D20 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Outubro de 2004.....	147
Figura D21 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Novembro de 2004.....	147
Figura D22 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Novembro de 2004.....	147
Figura D23 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Dezembro de 2004	147
Figura D24 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Dezembro de 2004.....	147

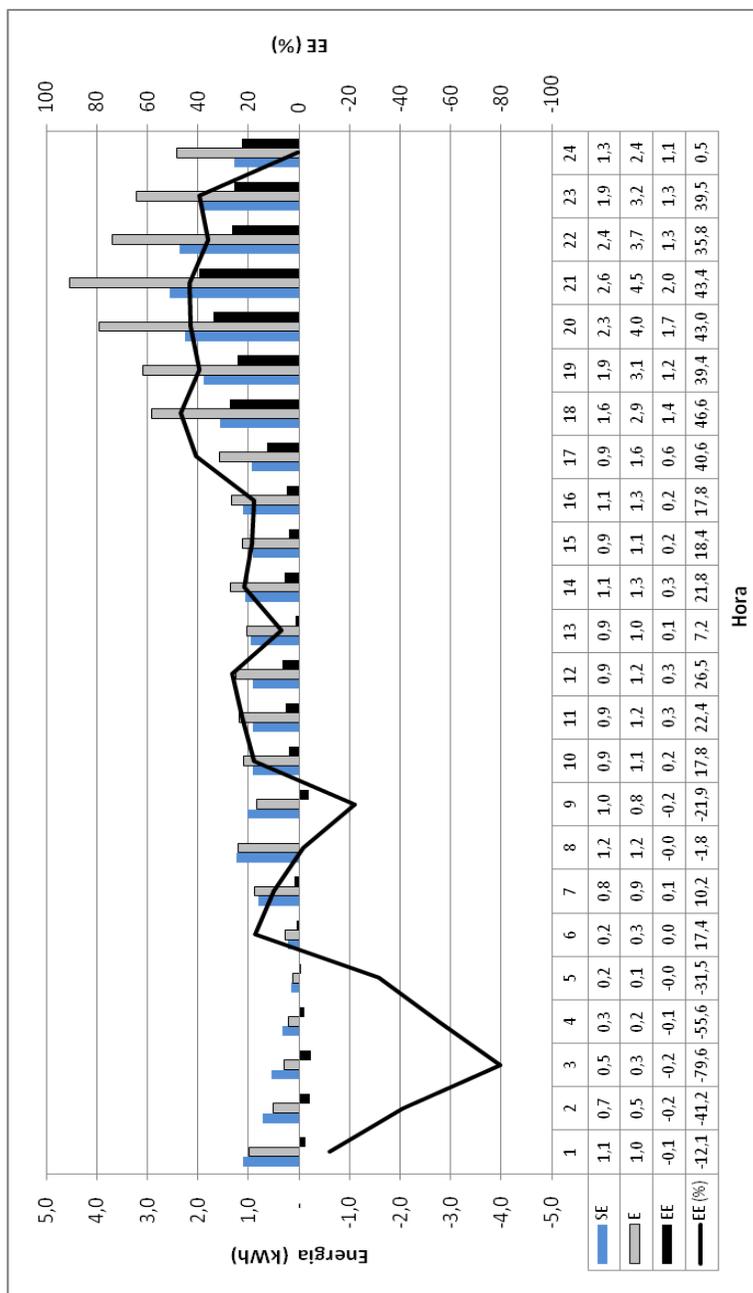


Figura D1 – Evolução horária da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Janeiro de 2004

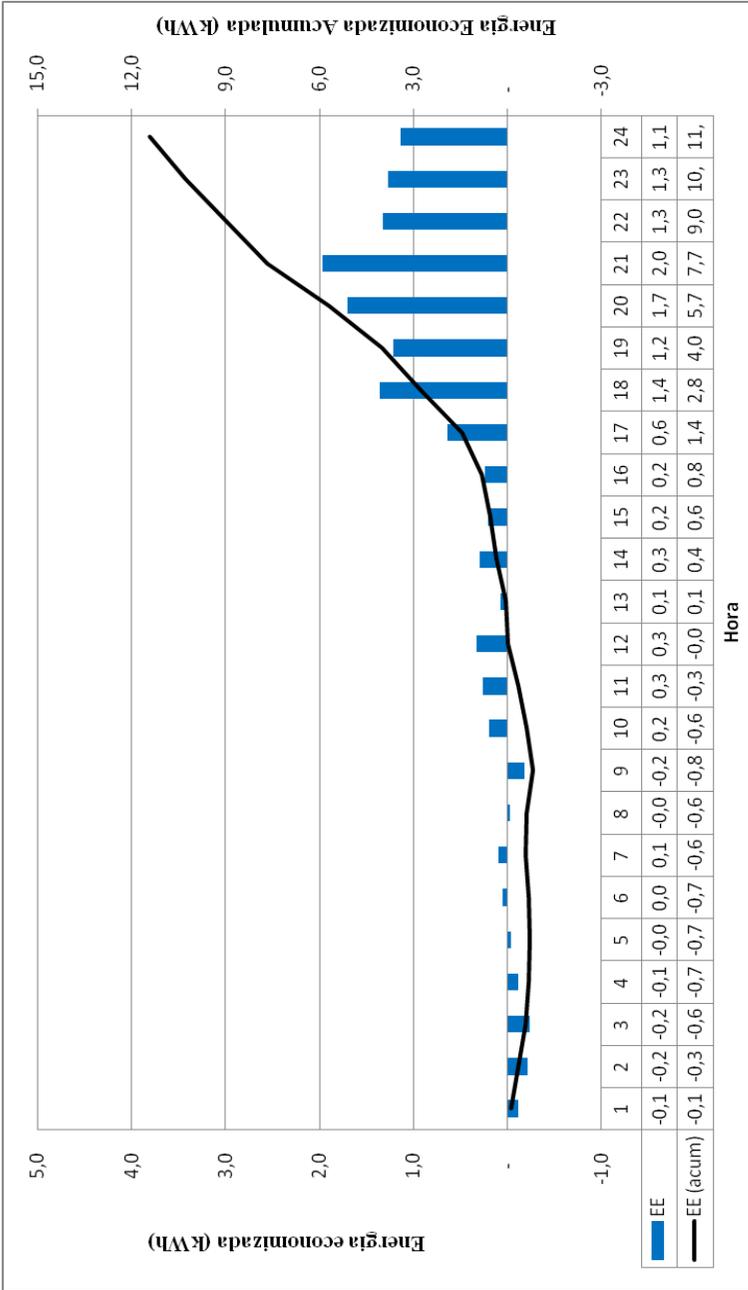


Figura D2 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada – Janeiro de 2004

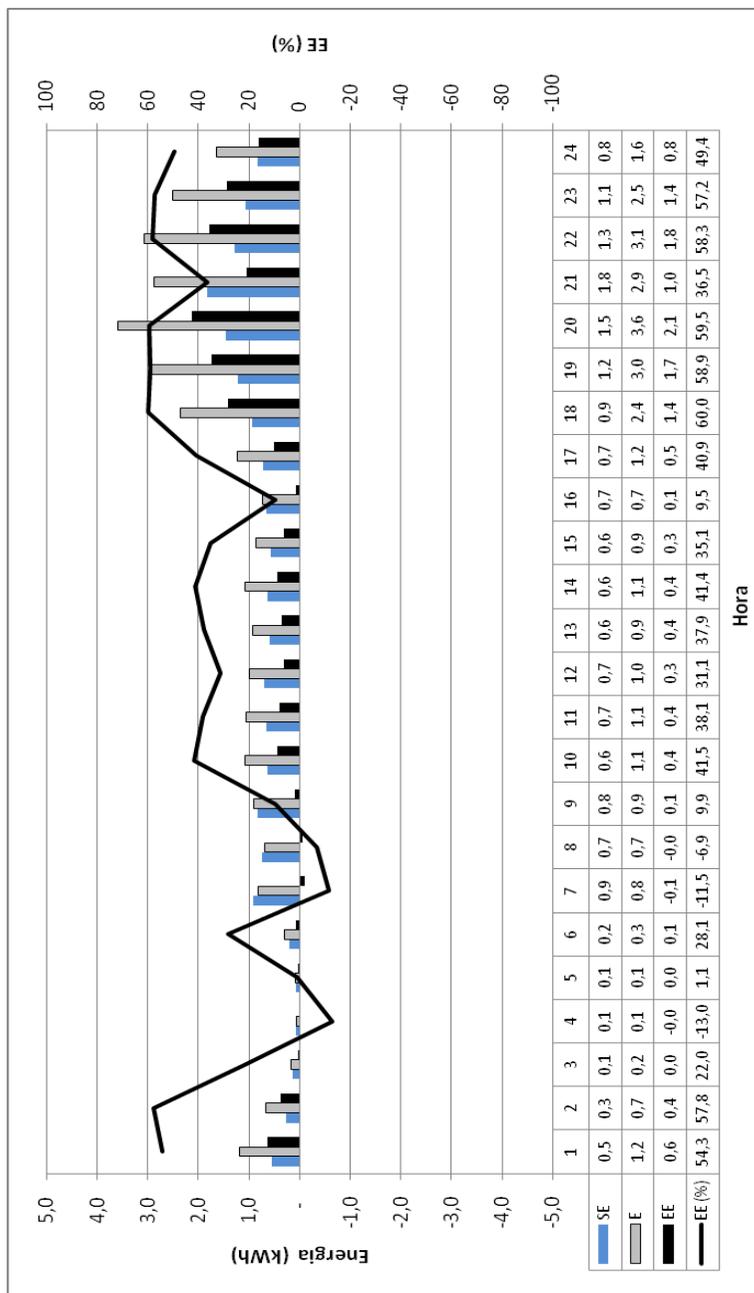


Figura D3 – Evolução horária da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Fevereiro de 2004

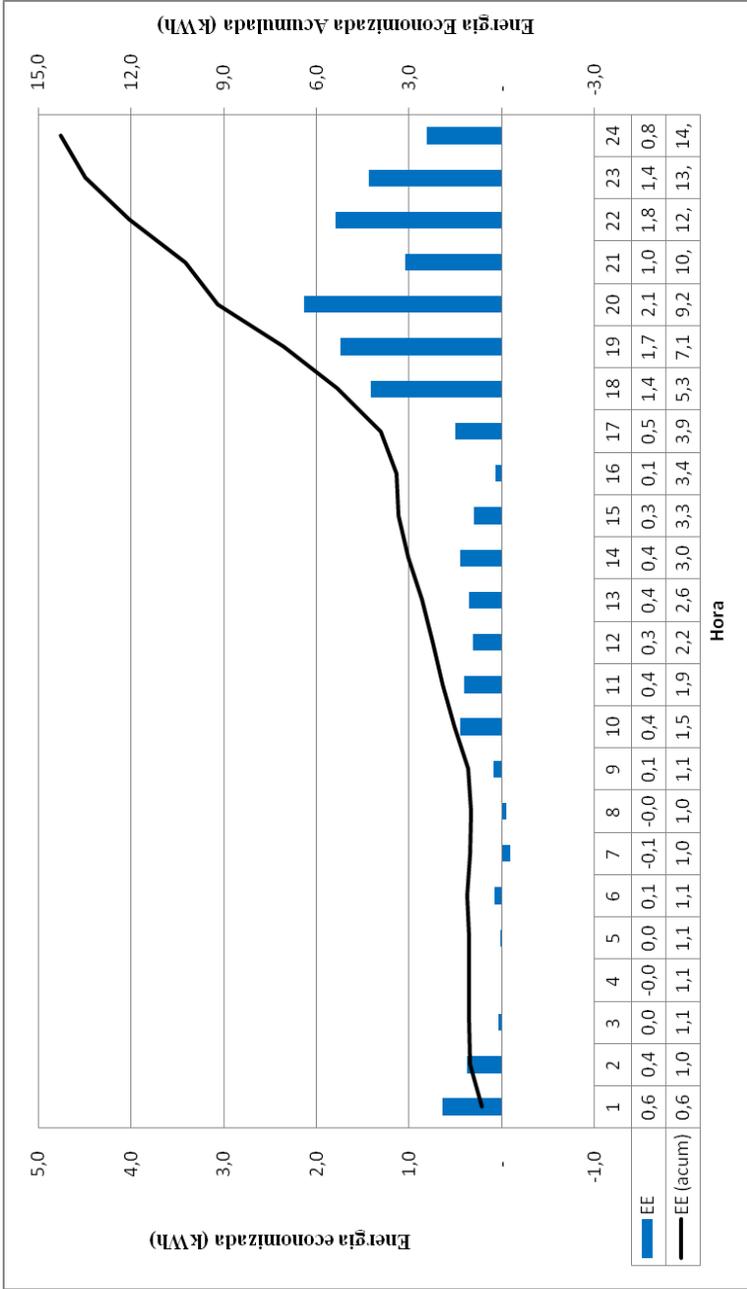


Figura D4 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada - Fevereiro de 2004

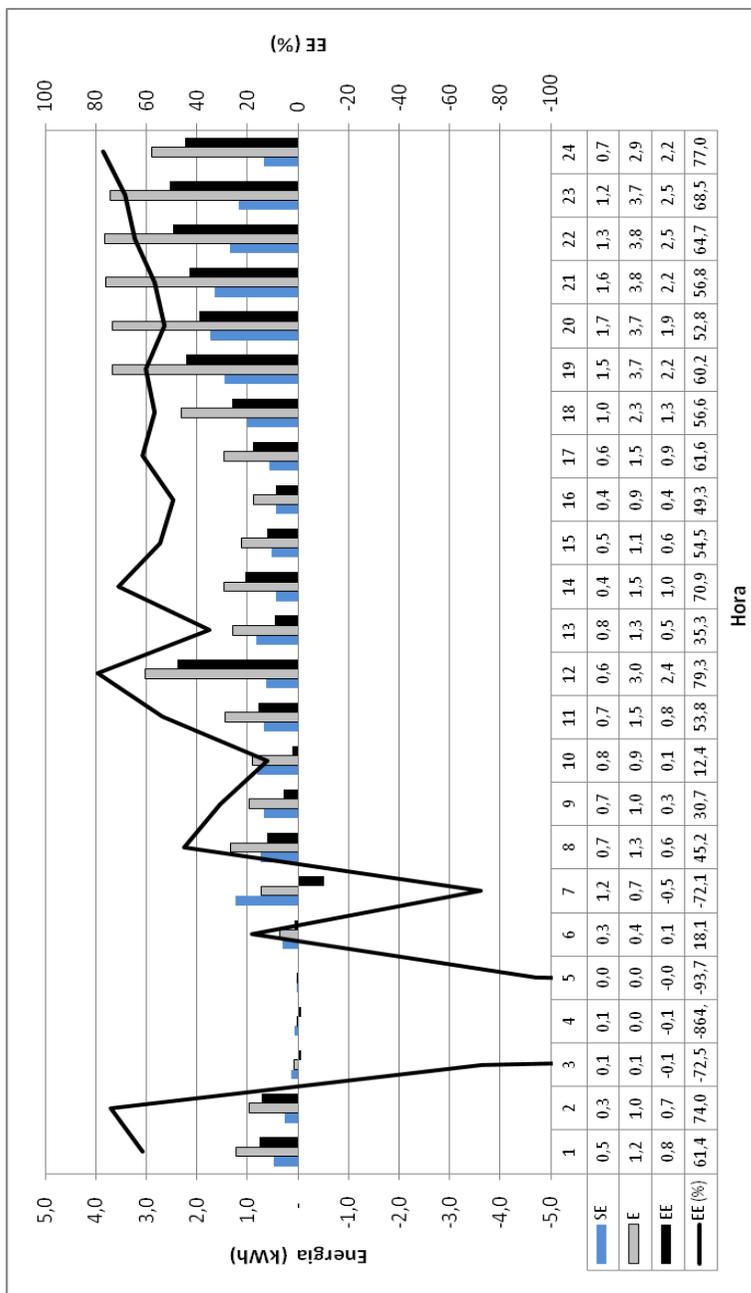


Figura D5 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada –
Março de 2004

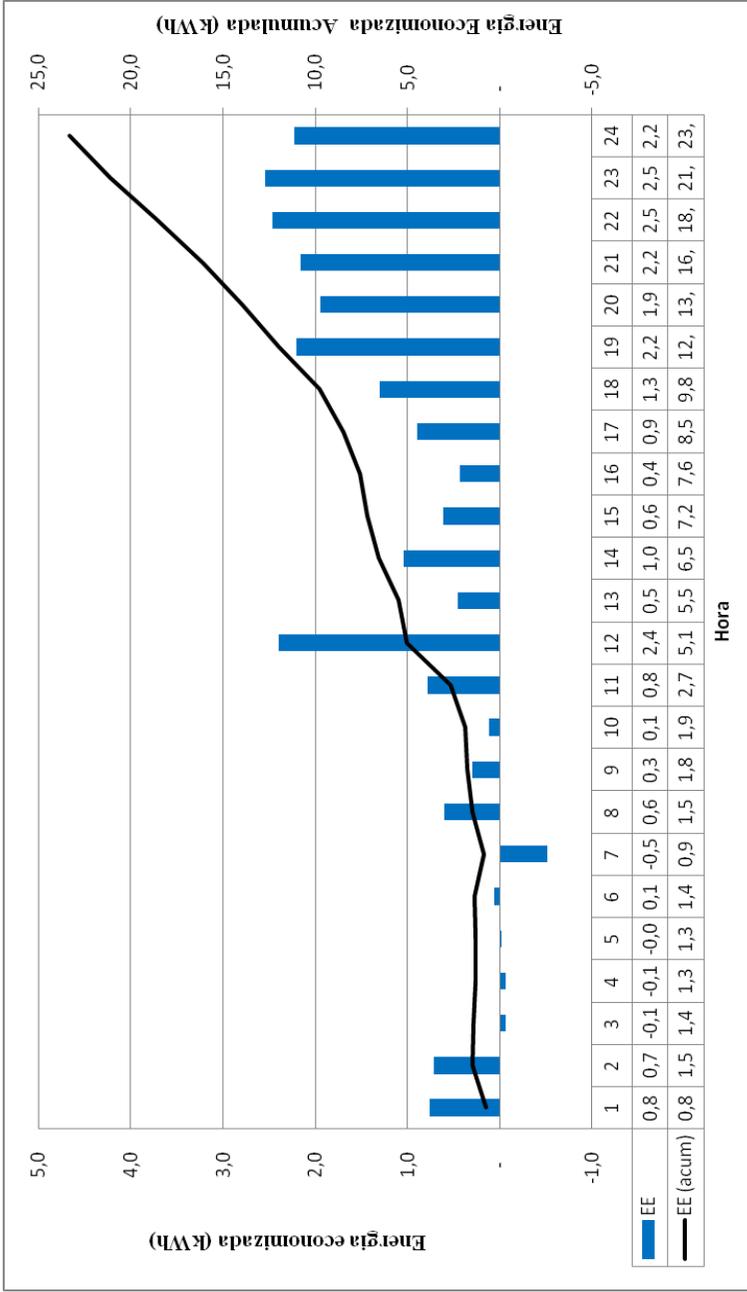


Figura D6 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada – Março de 2004

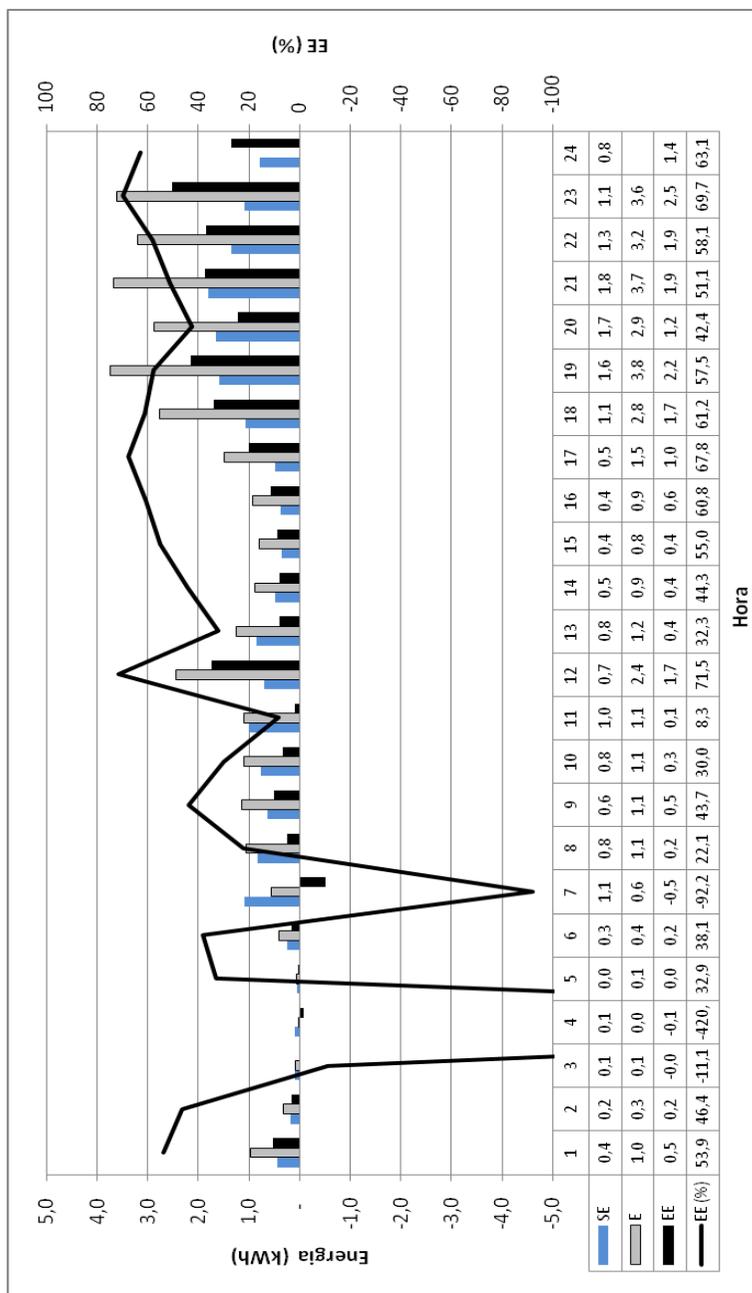


Figura D7 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada –
Abril de 2004

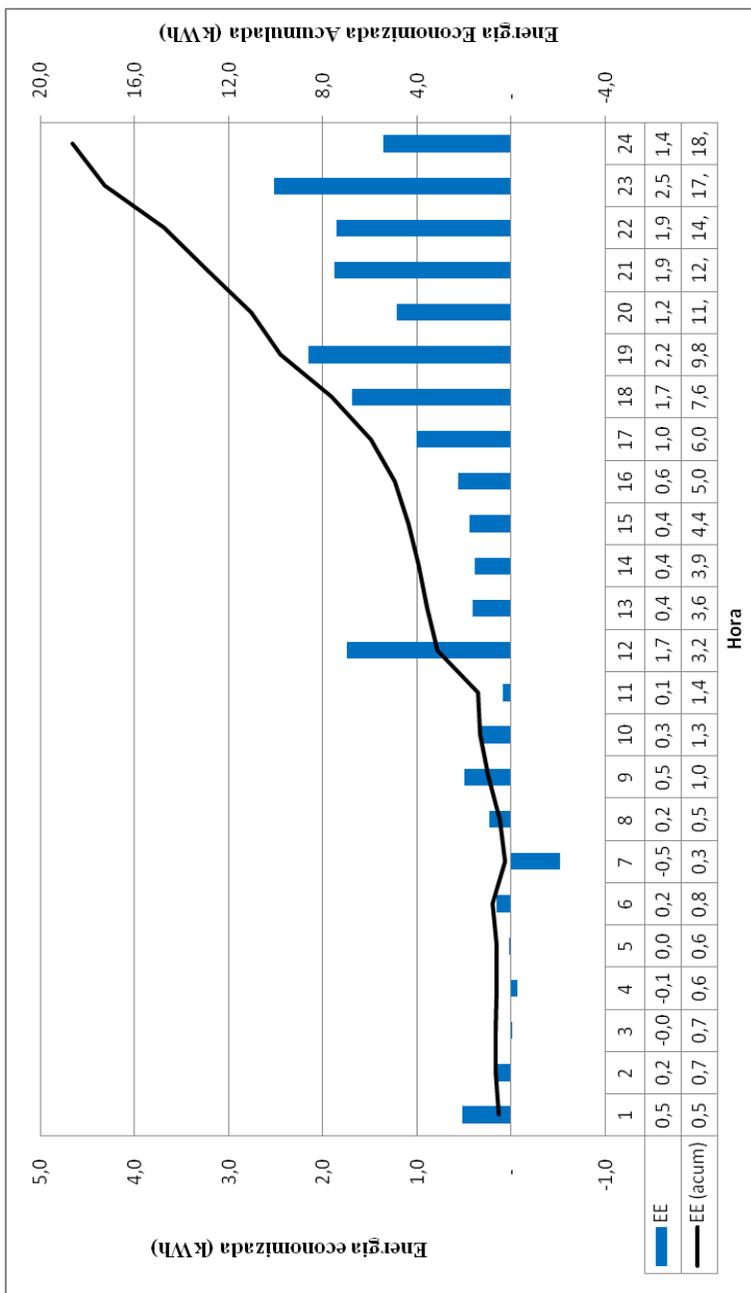


Figura D8 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada – Abril de 2004

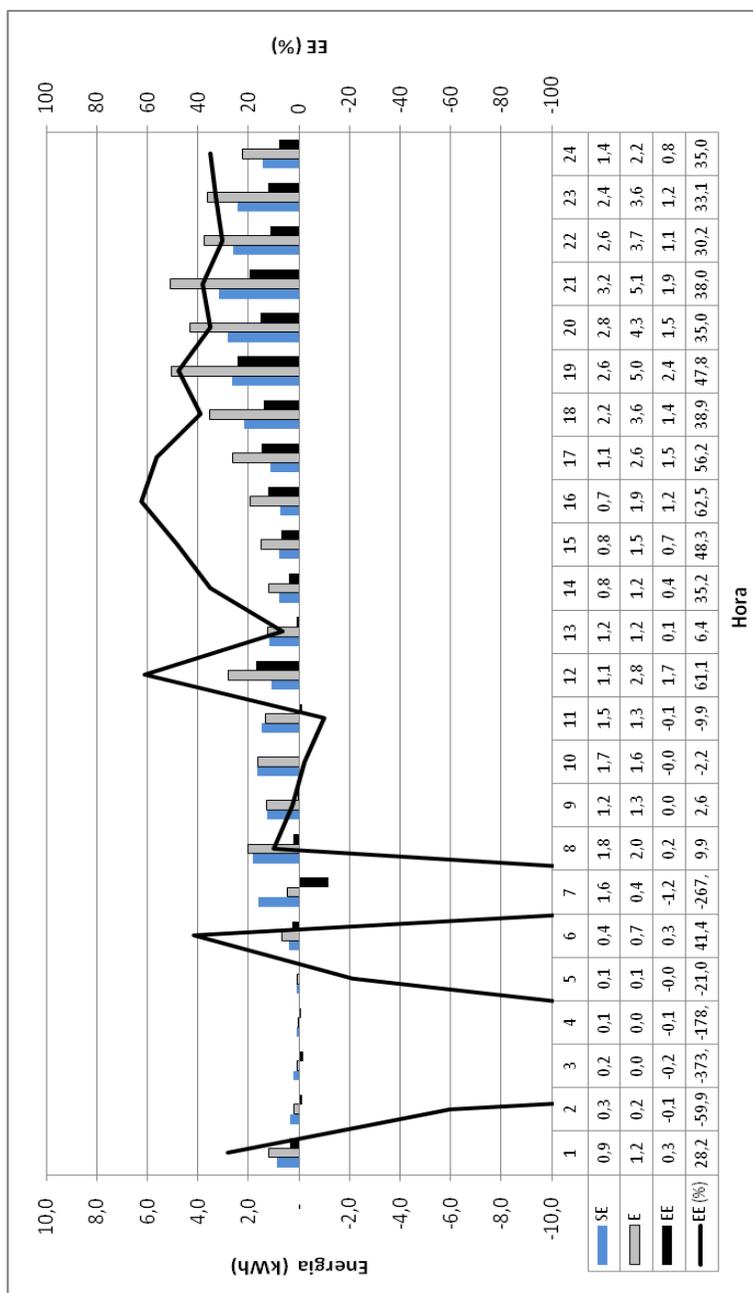


Figura D9 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada –
Maio de 2004

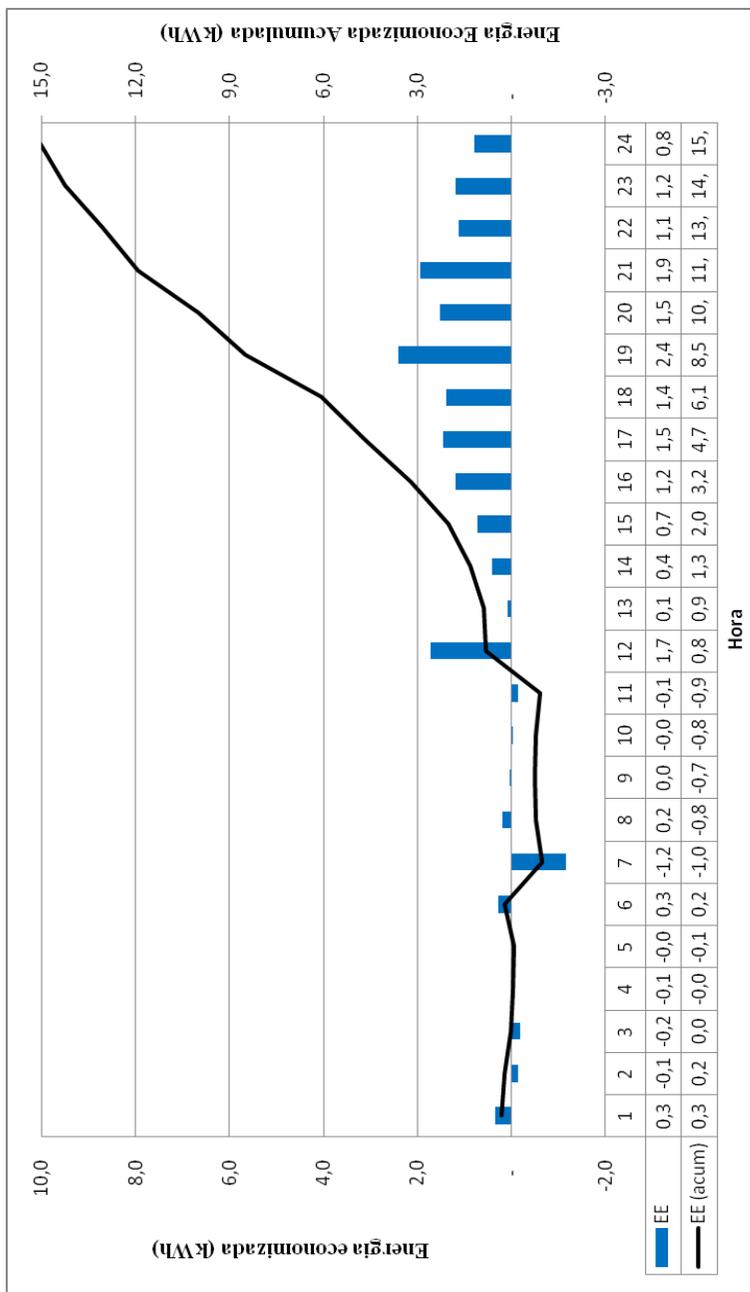


Figura D10 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada – Maio de 2004

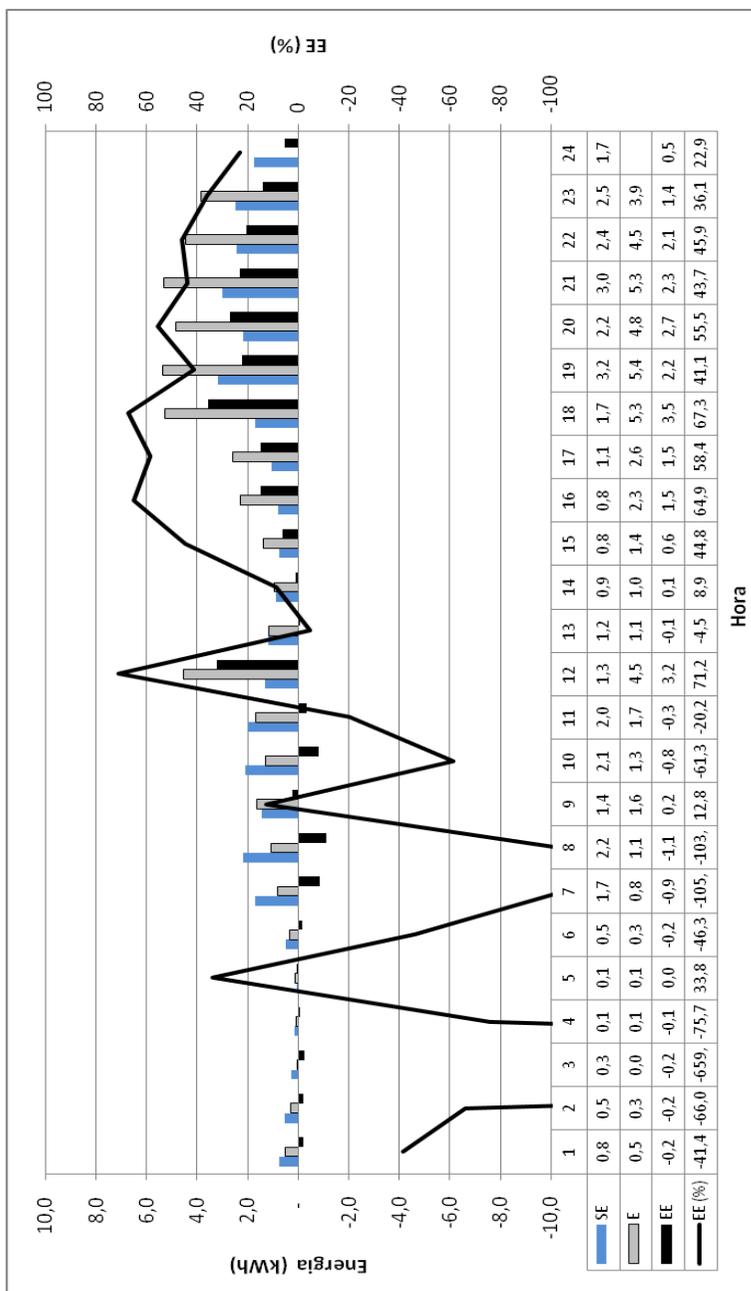


Figura D11 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Junho de 2004

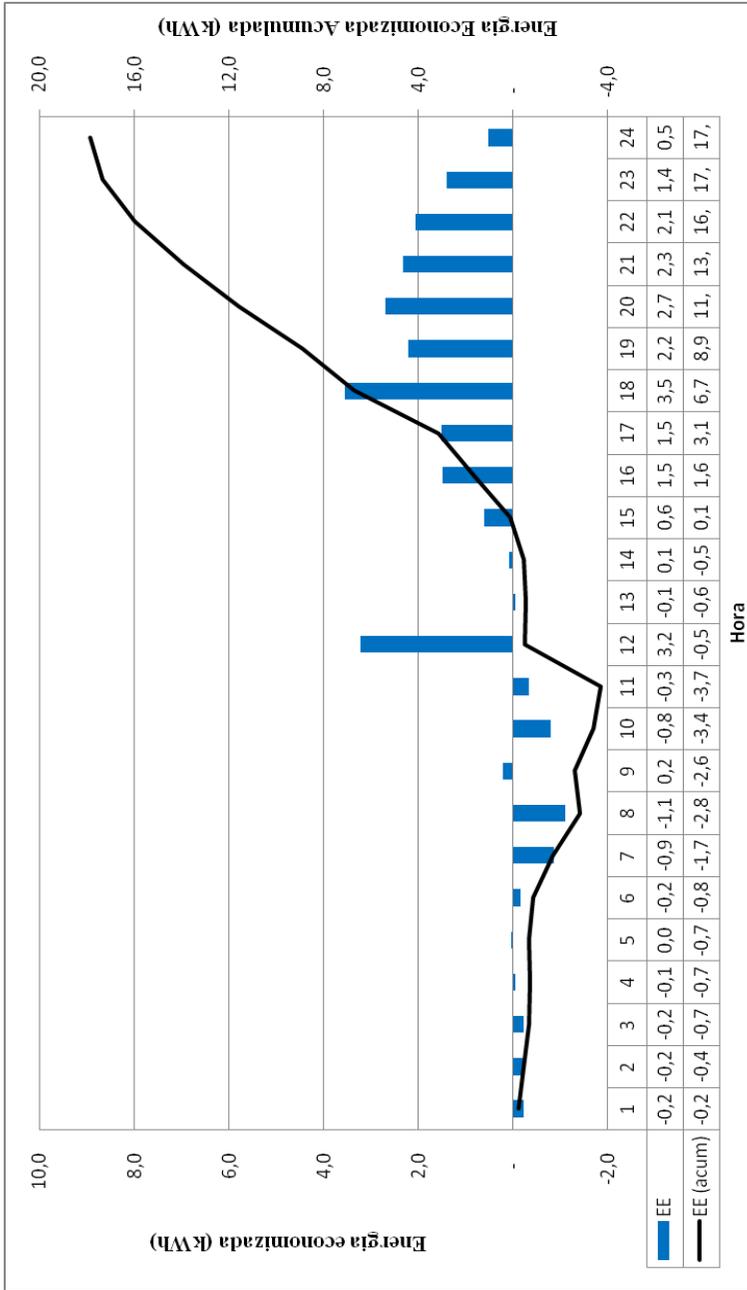


Figura D12 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada –
Junho de 2004

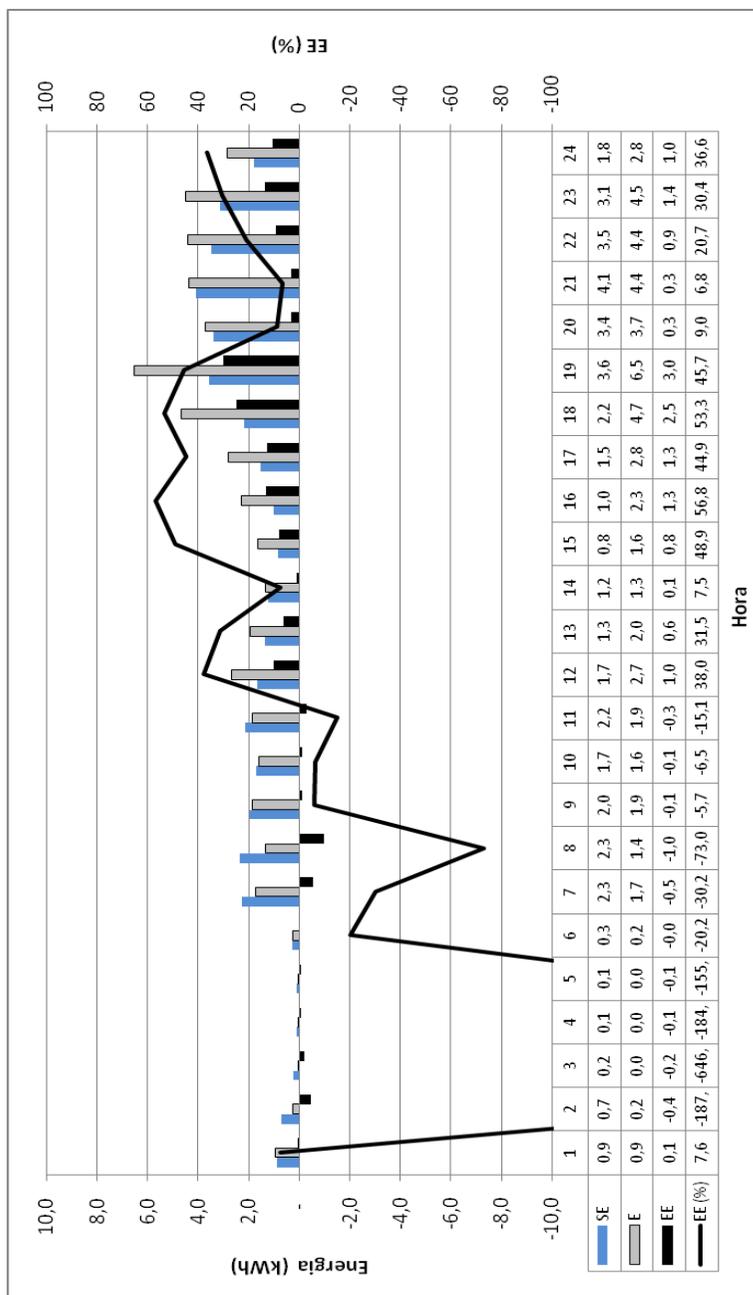


Figura D13 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Julho de 2004

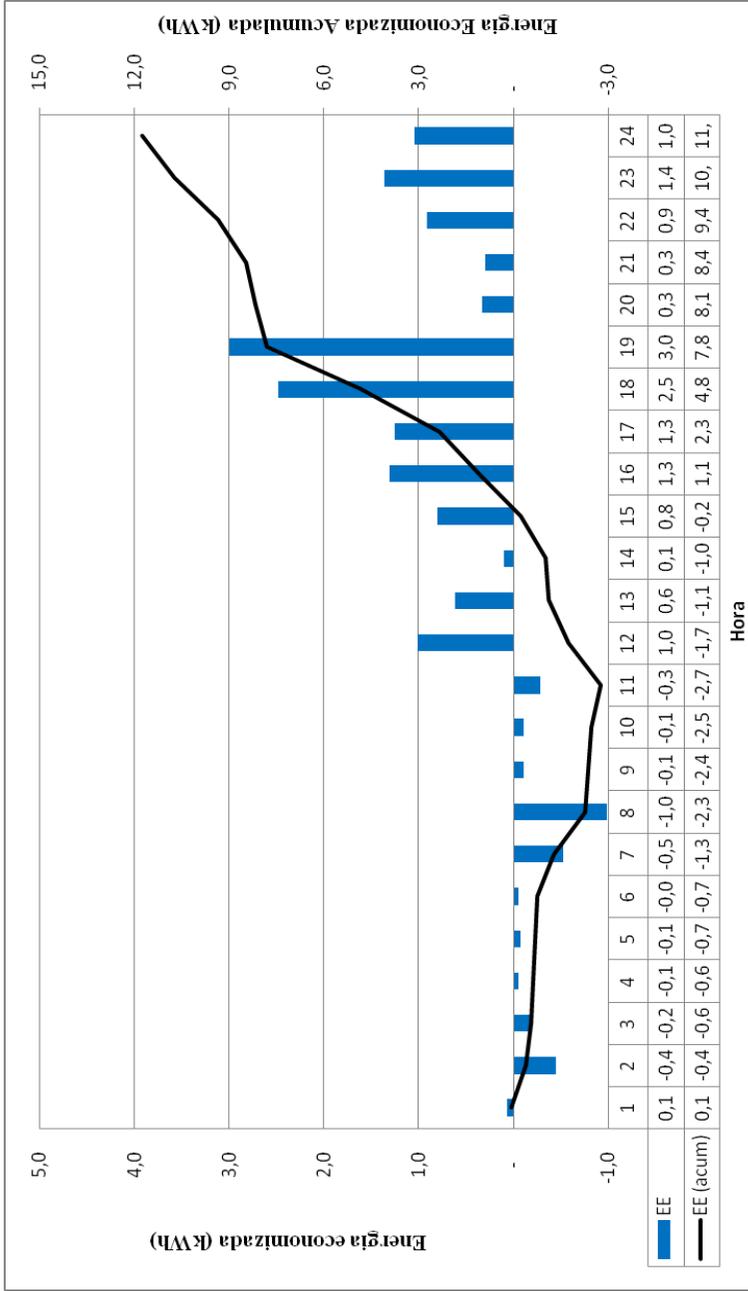


Figura D14 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada –
Julho de 2004

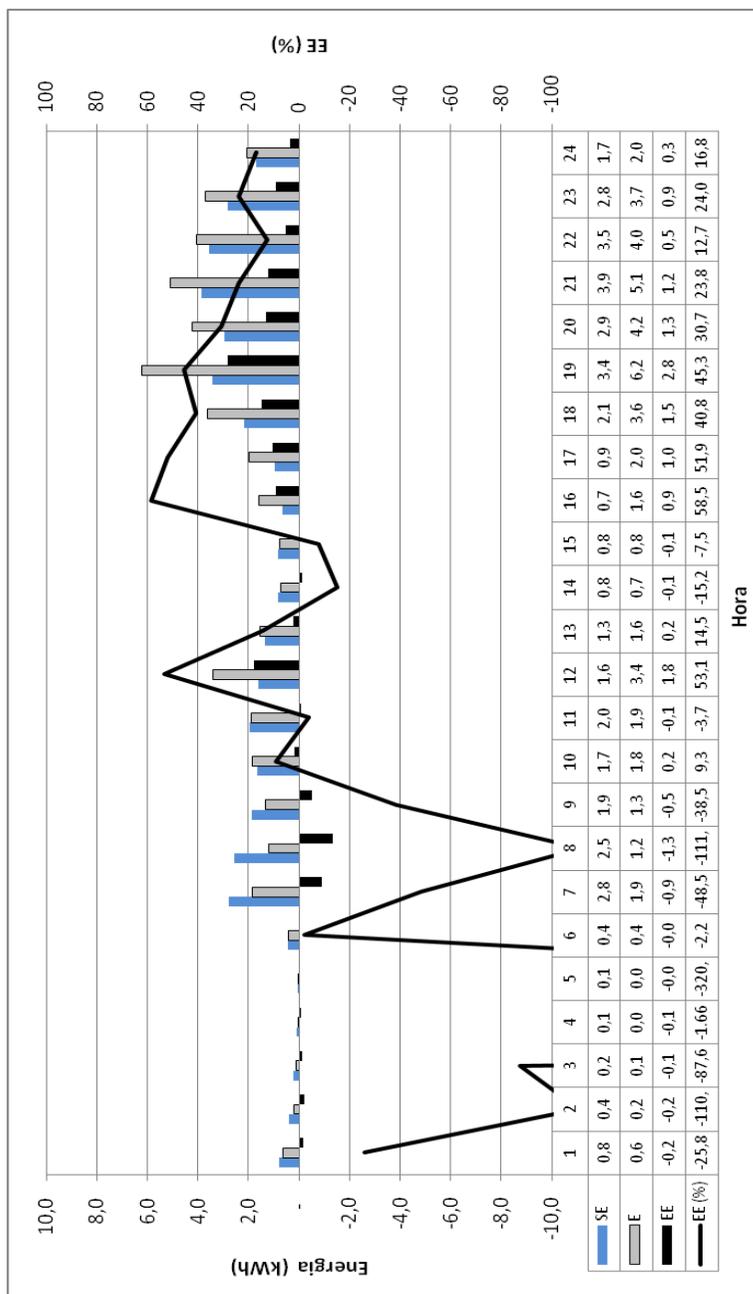


Figura D15 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Agosto de 2004

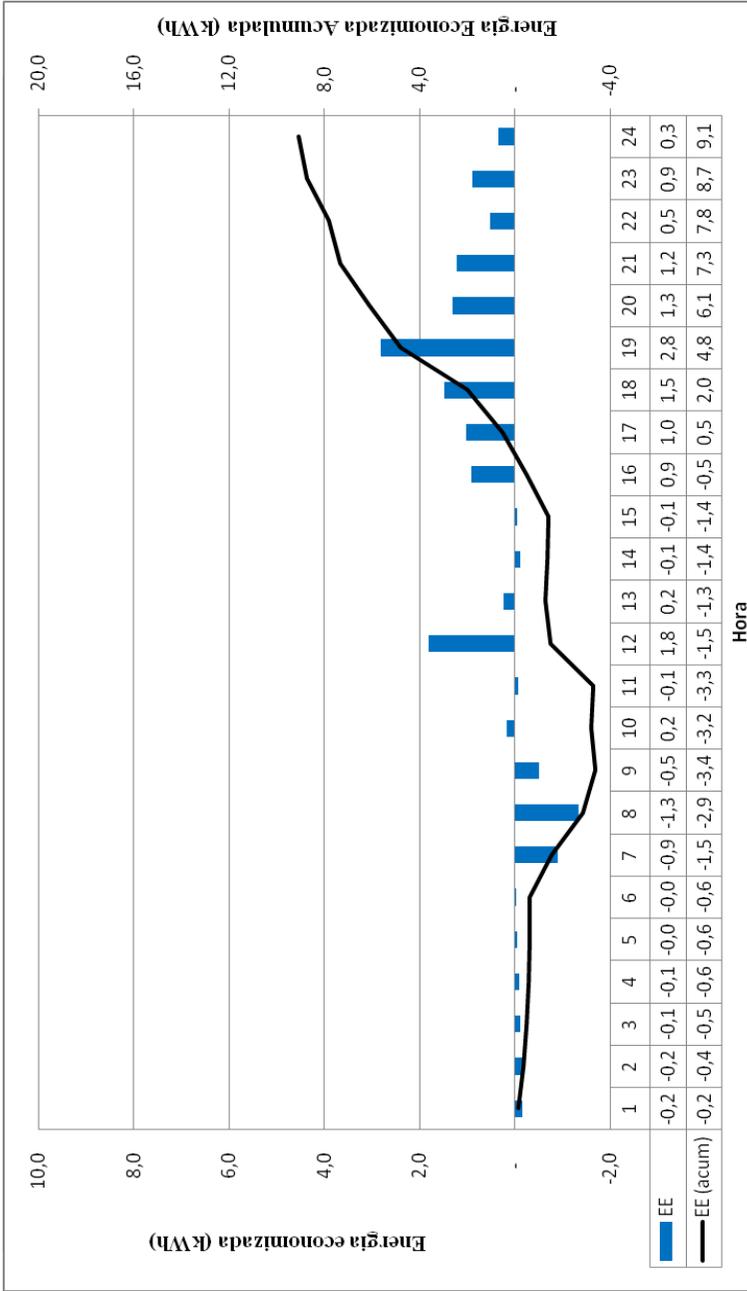


Figura D5 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada – Agosto de 2004

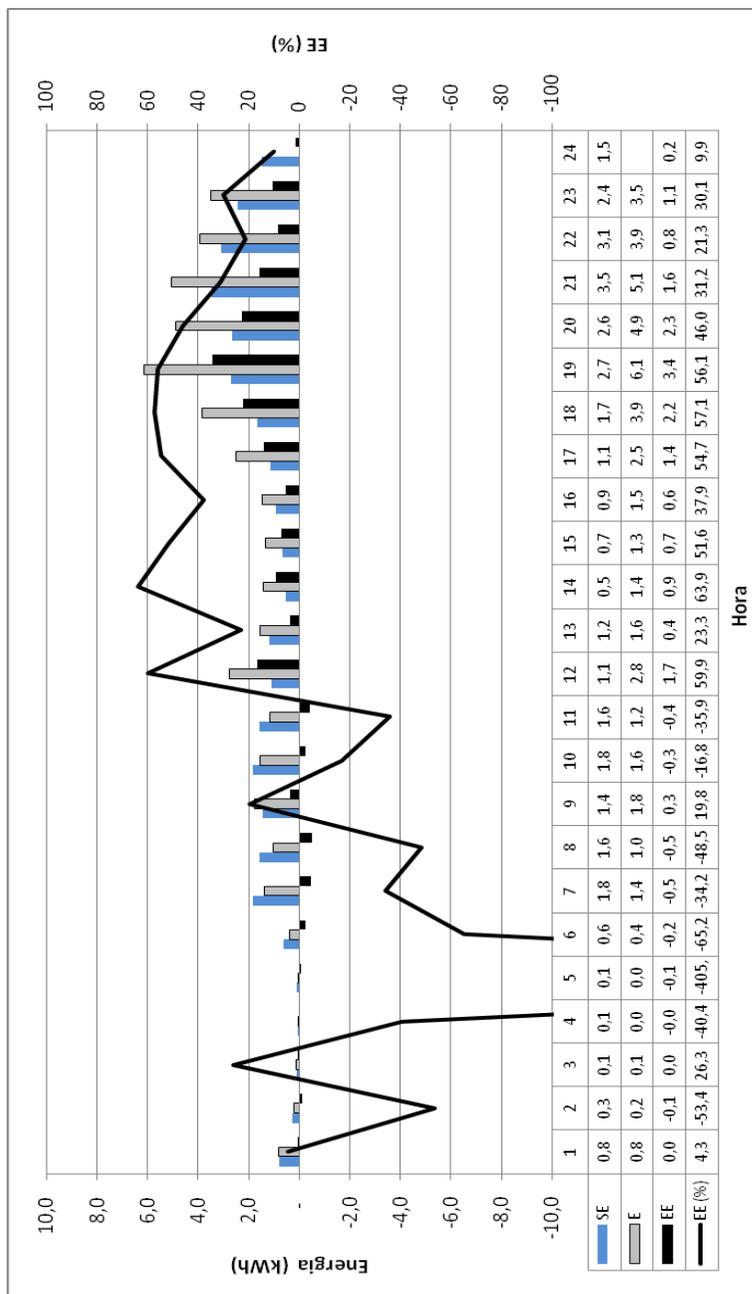


Figura D17 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Setembro de 2004

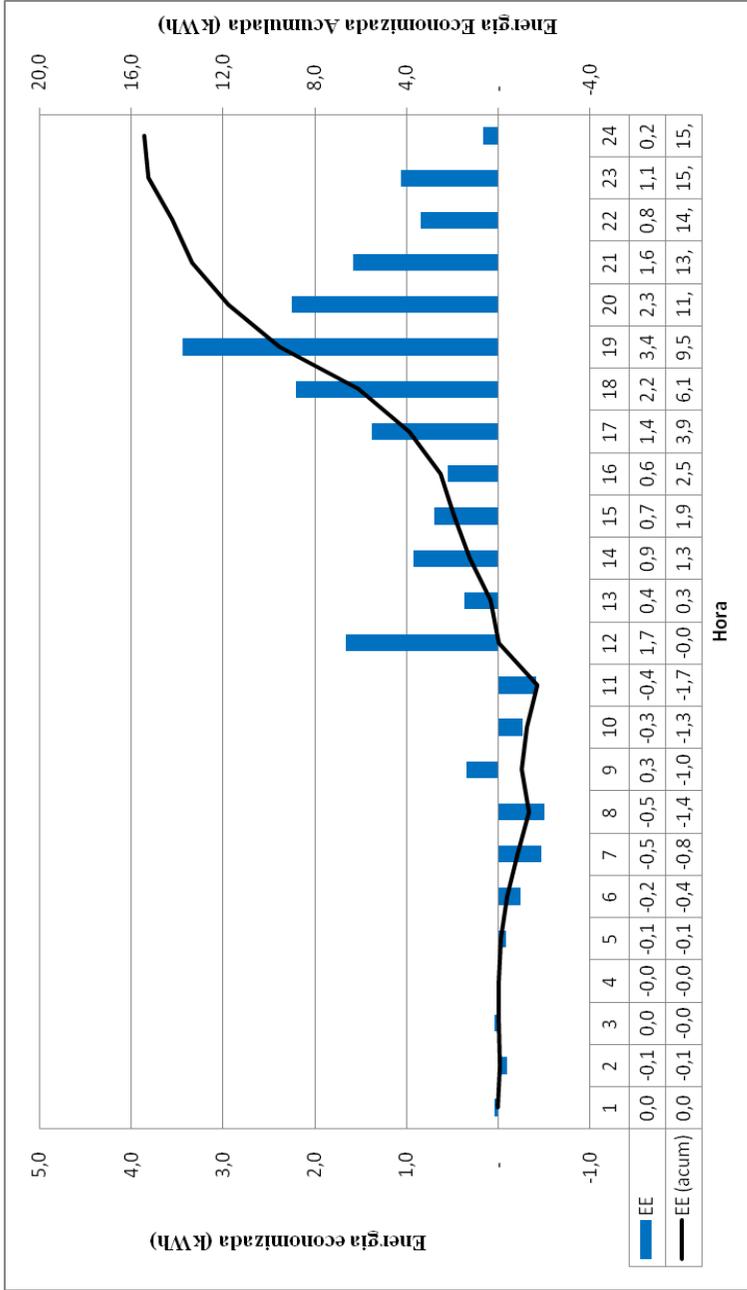


Figura D18 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada – Setembro de 2004

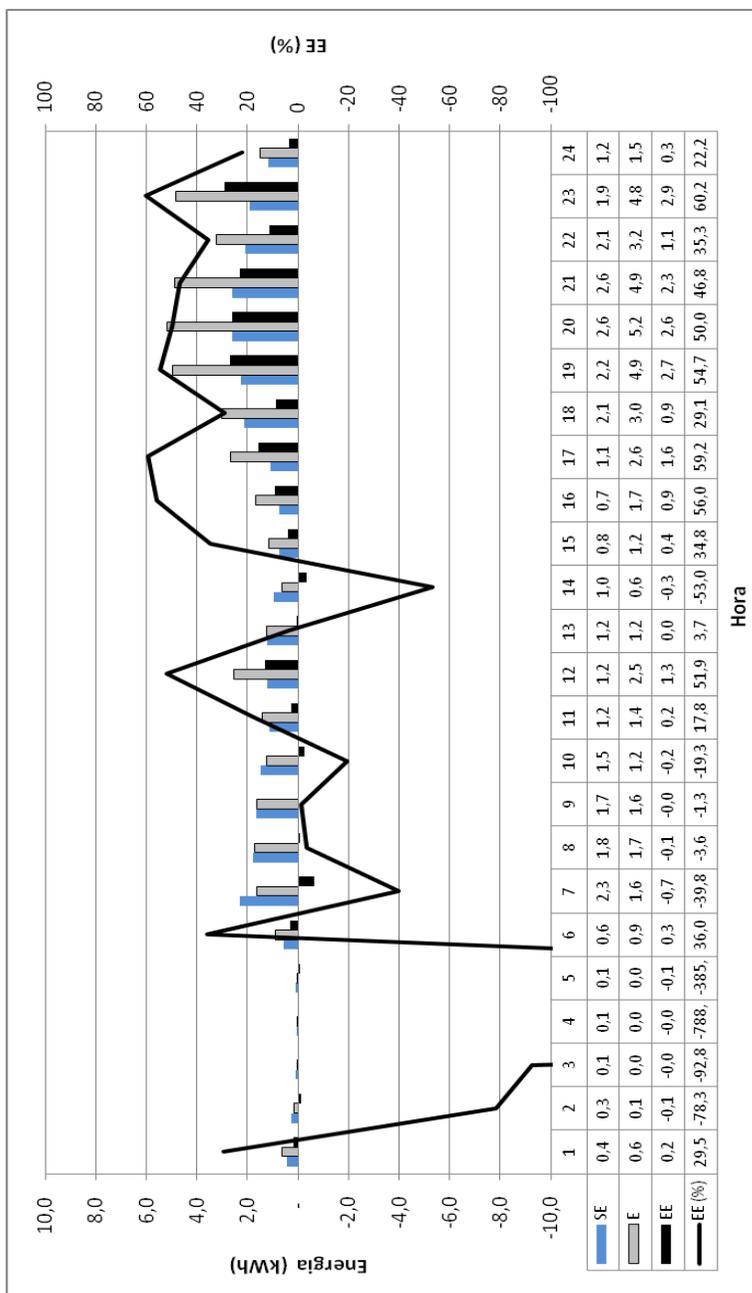


Figura D19 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Outubro de 2004

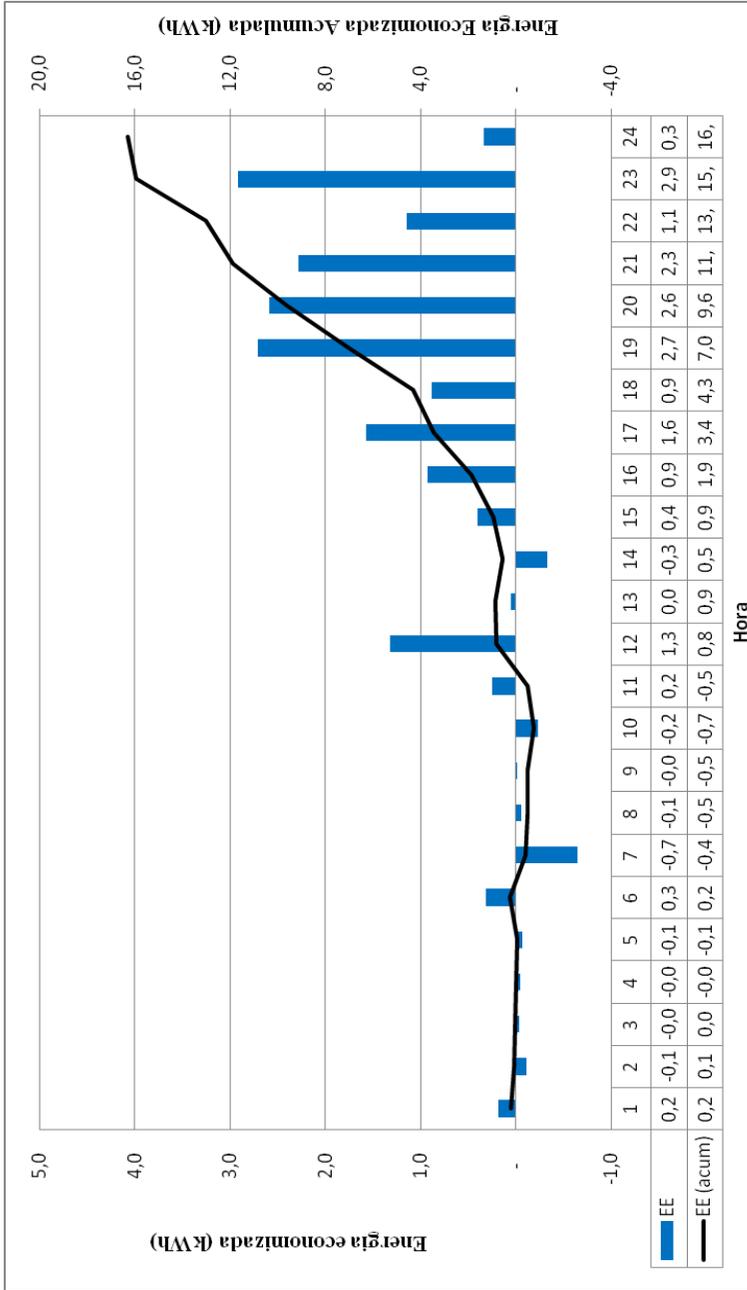


Figura D20 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada – Outubro de 2004

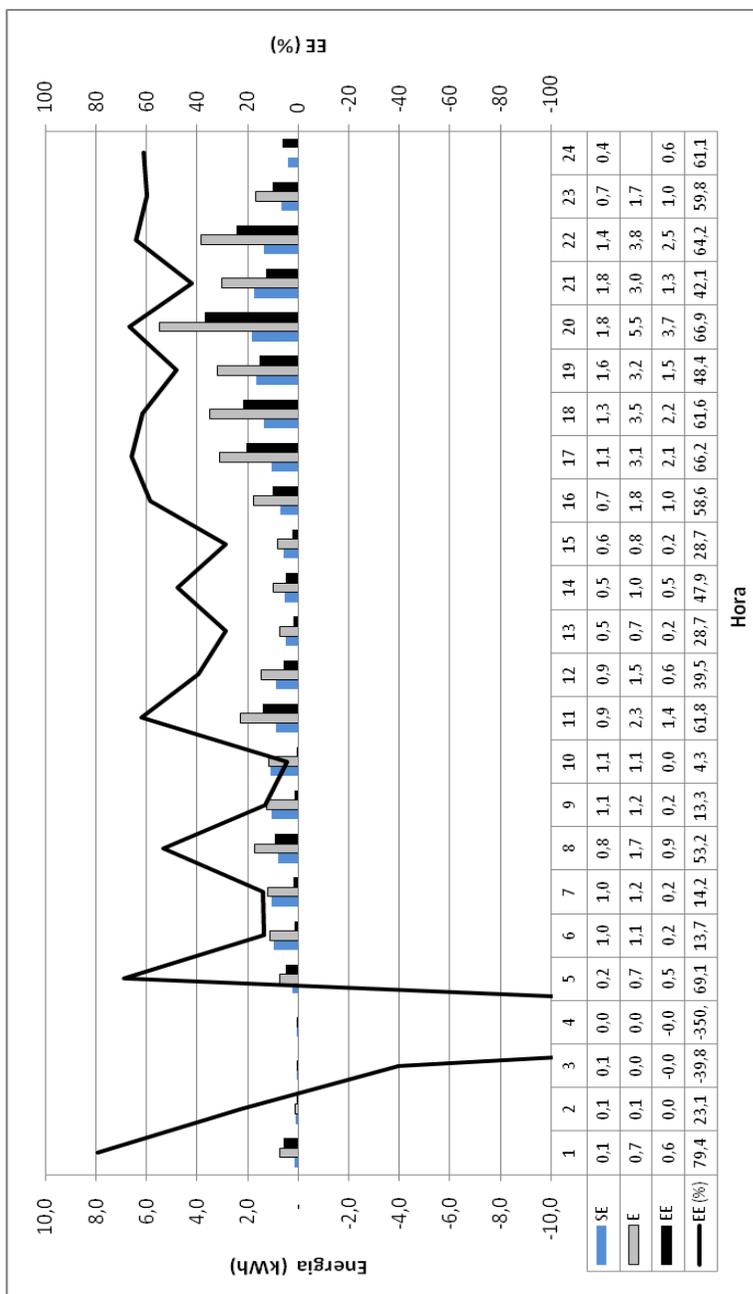


Figura D21 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Novembro de 2004

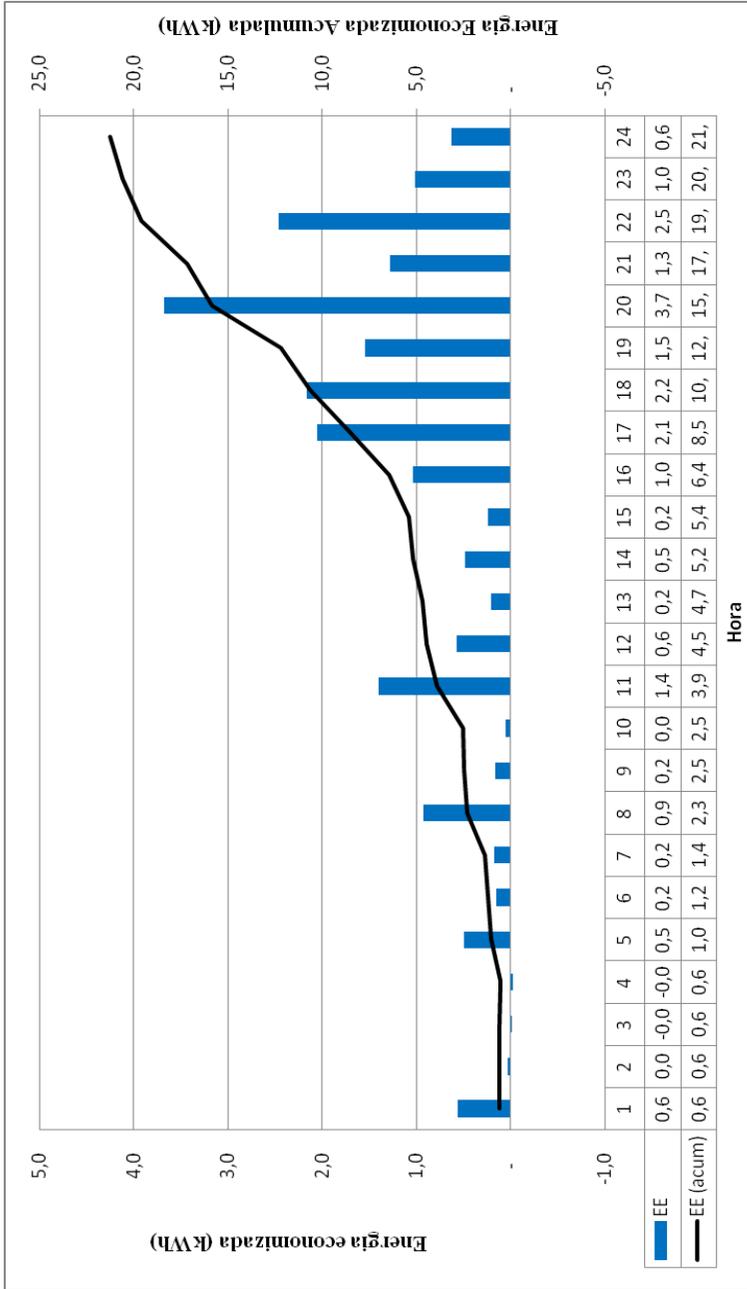


Figura D22 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada – Novembro de 2004

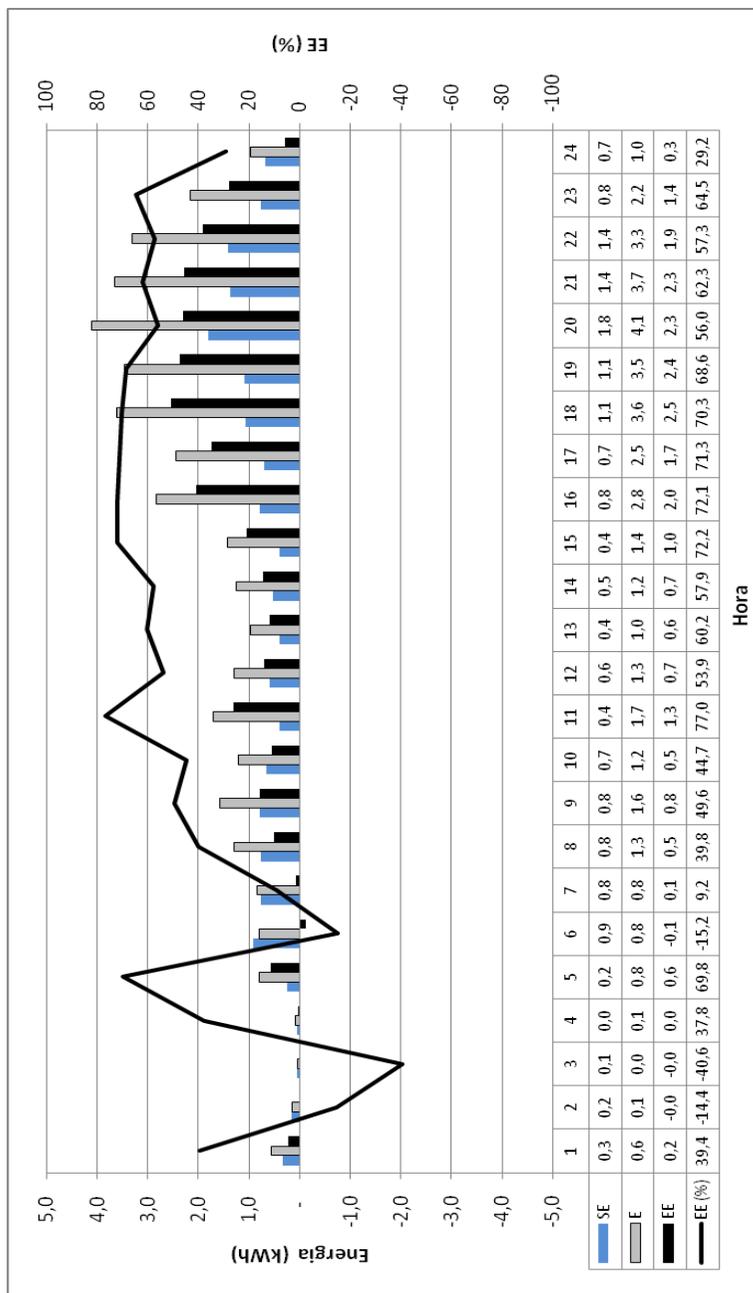


Figura D23 – Evolução da energia elétrica consumida no banho e energia economizada – Dezembro de 2004

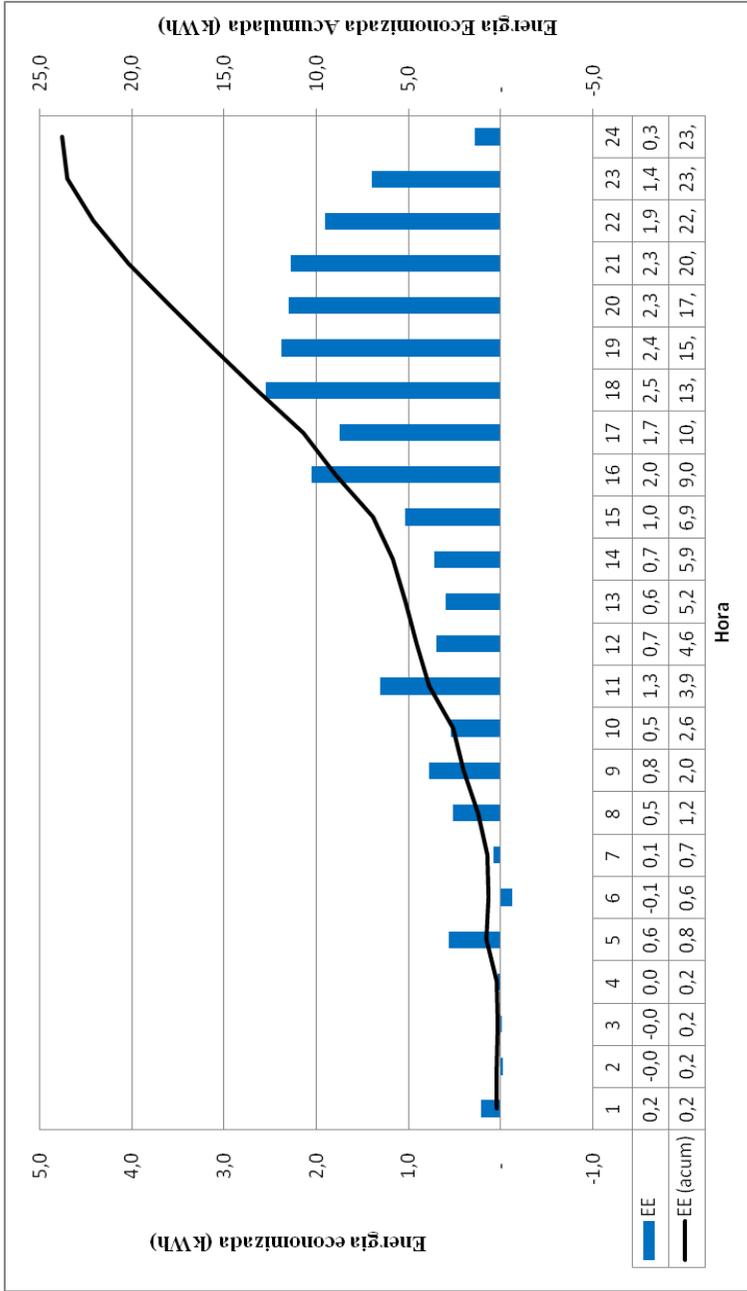


Figura D24 – Evolução horária da energia elétrica economizada e economizada acumulada – Dezembro de 2004

APÊNDICE E – CURVAS MENSAIS DE DEMANDA ATIVA, REATIVA E APARENTE

Figura E1 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Janeiro de 2004	216
Figura E2 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Janeiro de 2004	147
Figura E3 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Janeiro de 2004	147
Figura E4 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Fevereiro de 2004	147
Figura E5 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Fevereiro de 2004	147
Figura E6 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Fevereiro de 2004	147
Figura E7 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Março de 2004	147
Figura E8 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Março de 2004	147
Figura E9 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Março de 2004	147
Figura E10 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Abril de 2004	147
Figura E11 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Abril de 2004	147
Figura E12 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Abril de 2004	147
Figura E13 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Maio de 2004	147
Figura E14 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Maio de 2004	147
Figura E15 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Maio de 2004	147
Figura E16 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Junho de 2004	147

Figura E17 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Junho de 2004	147
Figura E18 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Junho de 2004	147
Figura E19 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Julho de 2004	147
Figura E20 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Julho de 2004	147
Figura E21 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Julho de 2004	147
Figura E22 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Agosto de 2004	147
Figura E23 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Agosto de 2004	147
Figura E24 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Agosto de 2004	147
Figura E25 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Setembro de 2004	147
Figura E26 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Setembro de 2004	147
Figura E27 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Setembro de 2004.....	147
Figura E28 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Outubro de 2004	147
Figura E29 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Outubro de 2004	147
Figura E30 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Outubro de 2004.....	147
Figura E31 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Novembro de 2004	147
Figura E32 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Novembro de 2004.....	147
Figura E33 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Novembro de 2004.....	147

Figura E34 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Dezembro de 2004	147
Figura E35 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Dezembro de 2004	147
Figura E36 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Dezembro de 2004	147

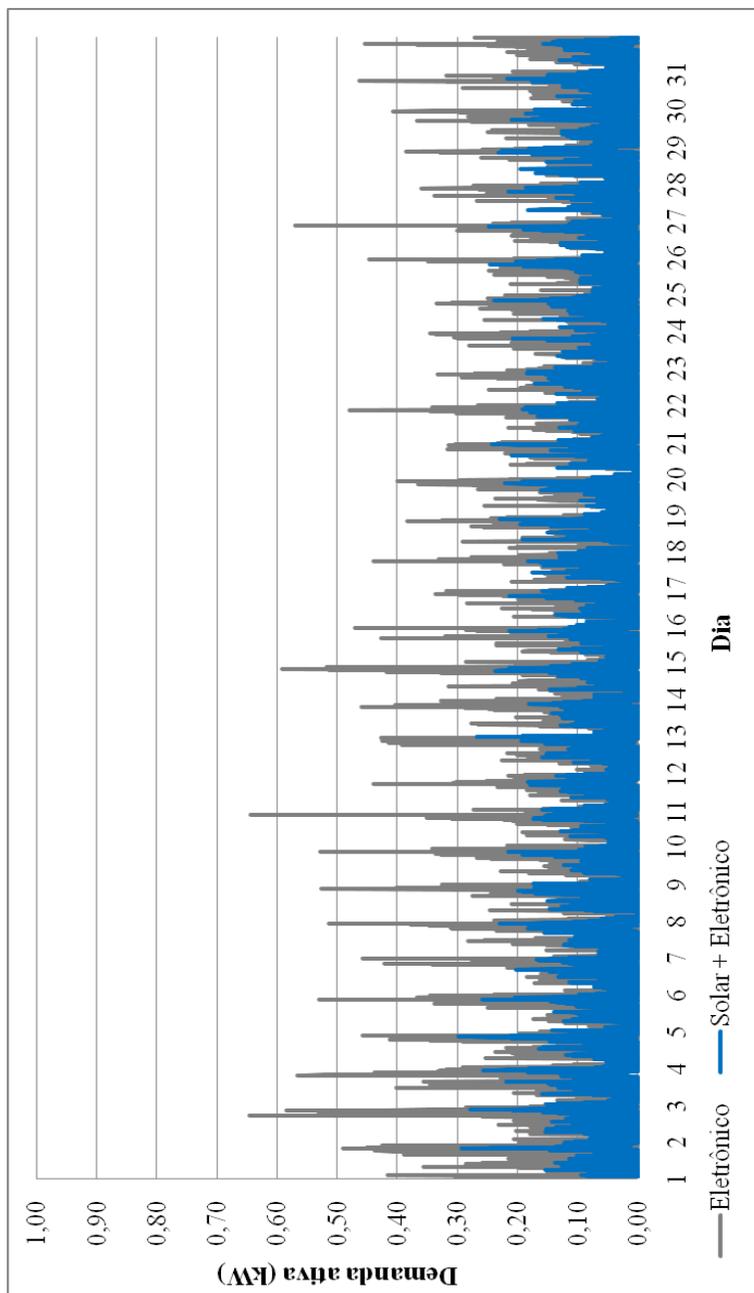


Figura E1 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Janeiro de 2004

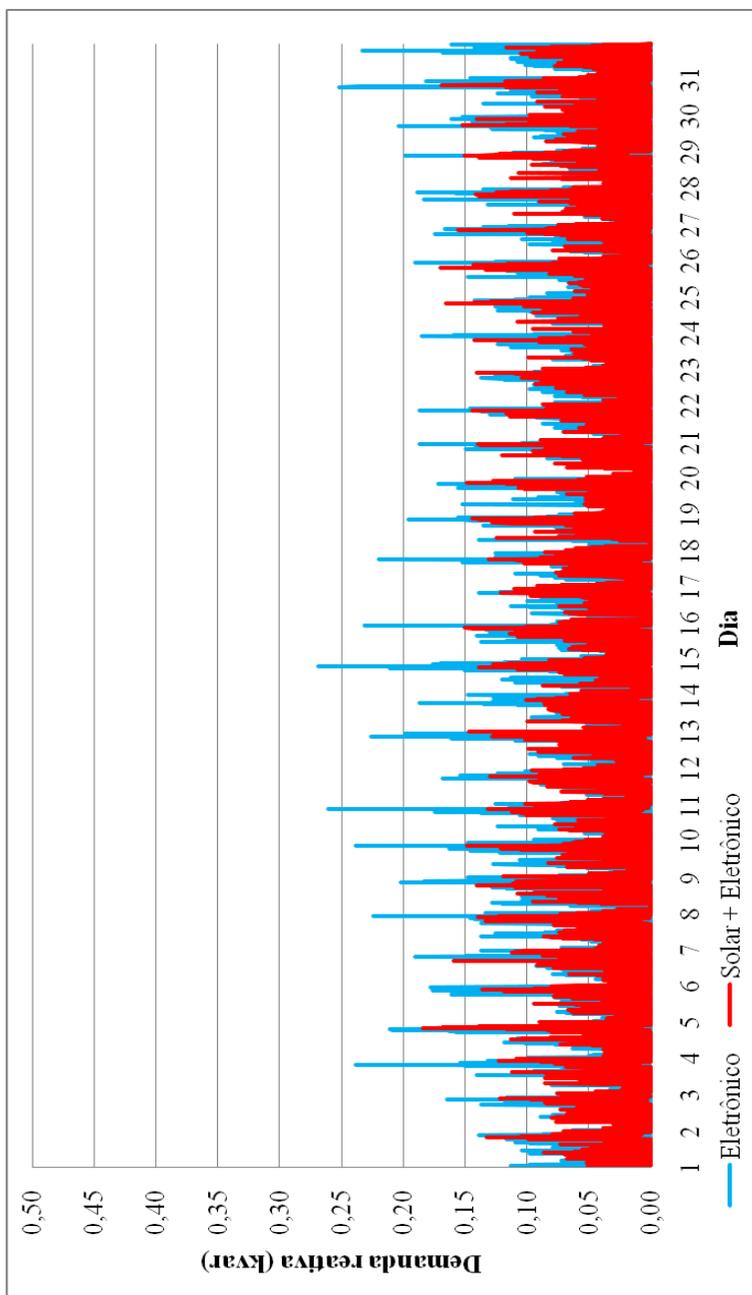


Figura E2 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Janeiro de 2004

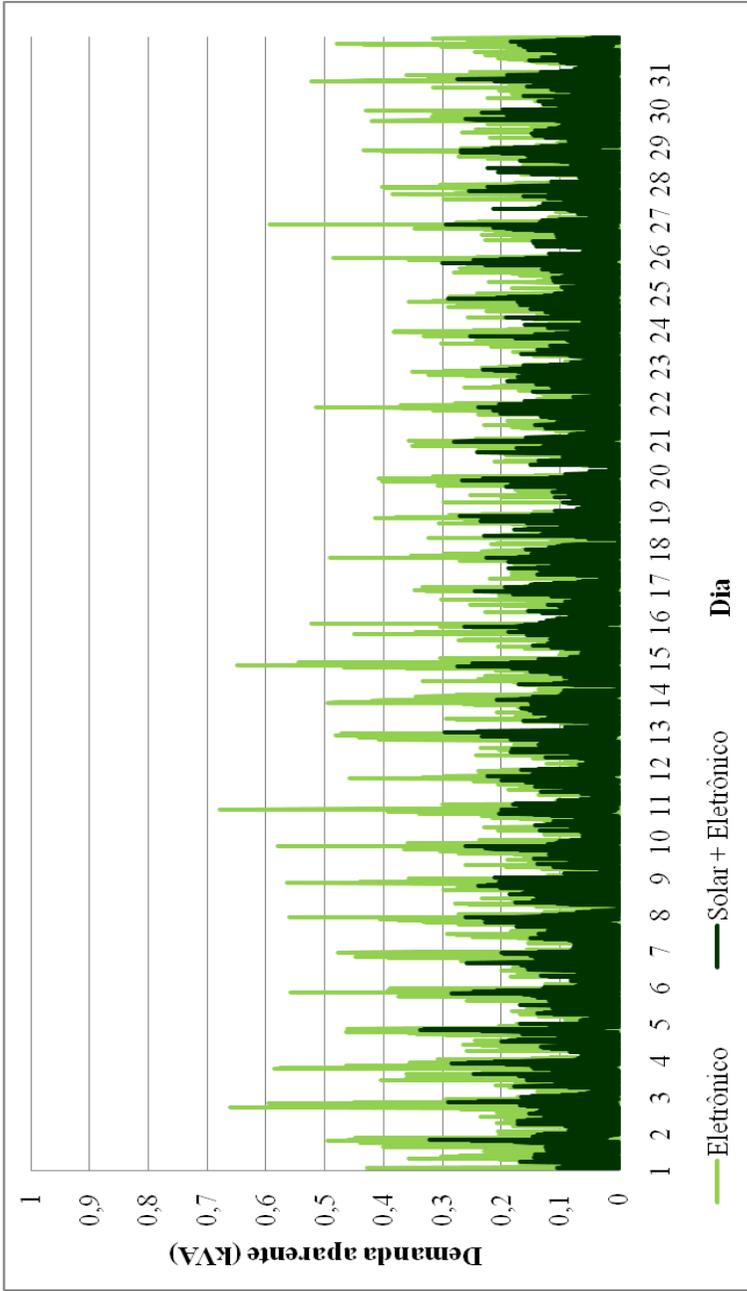


Figura E3 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Janeiro de 2004

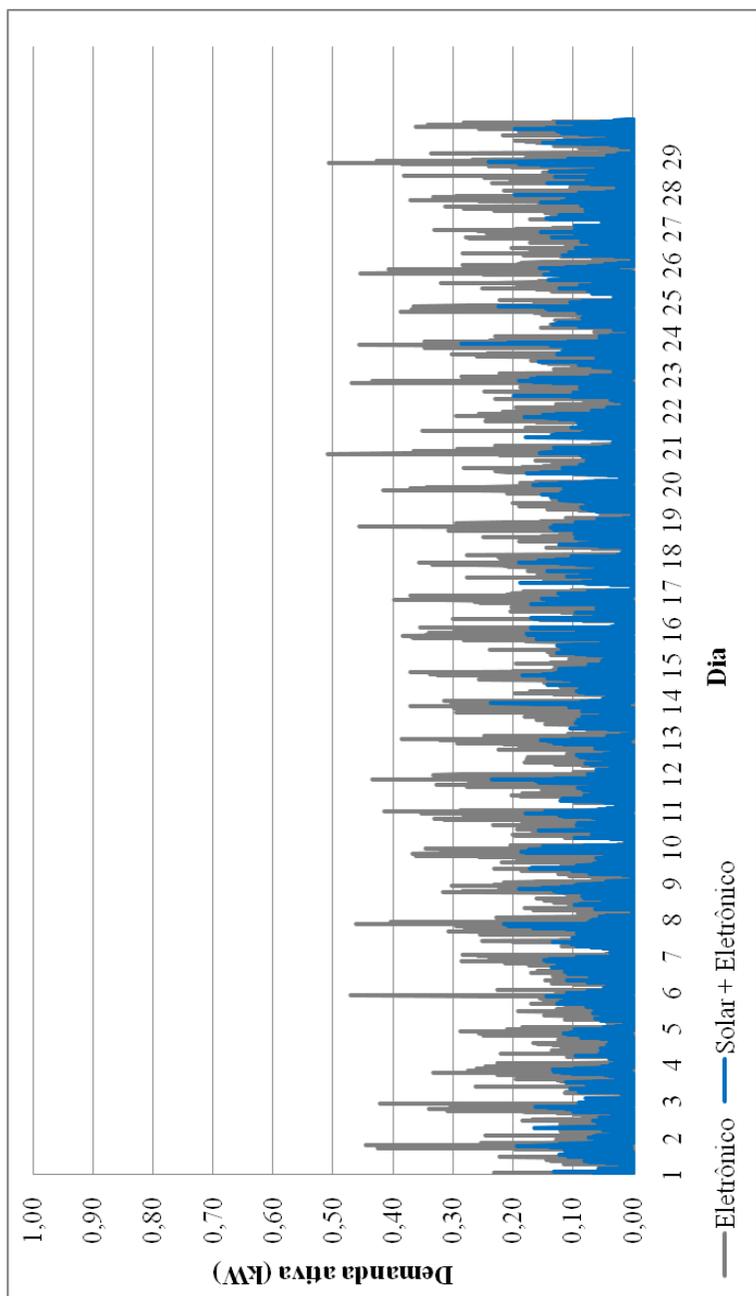


Figura E4 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Fevereiro de 2004

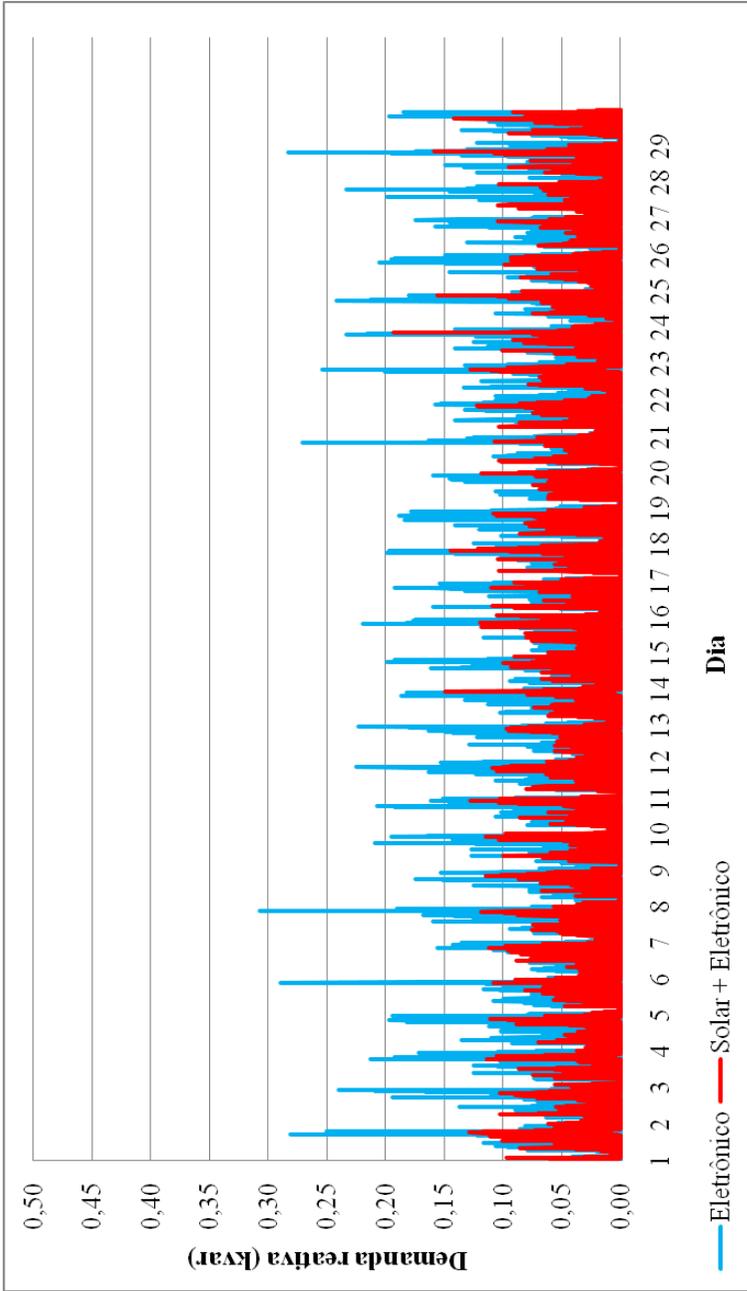


Figura E5 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Fevereiro de 2004

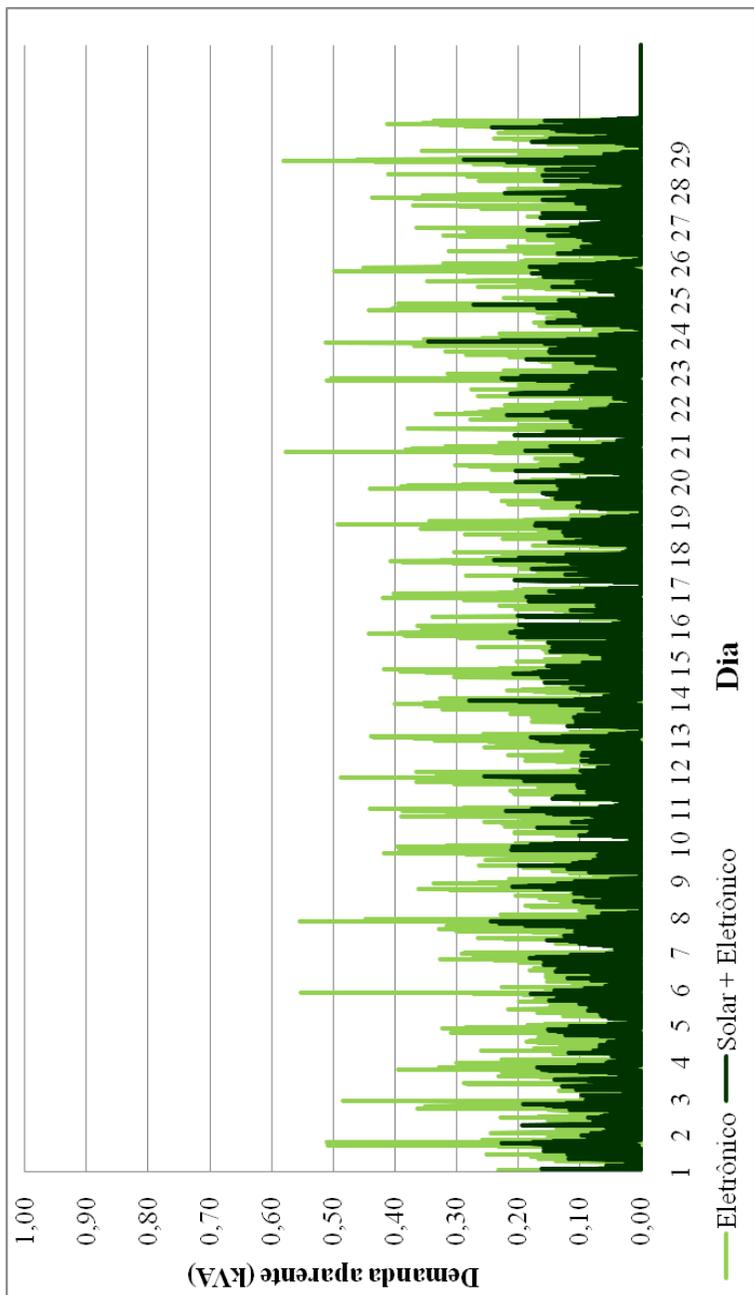


Figura E6 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Fevereiro de 2004

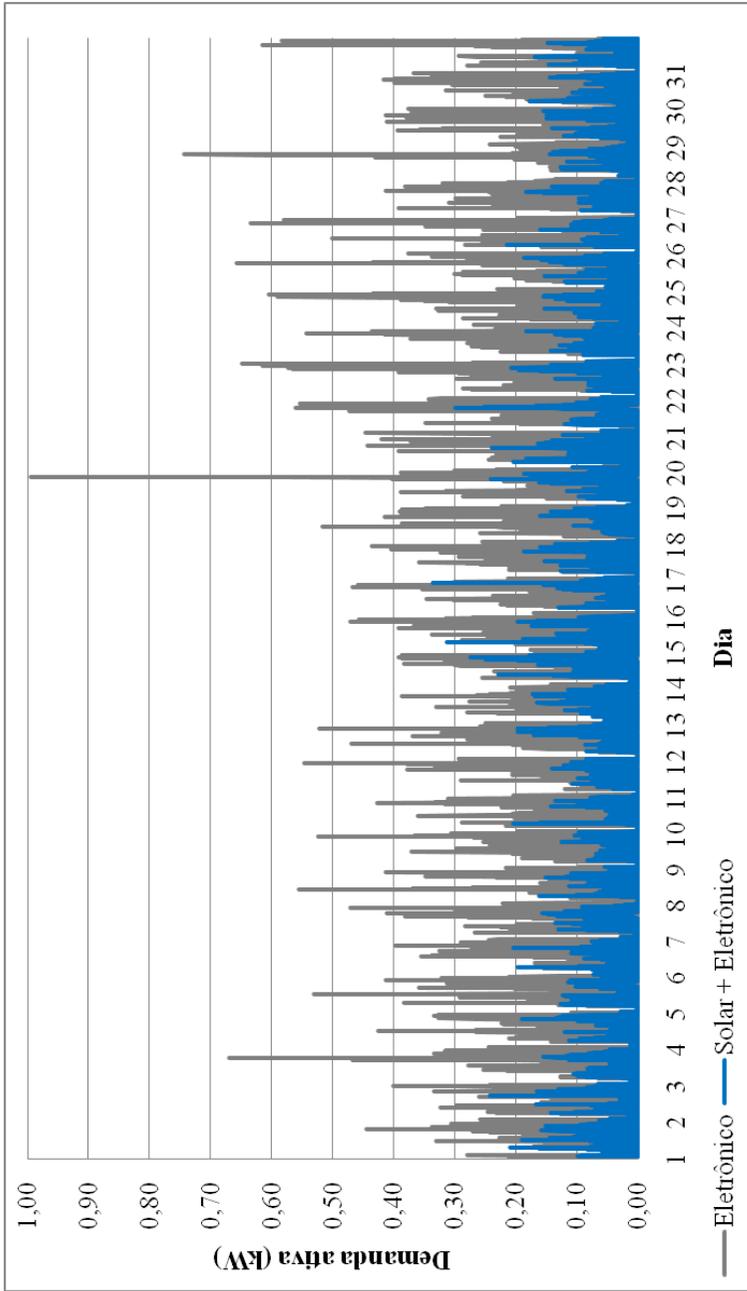


Figura E7 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Março de 2004

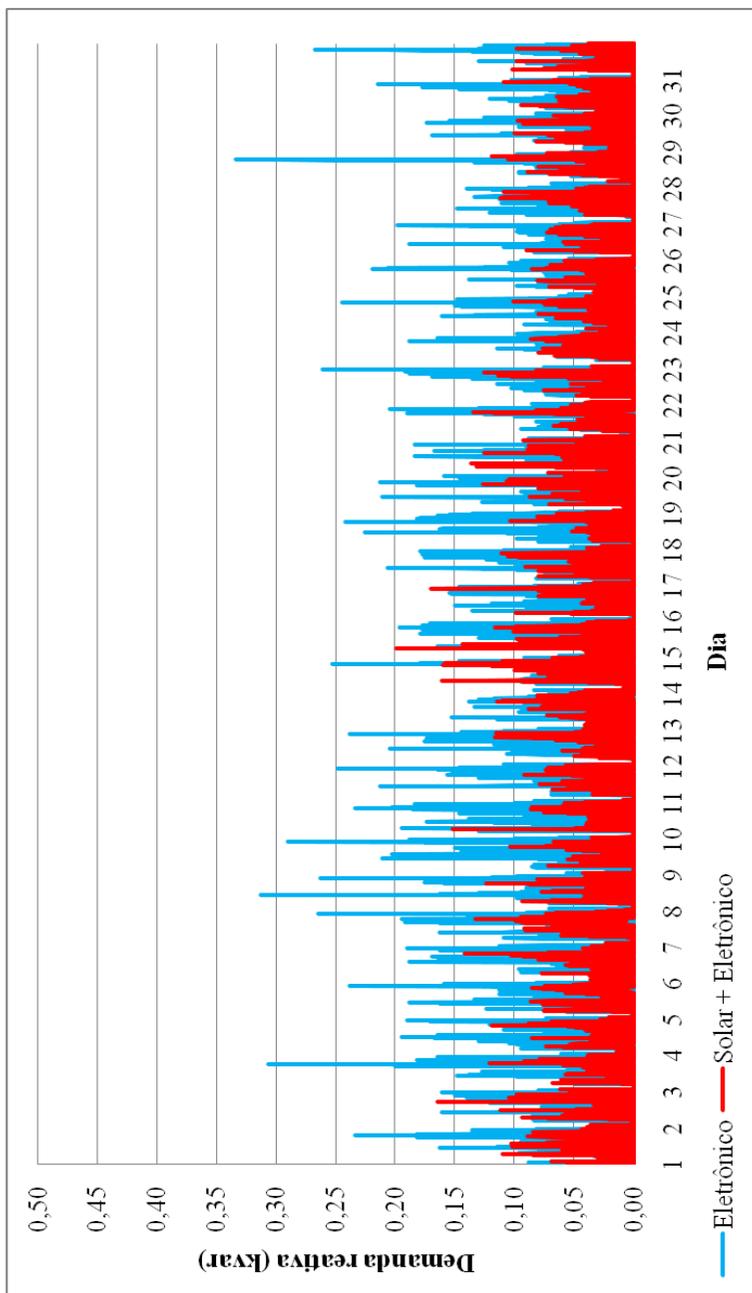


Figura E8 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Março de 2004

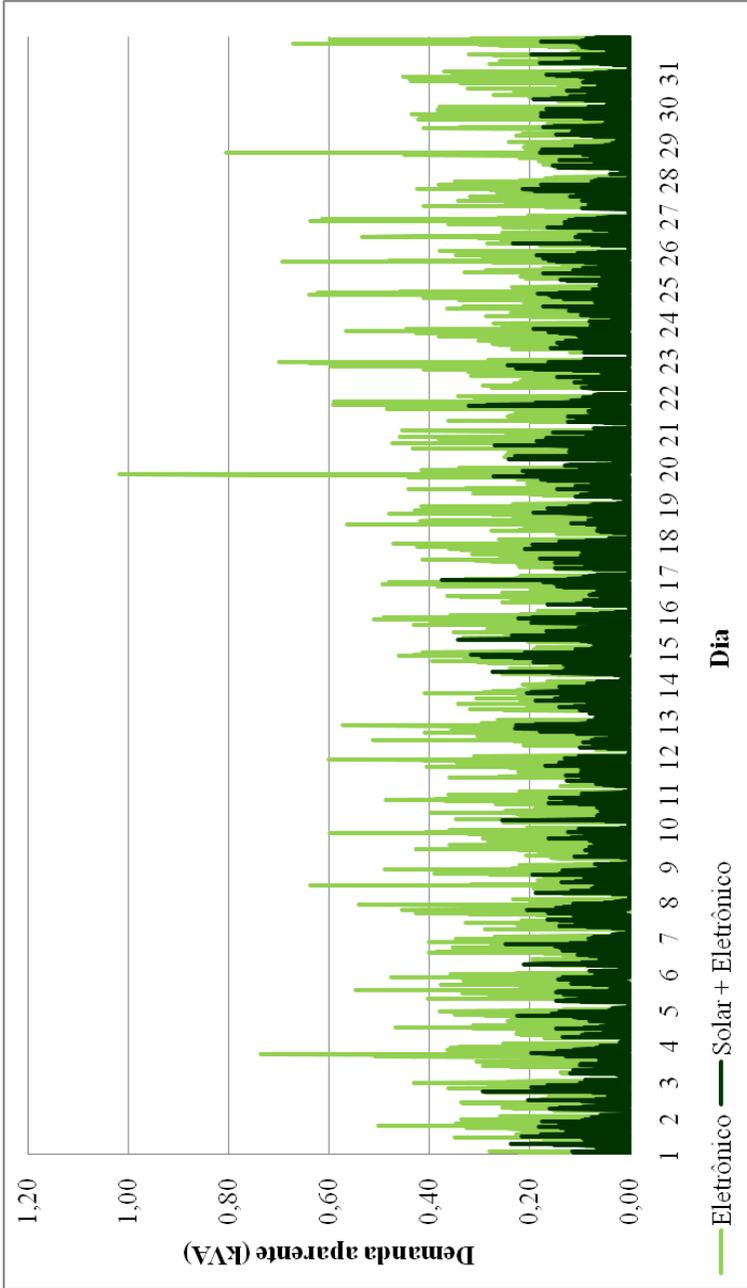


Figura E9 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Março de 2004

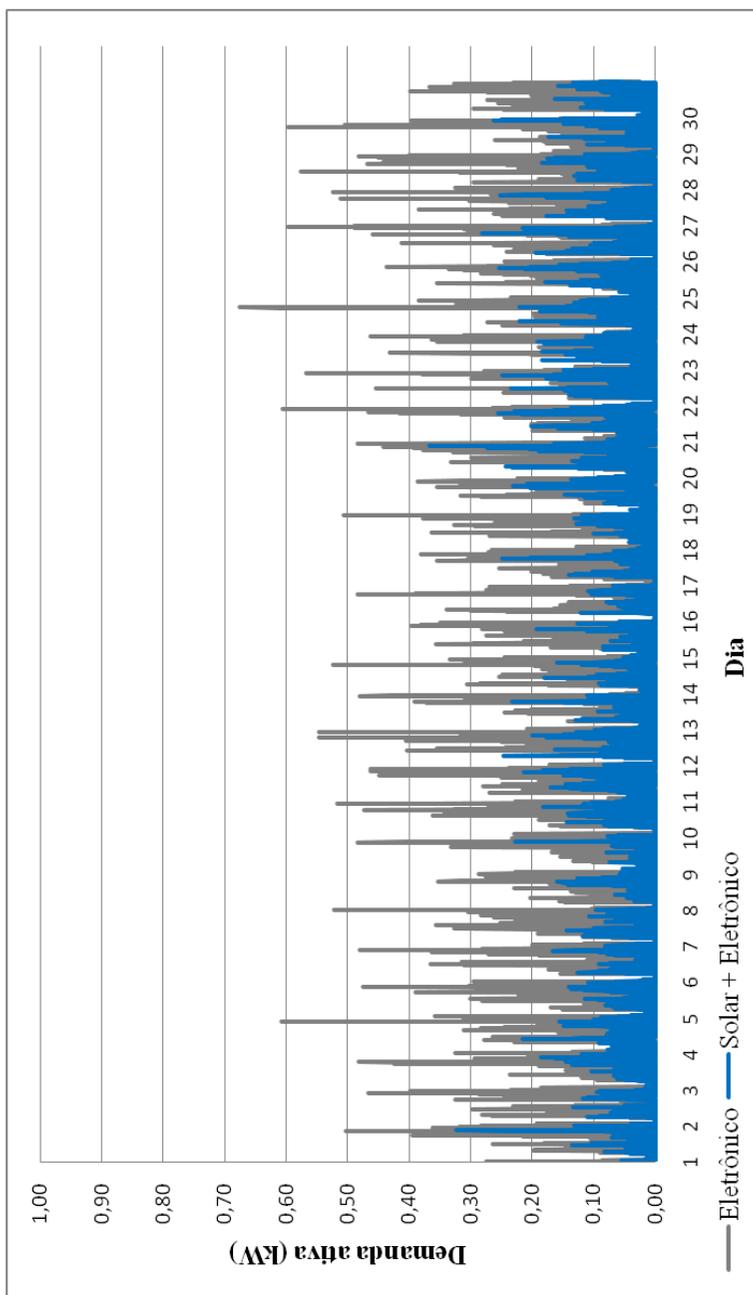


Figura E10 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Abril de 2004

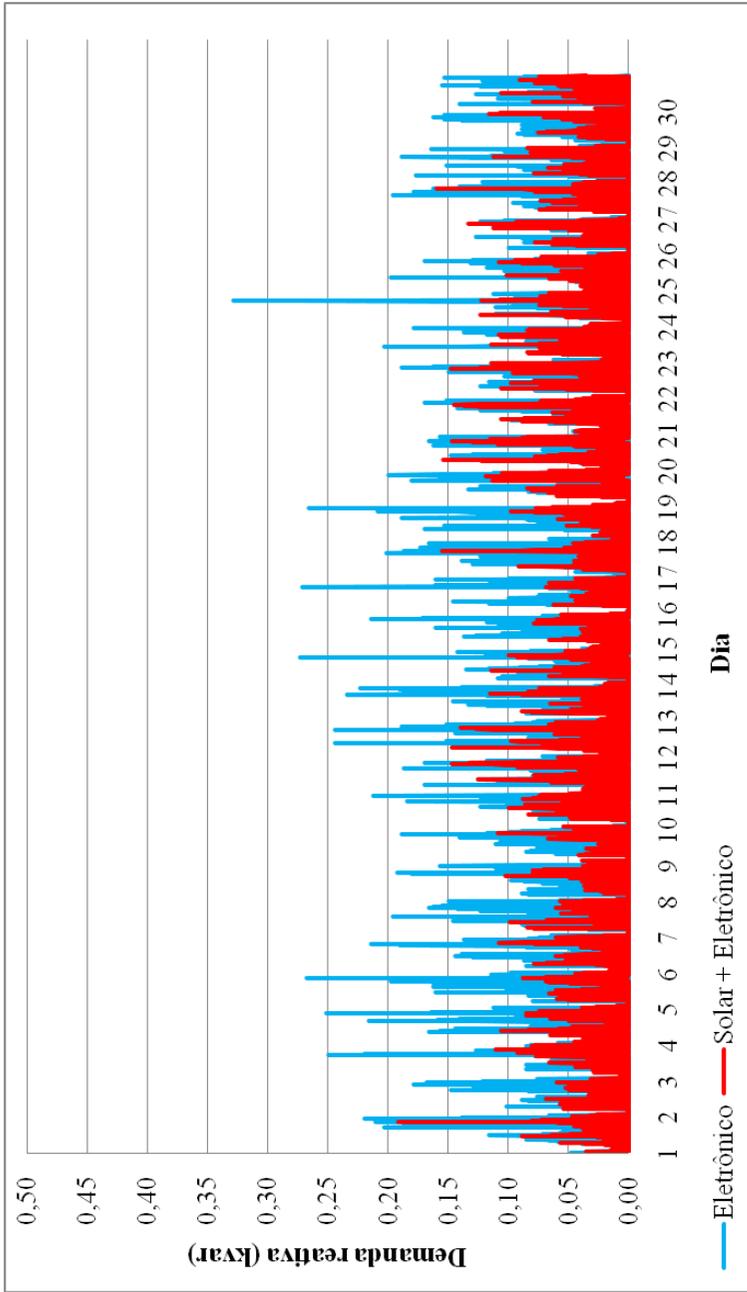


Figura E11 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Abril de 2004

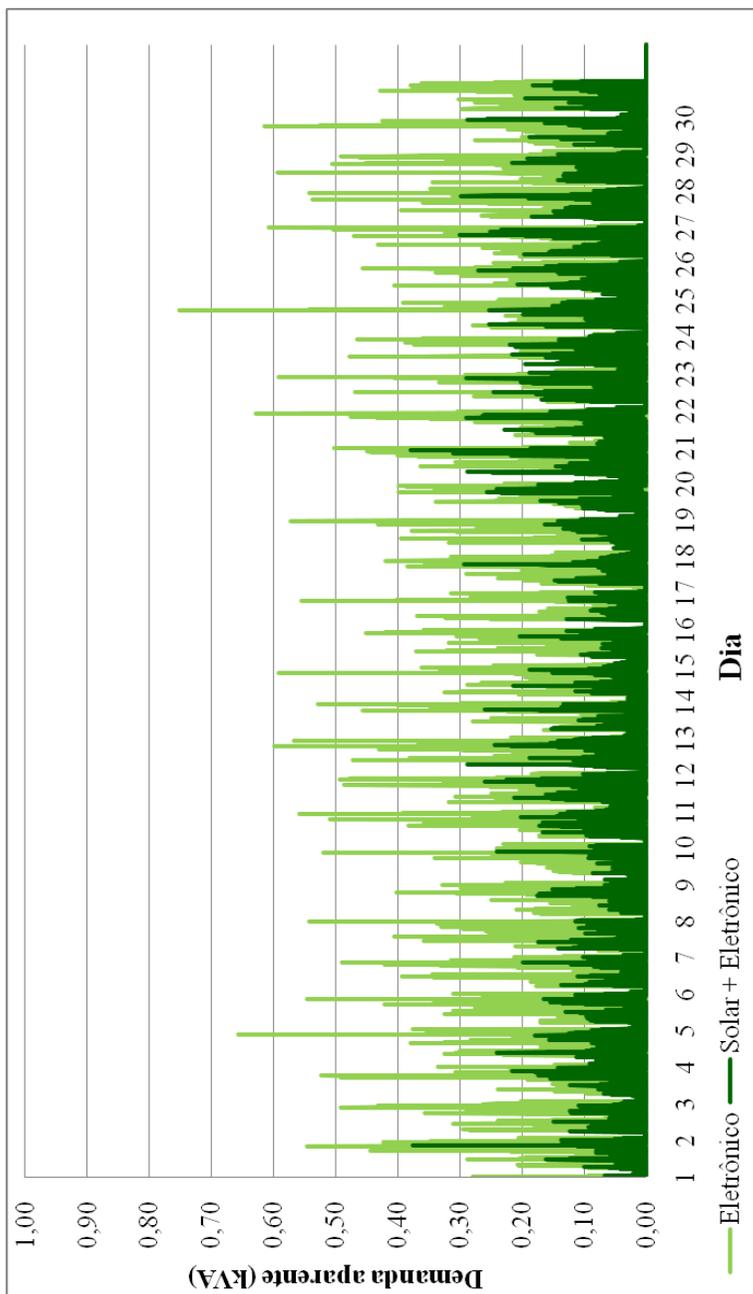


Figura E12 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Abril de 2004

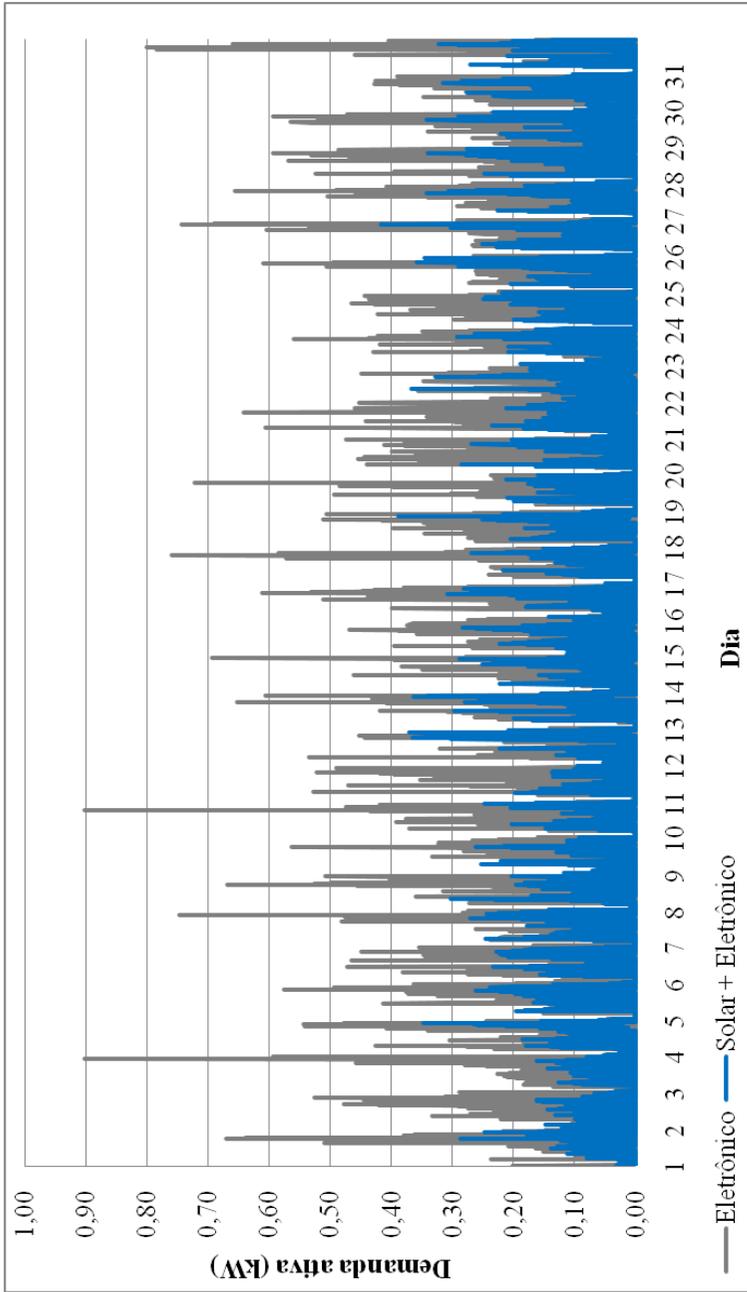


Figura E13 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Maio de 2004

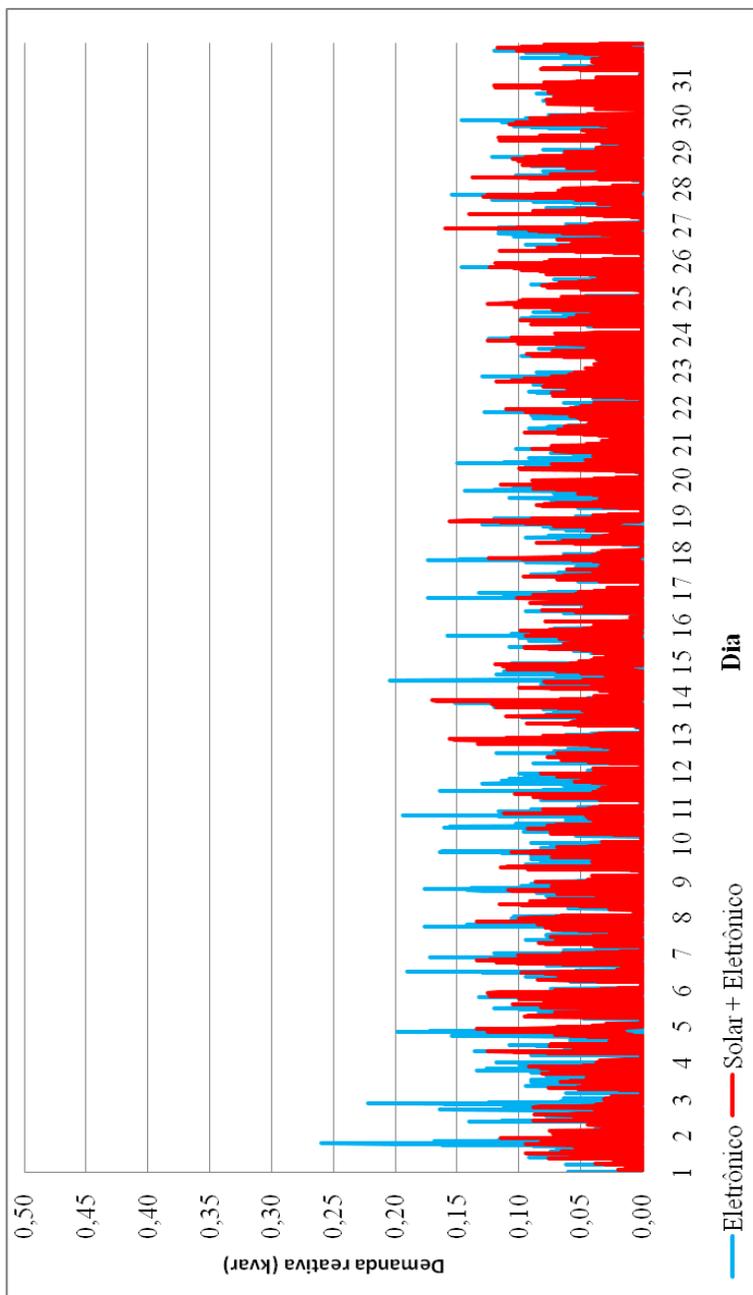


Figura E14 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Maio de 2004

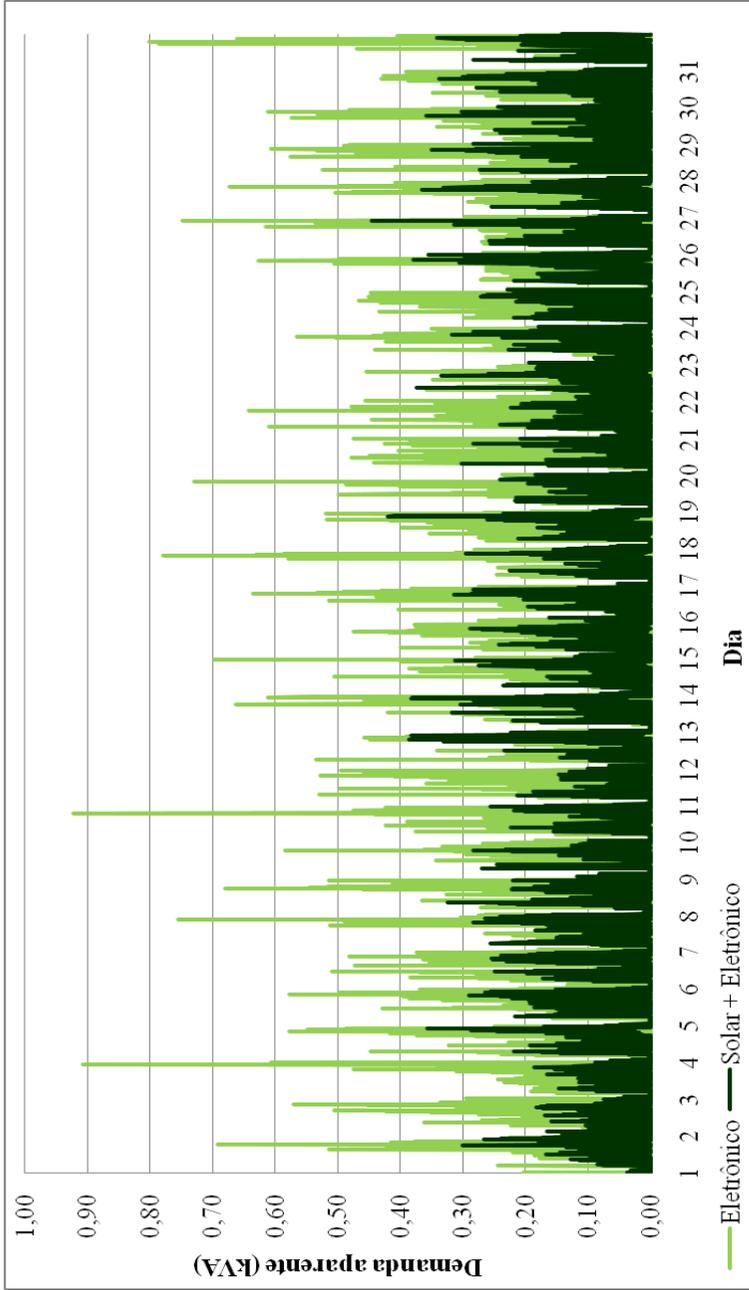


Figura E15 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Maio de 2004

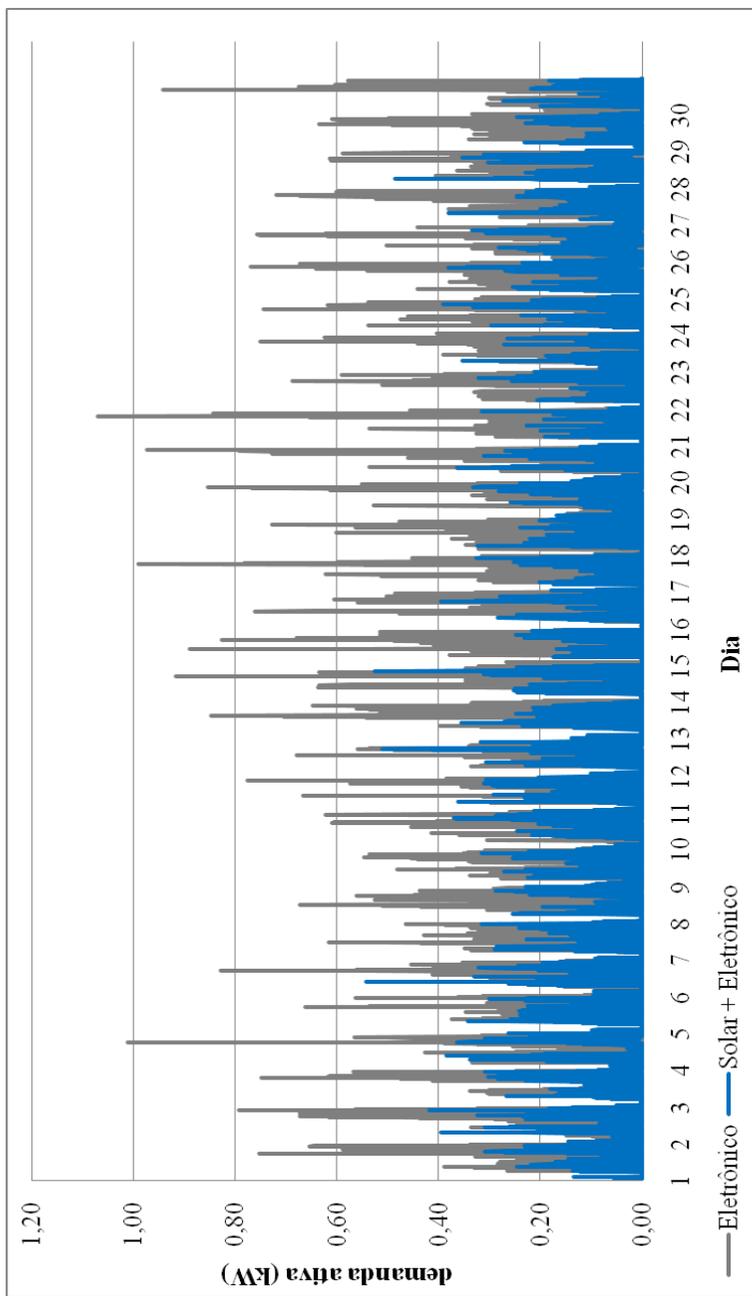


Figura E16 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Junho de 2004

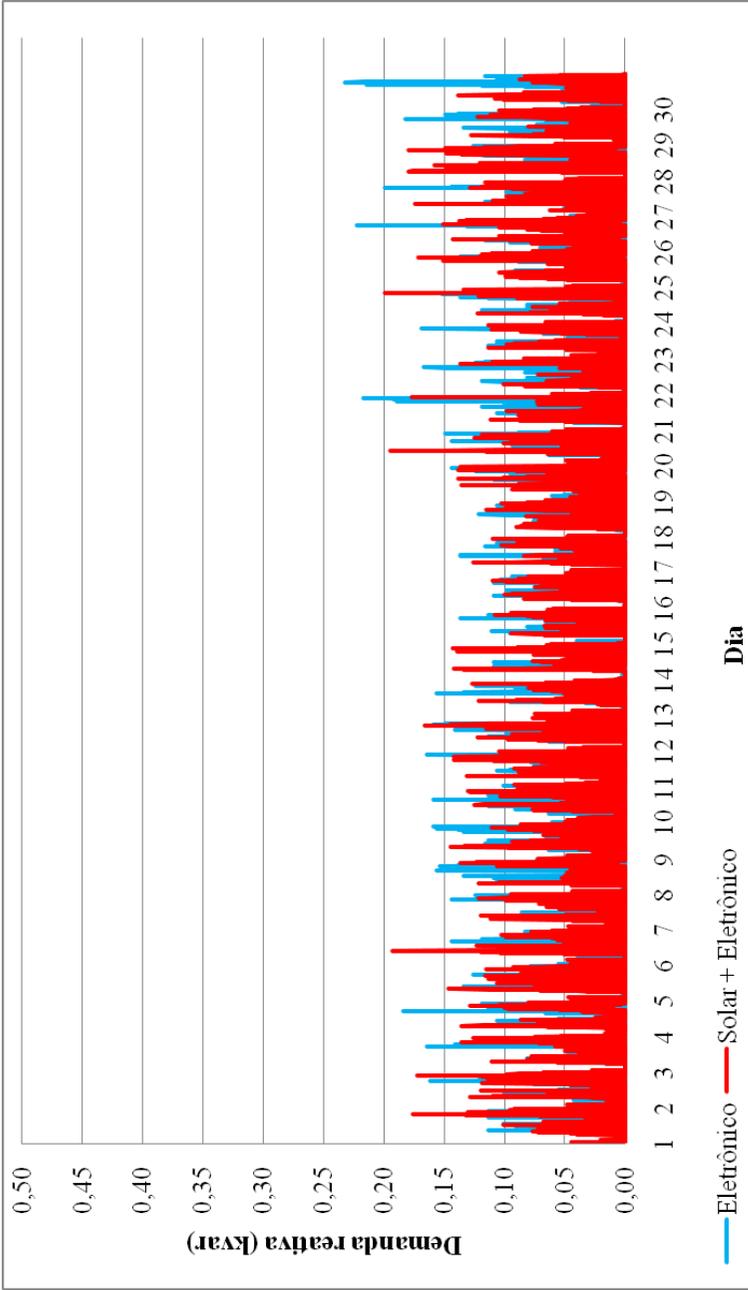


Figura E17 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Junho de 2004

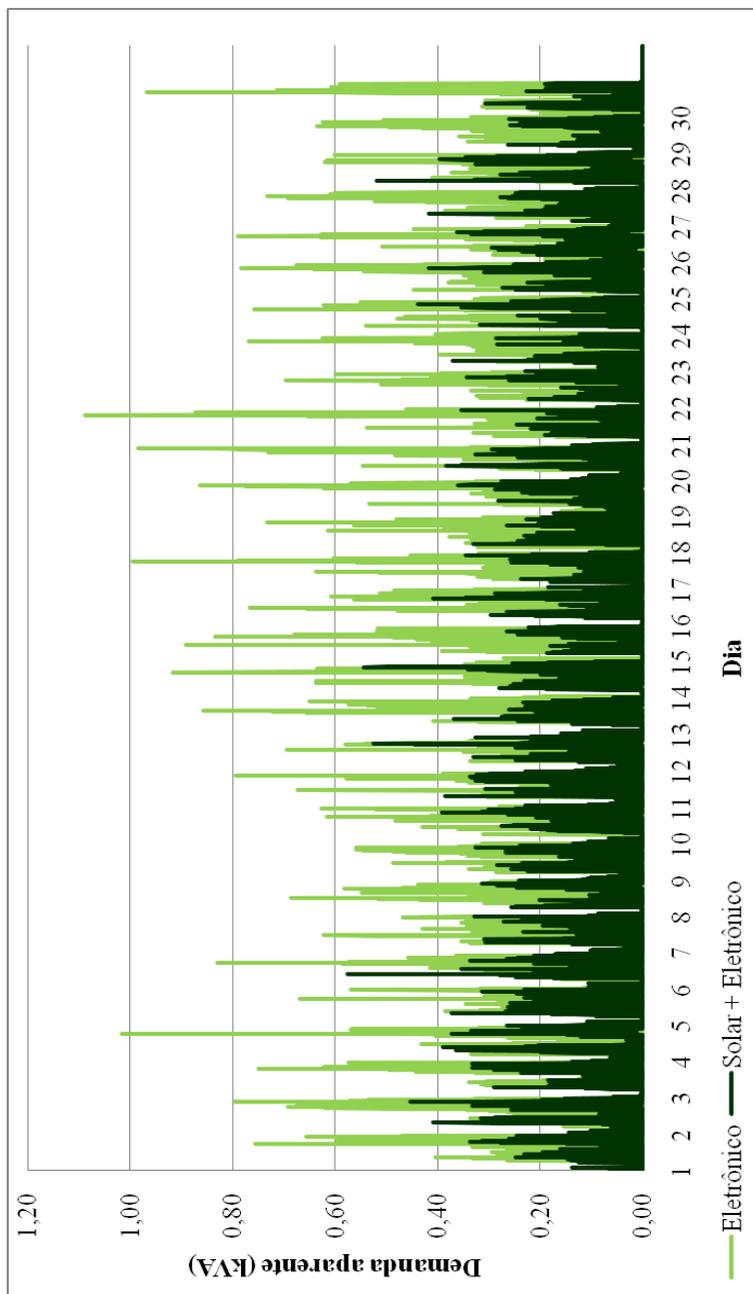


Figura E18 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Junho de 2004

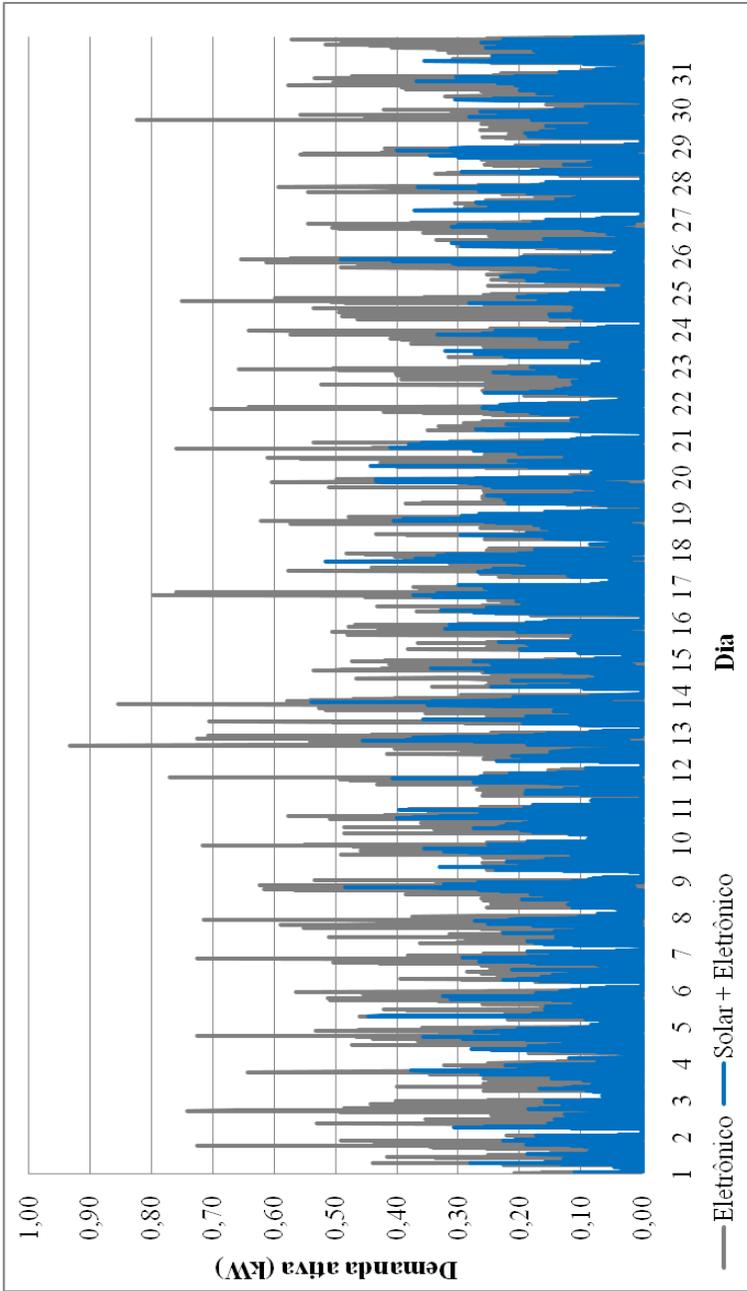


Figura E19 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Julho de 2004

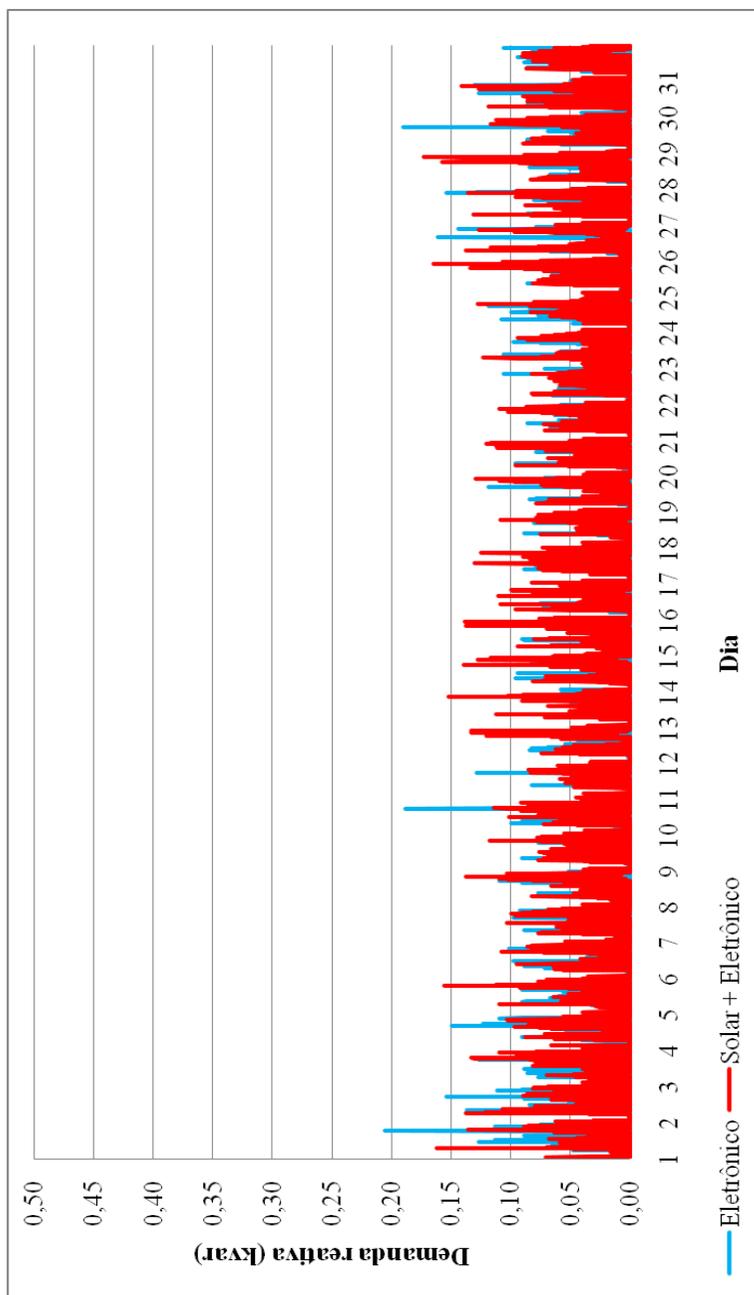


Figura E20 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Julho de 2004

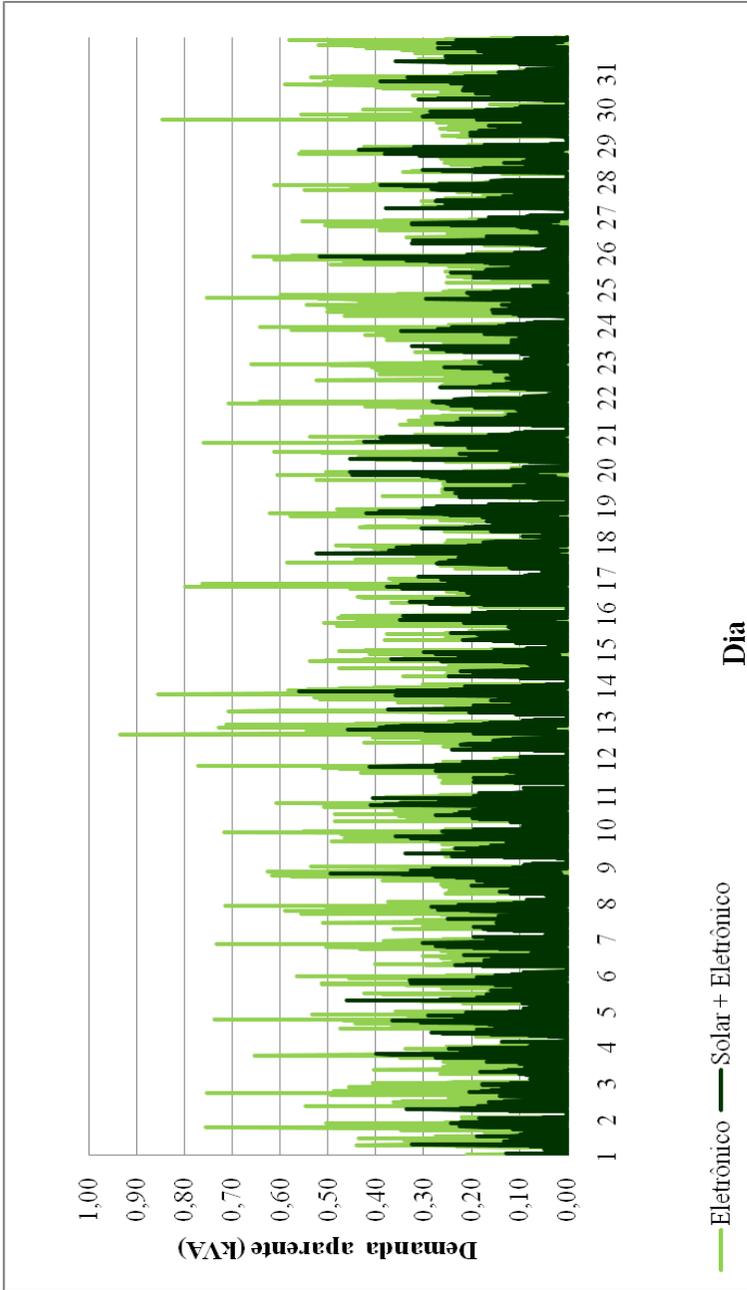


Figura E21 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Julho de 2004

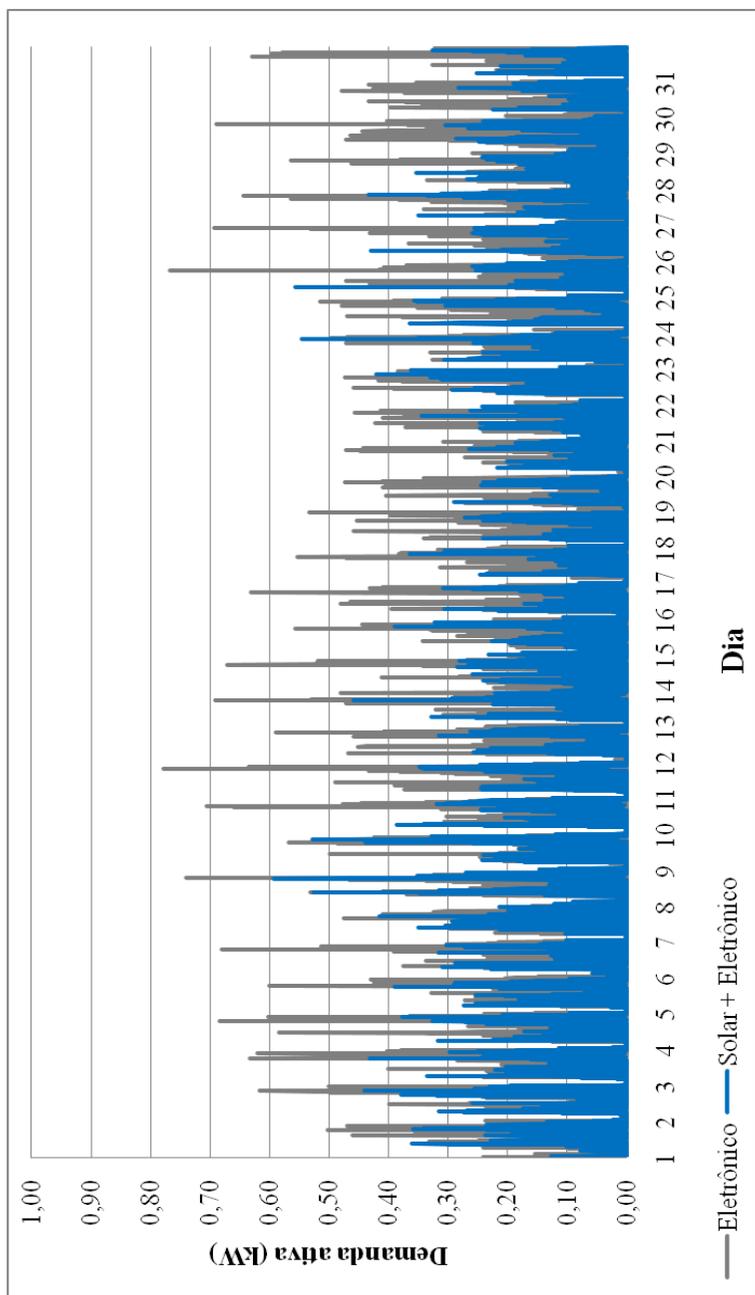


Figura E22 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Agosto de 2004

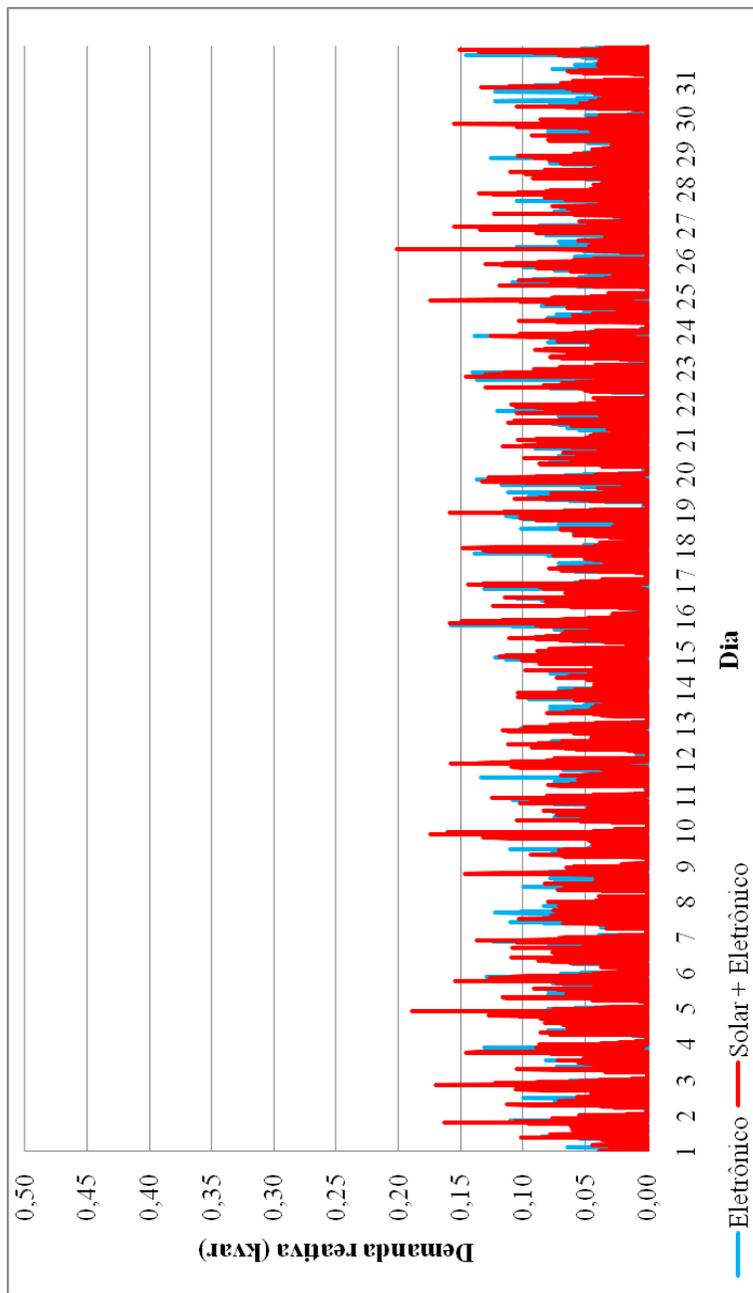


Figura E23 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Agosto de 2004

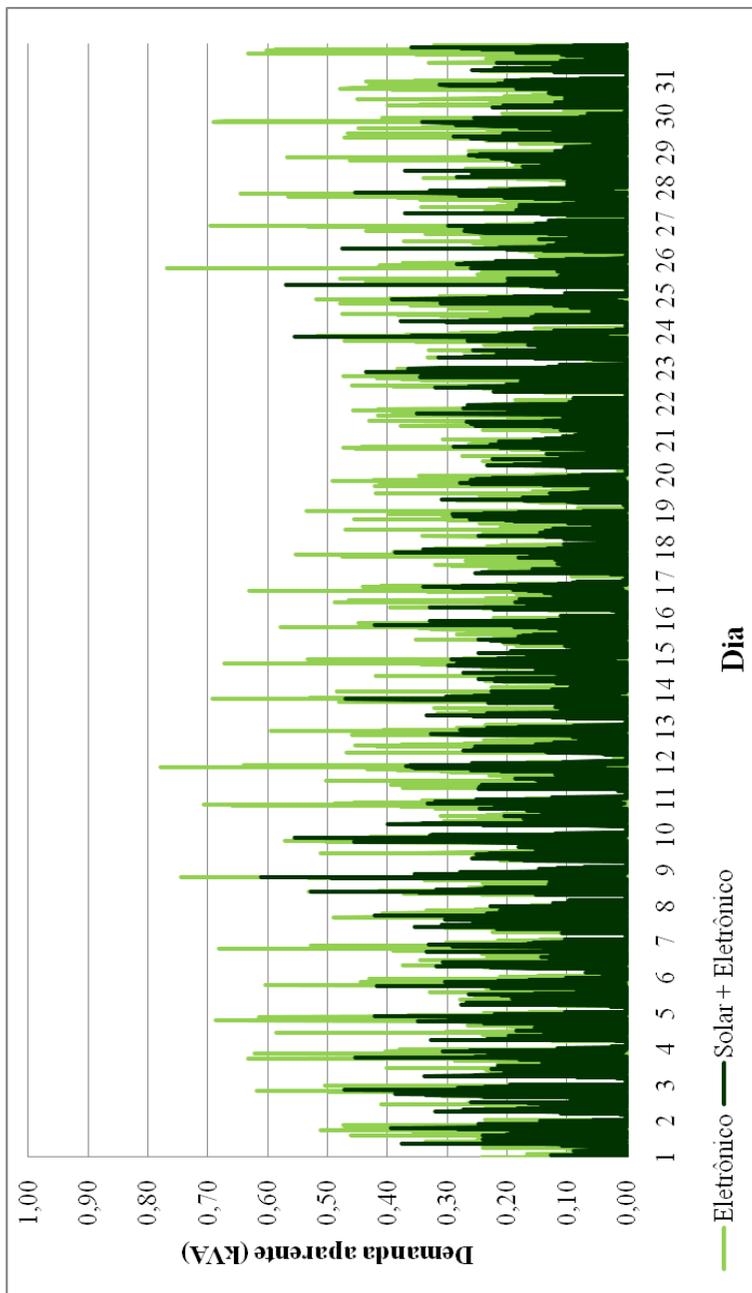


Figura E24 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Agosto de 2004

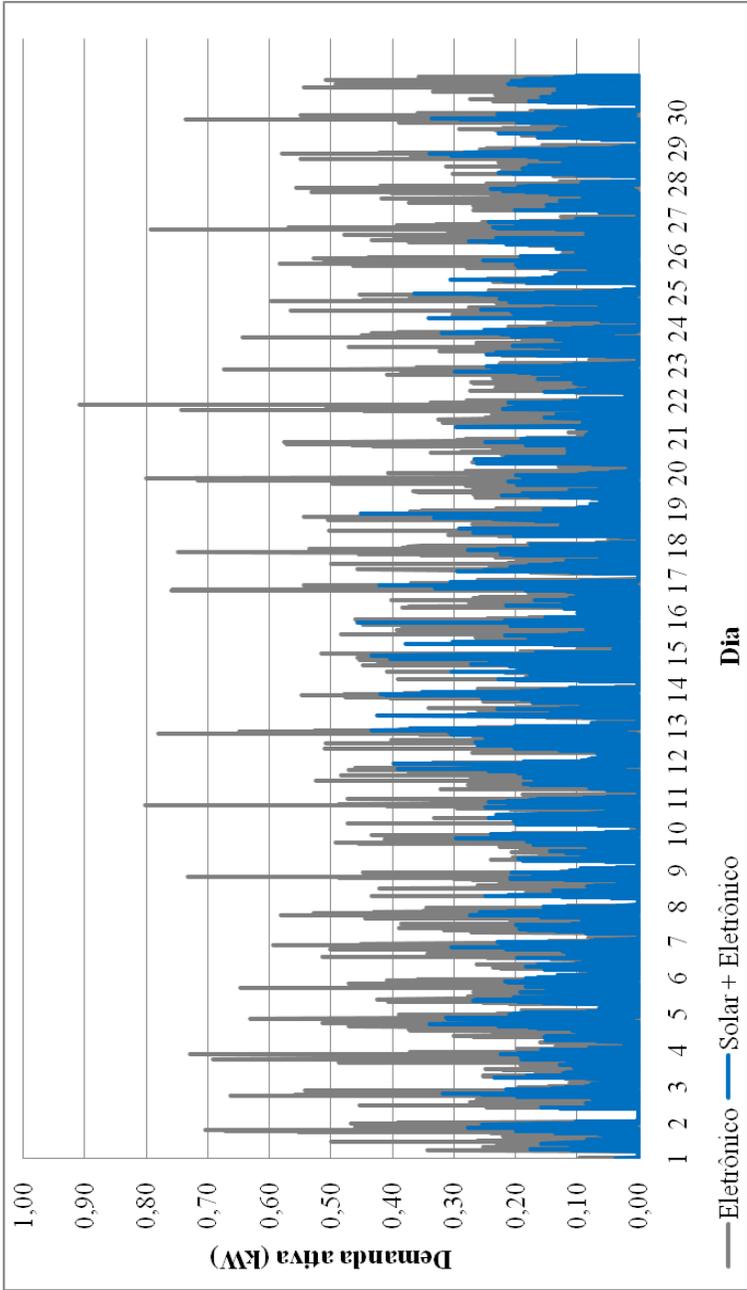


Figura E25 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Setembro de 2004

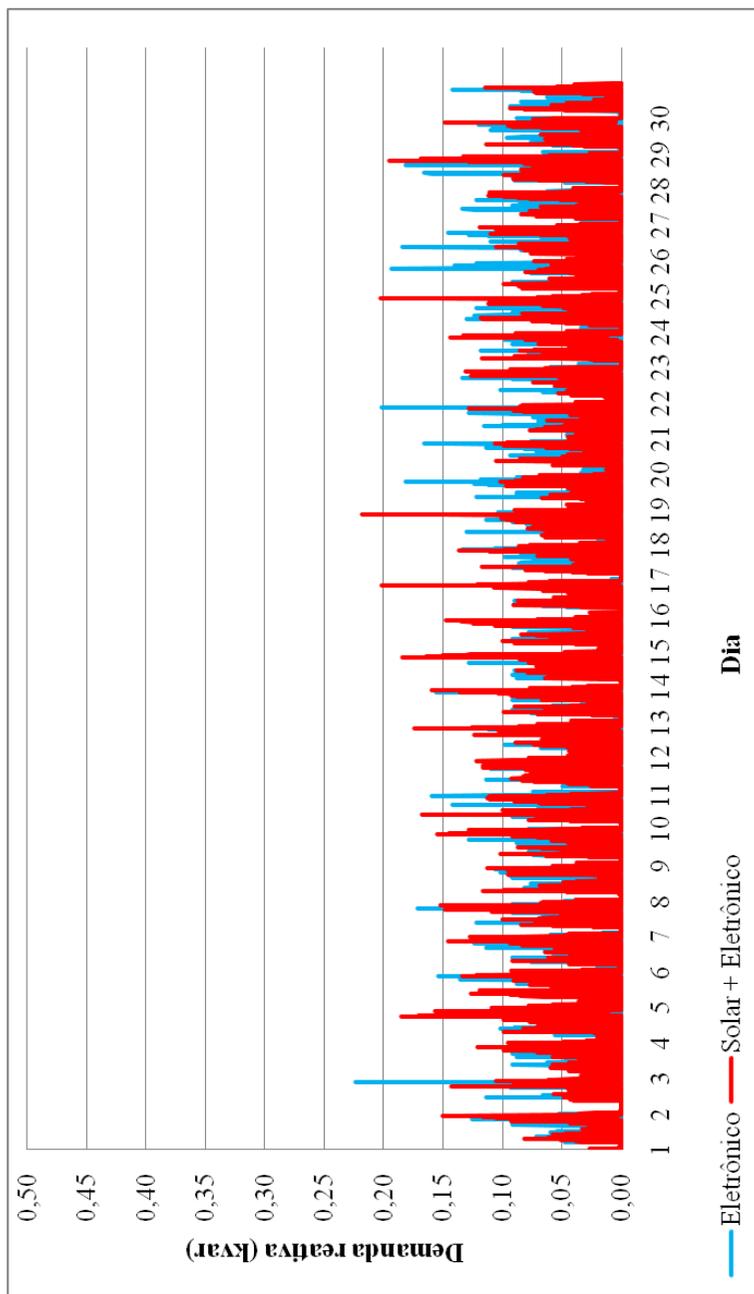


Figura E26 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Setembro de 2004

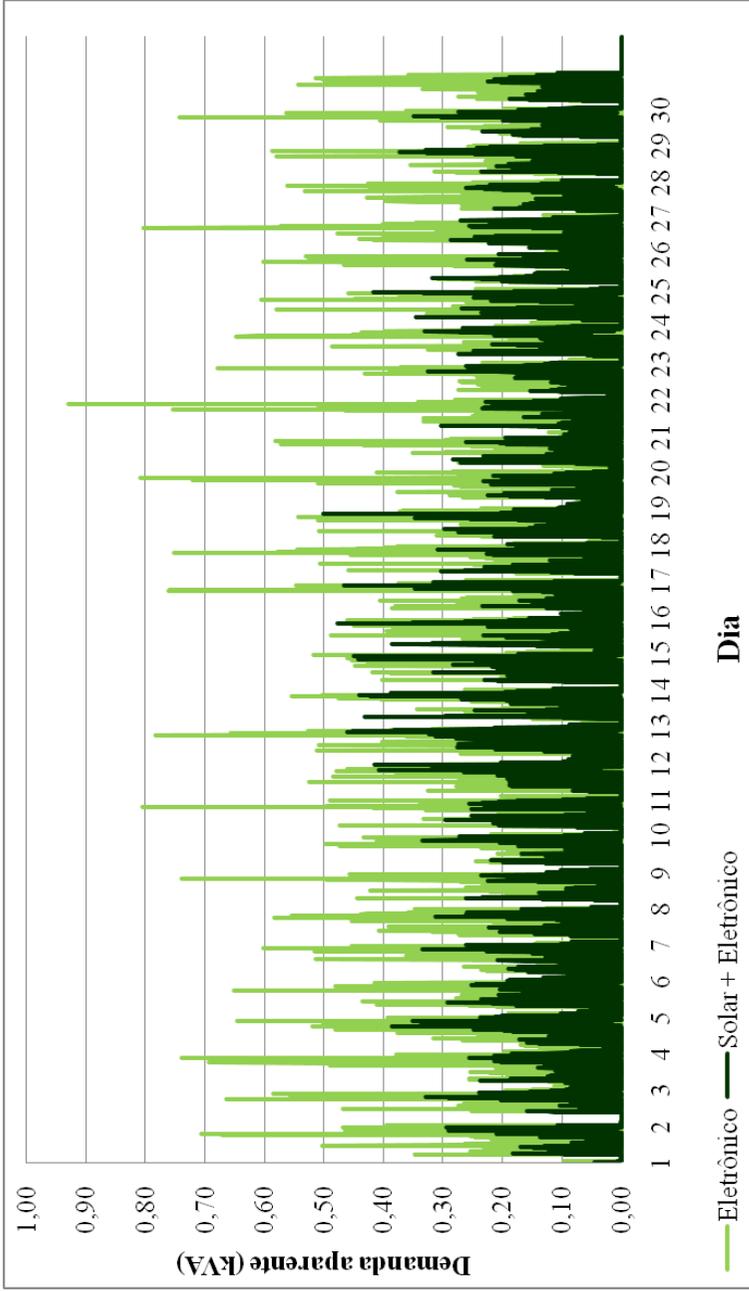


Figura E27 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Setembro de 2004

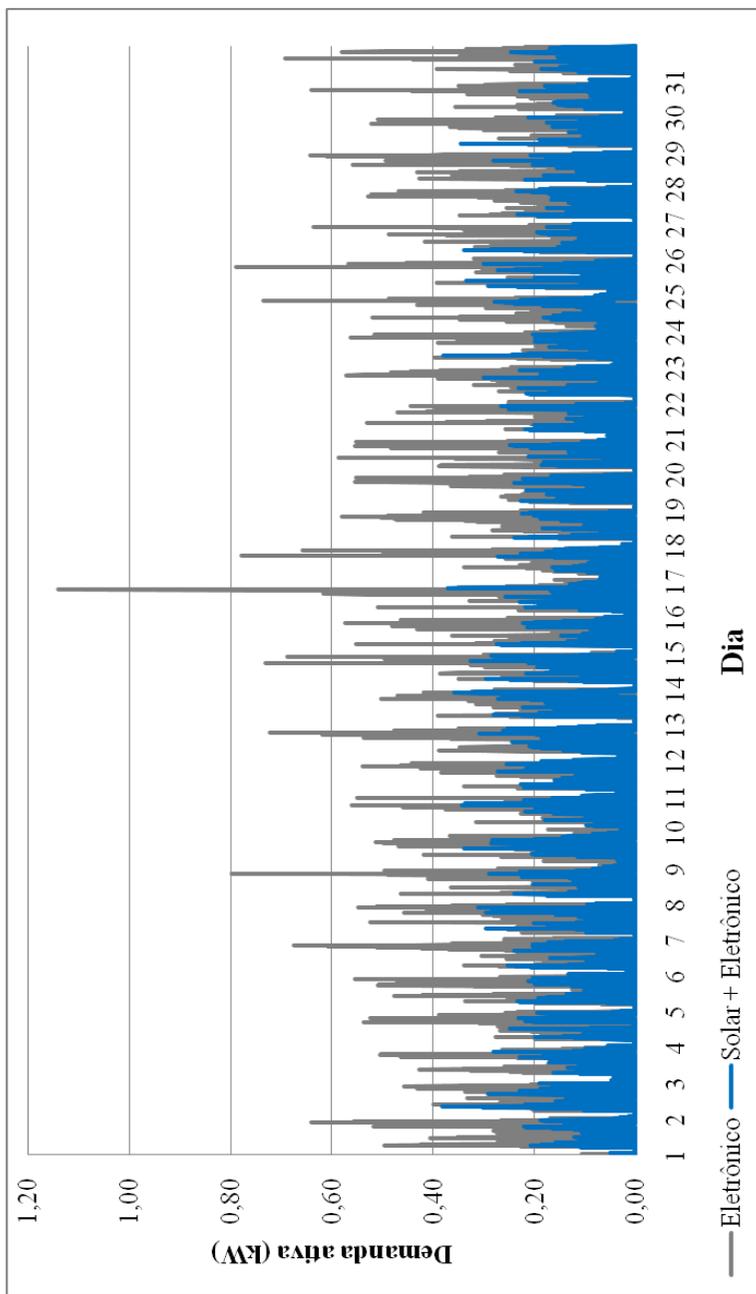


Figura E28 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Outubro de 2004

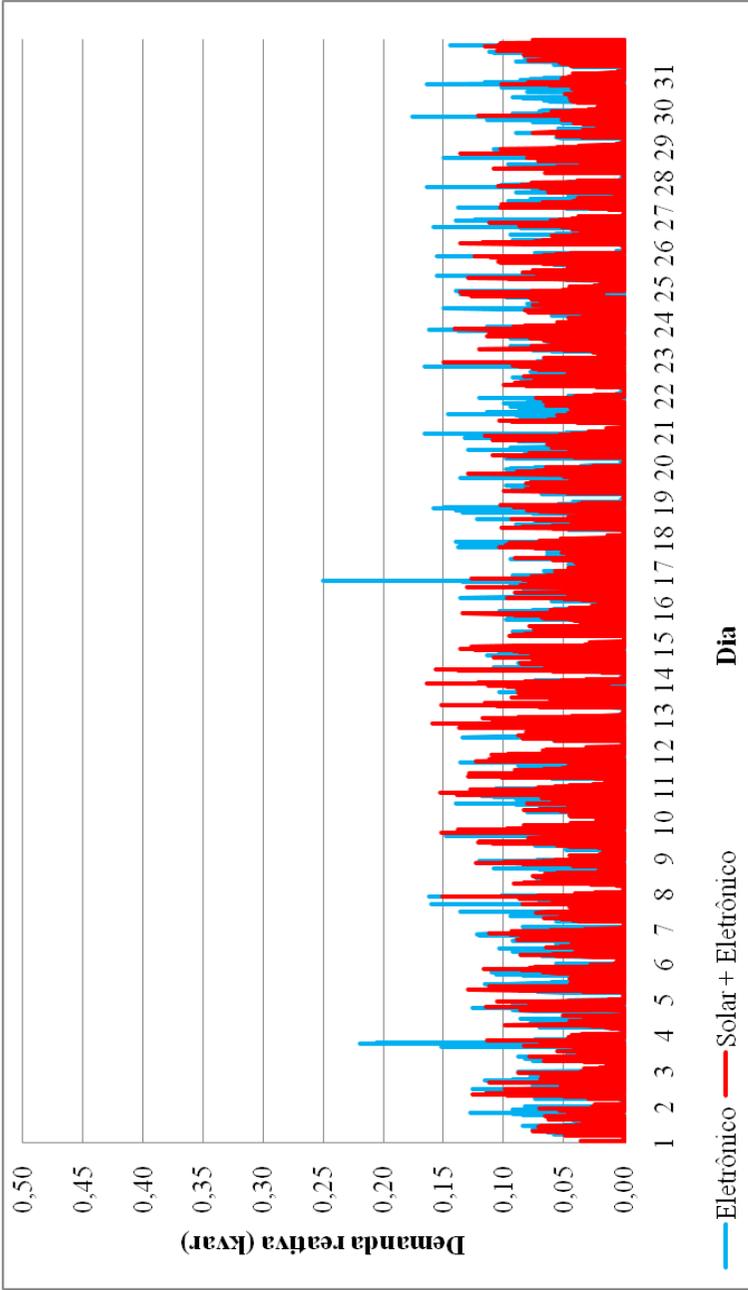


Figura E29 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Outubro de 2004

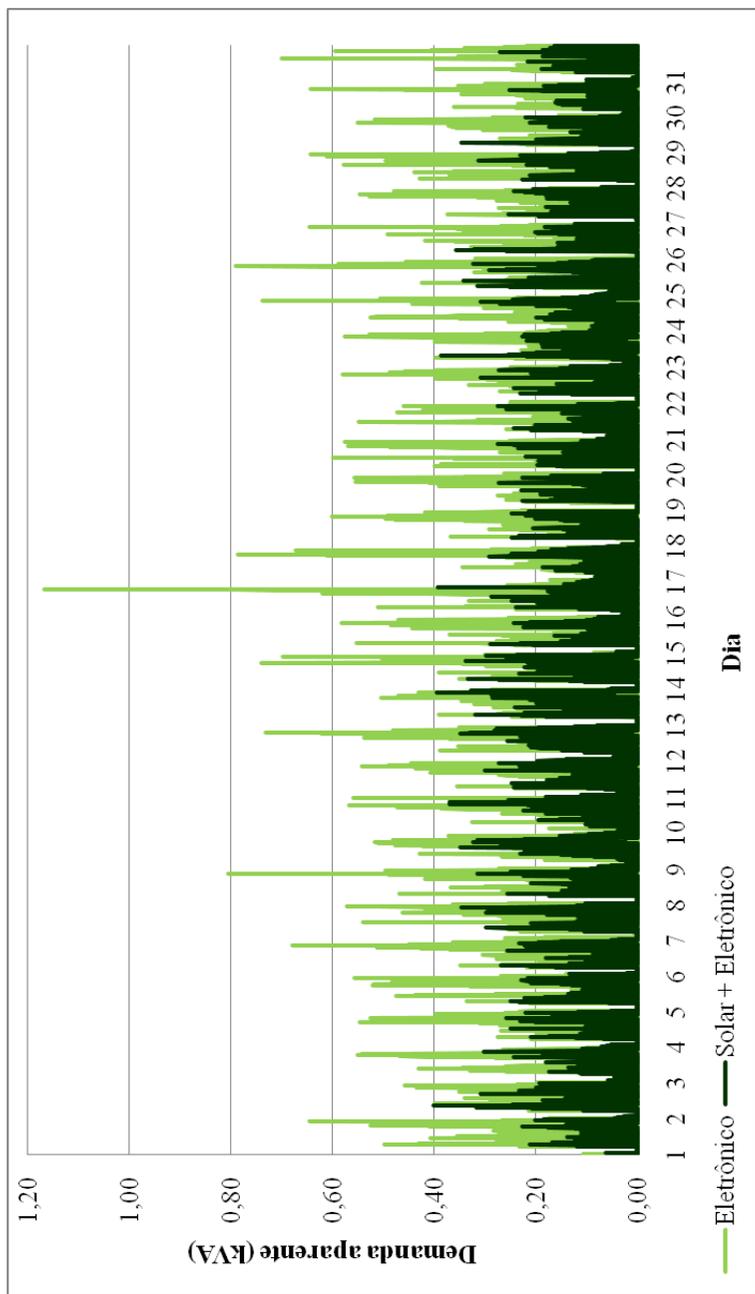


Figura E30 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Outubro de 2004

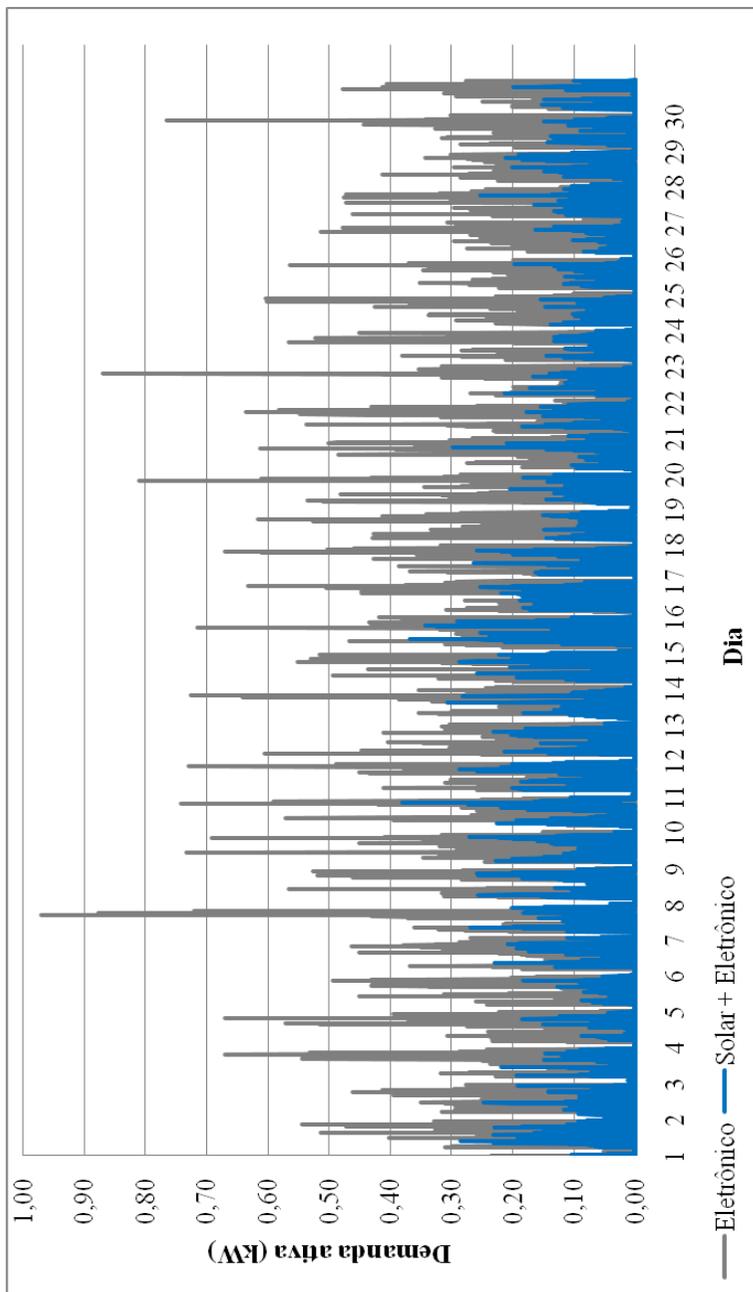


Figura E31 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Novembro de 2004

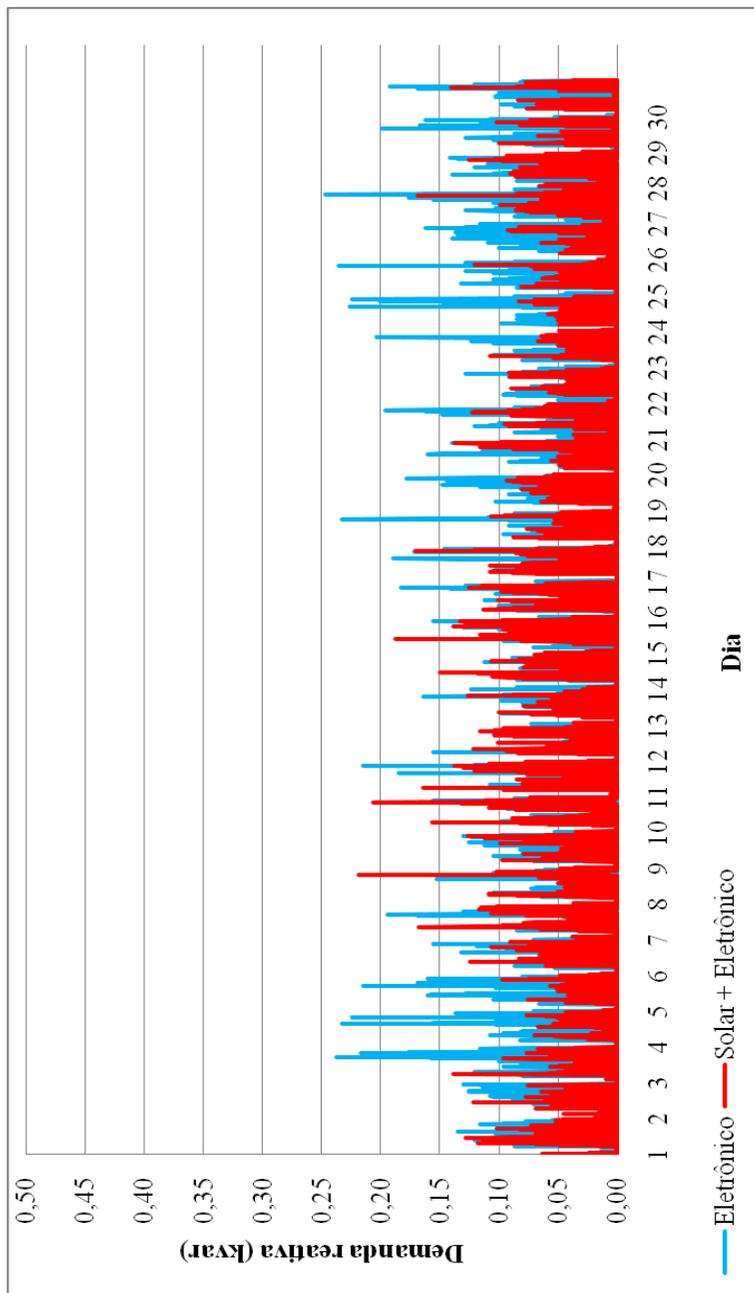


Figura E32 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Novembro de 2004

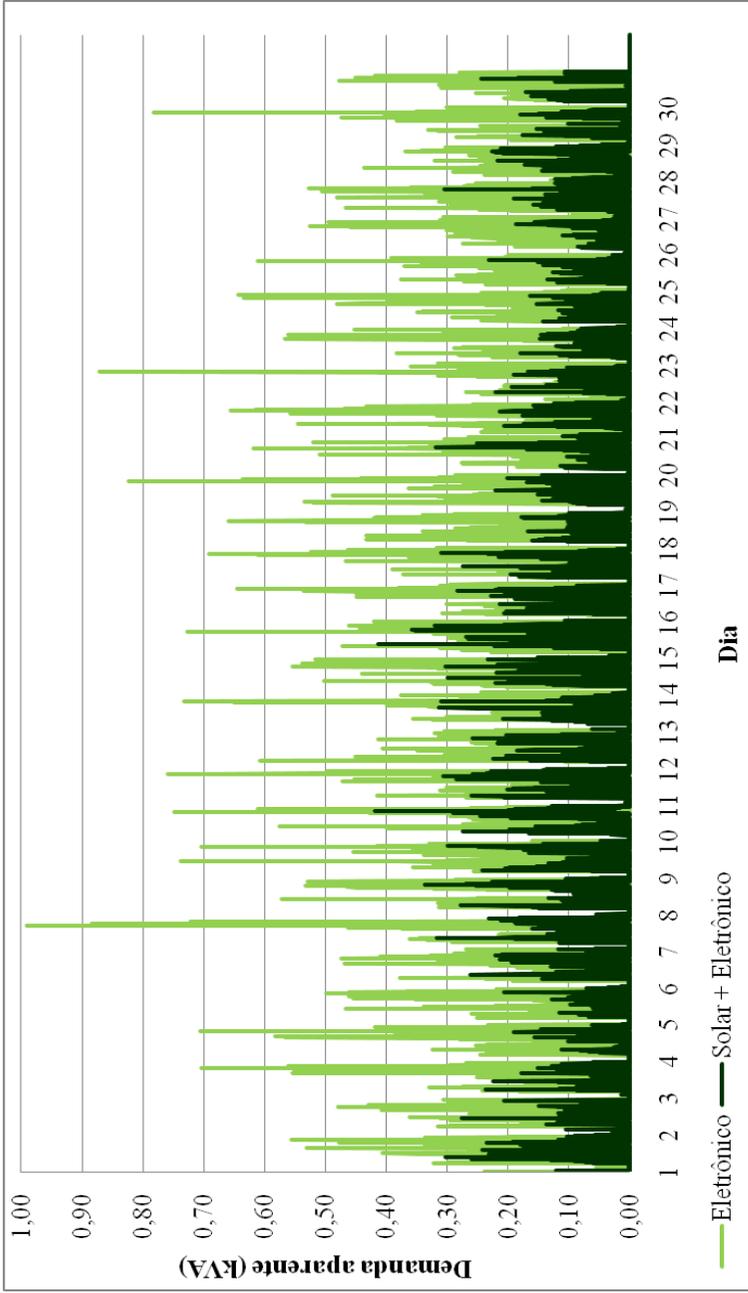


Figura E33 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Novembro de 2004

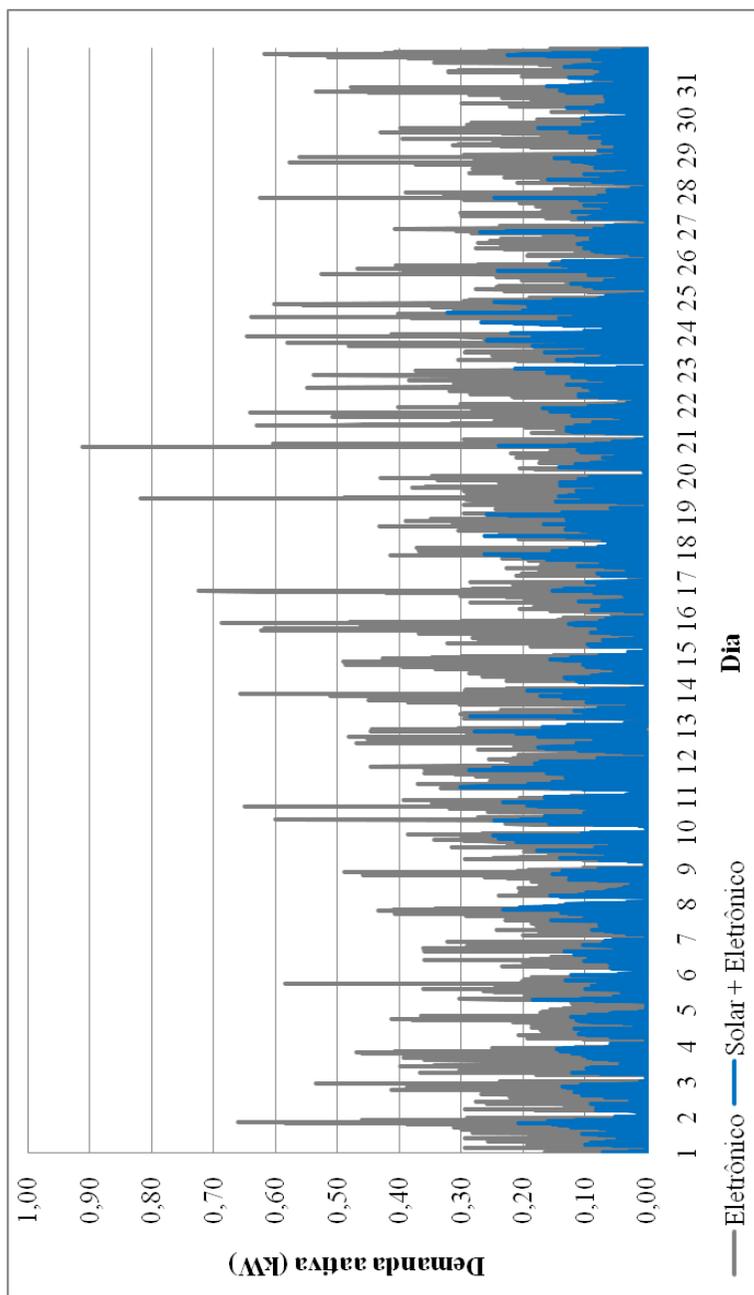


Figura E34 – Evolução diária da demanda de potência ativa - Dezembro de 2004

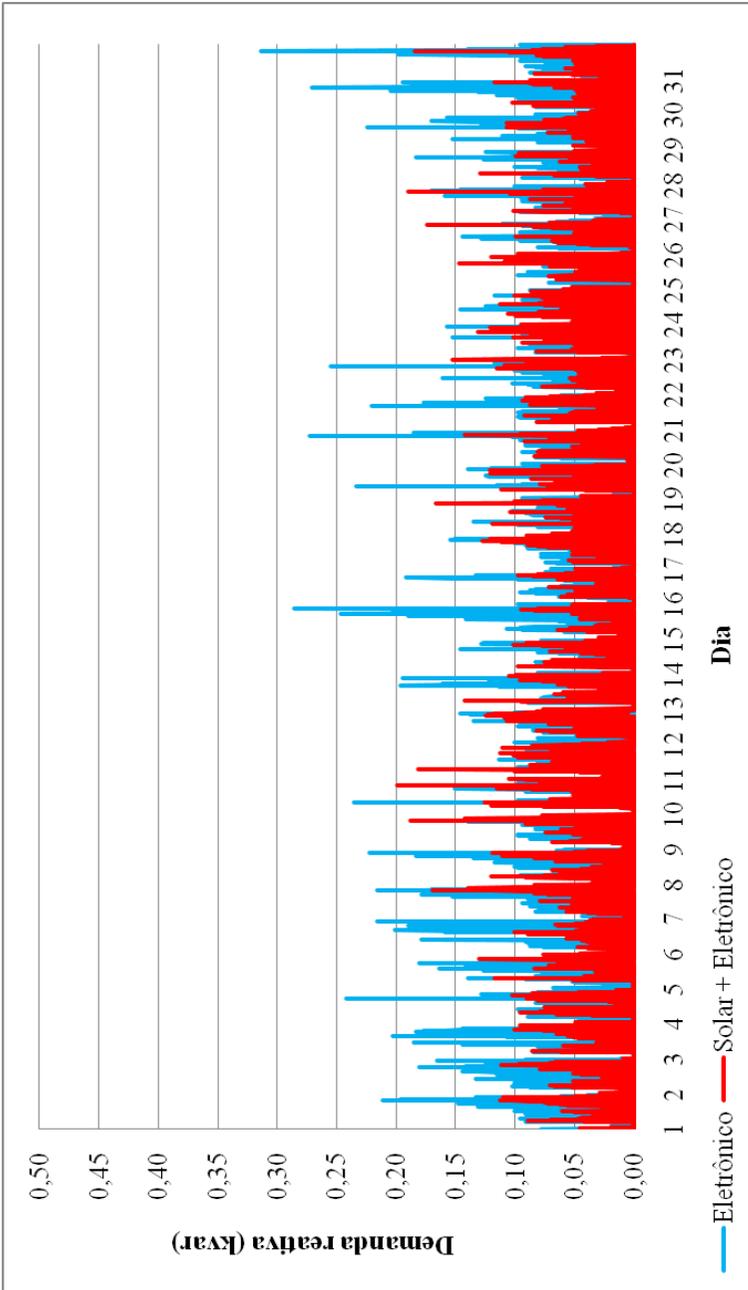


Figura E35 – Evolução diária da demanda de potência reativa - Dezembro de 2004

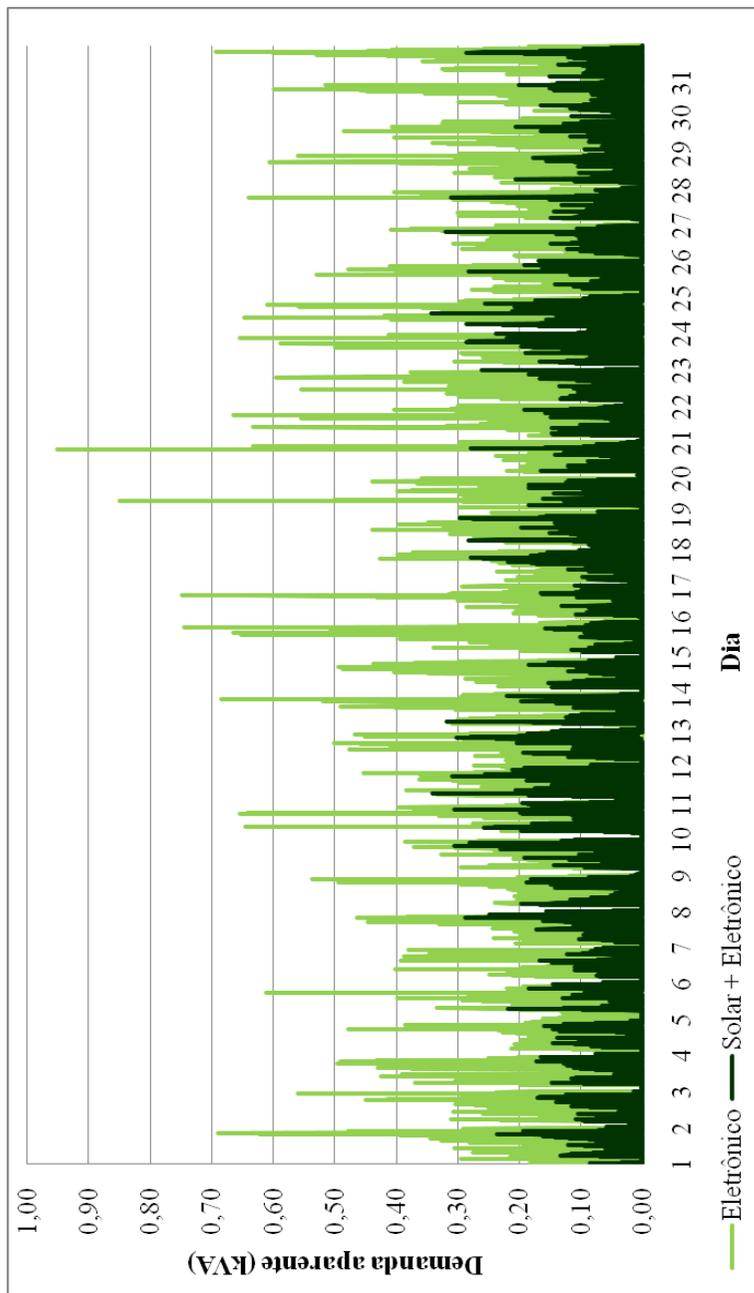


Figura E36 – Evolução diária da demanda de potência aparente - Dezembro de 2004

ANEXO A - ANÁLISE DE UM CHUVEIRO ELÉTRICO COM AJUSTE ELETRÔNICO DE TEMPERATURA

Fonte: Moraes & Perin, 2000

Esta seção apresenta os resultados experimentais de um ensaio realizado em um chuveiro elétrico com ajuste eletrônico de temperatura disponível no mercado. O equipamento em questão emprega, para o ajuste da temperatura, um gradador com controle de fase.

7.1 Especificações e diagrama elétrico

O chuveiro elétrico, marca Botega, modelo Thermo System, apresenta as seguintes especificações fornecidas pelo fabricante:

- Tensão nominal: 220 V
- Potência: 6.800 W

O ajuste da temperatura deste aparelho é realizado por um gradador com controle de fase (por ângulo de disparo) que alimenta a resistência de aquecimento do chuveiro. O circuito do gradador é mostrado na Fig. 7.1.

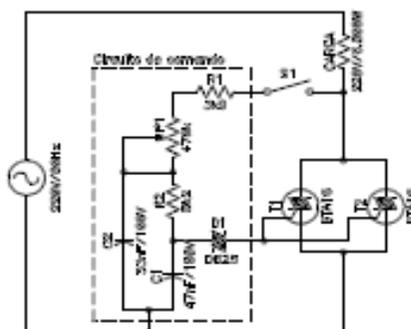


Fig. 7.1 – Diagrama esquemático do gradador com controle de fase.

Nesta topologia, clássica, o potenciômetro P1 (através do qual o usuário ajusta a temperatura desejada) modifica a constante de tempo de carga do capacitor C1, formada por R1, R2, P1 e C1.

Quando a tensão no capacitor C1 atinge um valor aproximadamente igual à tensão de avalanche do diac D1 (uma tensão da ordem de 30 V) é injetado nos terminais de gate dos triacs T1 e T2 um pulso de corrente de

curta duração e de grande intensidade, suficiente para que os triacs entrem em condução. Entrando em condução, os triacs fecham a malha de carga do capacitor C1, impedindo que o mesmo volte a carregar-se até o final do semiciclo, quando a corrente na carga se extingue e os triacs entram em bloqueio. Desta forma, a cada novo semiperíodo da tensão da rede inicia um novo ciclo de carga e descarga do capacitor C1 e o instante em que ocorre o pulso de disparo dos triacs, ou seja, o ângulo de disparo fica definido pela sua constante de carga.

Esta técnica de controle do gradador (controle por fase) confere ao circuito grande simplicidade e robustez, mas apresenta uma série de problemas que ficarão evidentes nas páginas a seguir, onde serão apresentados os resultados de ensaios experimentais realizados no chuveiro. Pode-se adiantar que a estrutura da Fig. 7.1 possui características indesejáveis, tais como o baixo fator de potência e um rico conteúdo harmônico na forma de onda da corrente de entrada.

7.2 Resultados experimentais

7.2.1 Ângulo de disparo: 0 grau

A Fig. 7.2 apresenta a tensão (com valor eficaz igual a 208 V) e a corrente (com valor eficaz igual a 30 A) na entrada do chuveiro elétrico.

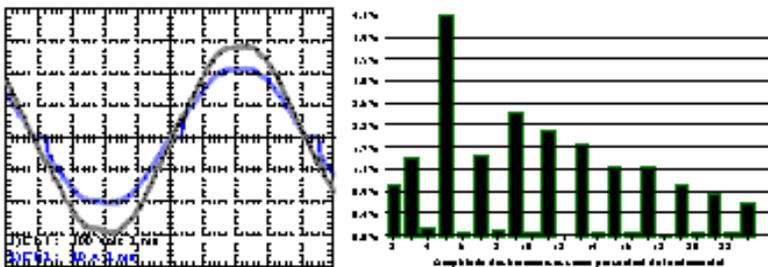


Fig. 7.2 – Tensão e corrente na entrada do chuveiro e amplitude das harmônicas da corrente com valores percentuais da fundamental.

Os resultados da análise harmônica, efetuada a partir da aquisição das formas de onda da Fig. 7.2, são apresentados na Tabela 7.1. Observa-se a Taxa de Distorção Harmônica da corrente igual a 6,60% e o ângulo de

deslocamento entre a fundamental da corrente e da tensão igual a $1,03^\circ$, resultando em um fator de potência calculado igual a 0,996.

Tabela 7.1 – Análise harmônica das formas de onda da corrente e da tensão da Fig. 7.2.

Tensão	Corrente	Potência	Tensão THD	Corrente THD	Fator de Potência	Fator de deslocamento	Potência Aparente	Potência Reativa
208 V	30 A	6,22 kW	2,98%	6,60%	0,996	1,03 graus	6,24 kVA	549 VAR

	Freq.	Tensão RMS	Tensão % F	Tensão Fase	Corrente RMS	Corrente % F	Corrente Fase
Fundamental	60 Hz	207 V	100,00%	0,0	29,9 A	100,00%	0,0
Harmônica 2	120 Hz	2,26 V	1,09%	-116	301 mA	1,01%	-109
Harmônica 3	180 Hz	2,96 V	1,43%	-82,6	461 mA	1,54%	-131
Harmônica 4	240 Hz	320 mV	0,15%	16,4	47 mA	0,16%	27,5
Harmônica 5	300 Hz	4,39 V	2,12%	-163	1,29 A	4,32%	-163
Harmônica 6	360 Hz	164 mV	0,08%	140	16,5 mA	0,06%	-82
Harmônica 7	420 Hz	1,47 V	0,71%	-49,3	475 mA	1,59%	-156
Harmônica 8	480 Hz	136 mV	0,07%	38,3	33,9 mA	0,11%	-47,8
Harmônica 9	540 Hz	612 mV	0,30%	93,9	719 mA	2,40%	165
Harmônica 10	600 Hz	96,2 mV	0,05%	-119	20,1 mA	0,07%	97,8
Harmônica 11	660 Hz	790 mV	0,38%	-32,9	618 mA	2,06%	-166
Harmônica 12	720 Hz	31 mV	0,01%	-71,7	3,27 mA	0,01%	-94,6
Harmônica 13	780 Hz	429 mV	0,21%	-56,7	535 mA	1,79%	-146
Harmônica 14	840 Hz	64 mV	0,03%	-134	20,2 mA	0,07%	121
Harmônica 15	900 Hz	573 mV	0,28%	45,2	405 mA	1,35%	-132
Harmônica 16	960 Hz	79,2 mV	0,04%	86,6	16,2 mA	0,05%	46,1
Harmônica 17	1,02 kHz	591 mV	0,29%	-15,4	409 mA	1,37%	-100
Harmônica 18	1,08 kHz	192 mV	0,09%	77,1	11,4 mA	0,04%	133
Harmônica 19	1,14 kHz	273 mV	0,13%	92,1	295 mA	0,99%	-78,4
Harmônica 20	1,2 kHz	63,8 mV	0,03%	-24,2	18,6 mA	0,06%	36,6
Harmônica 21	1,26 kHz	693 mV	0,33%	65,8	249 mA	0,83%	-32,2
Harmônica 22	1,32 kHz	164 mV	0,08%	29,2	17,3 mA	0,06%	-27,3
Harmônica 23	1,38 kHz	358 mV	0,17%	120	192 mA	0,64%	-23,5

7.2.2 Ângulo de disparo: 30 graus

A Fig. 7.3 apresenta a tensão (com valor eficaz igual a 206 V) e a corrente (com valor eficaz igual a 29,4 A) na entrada do chuveiro elétrico.

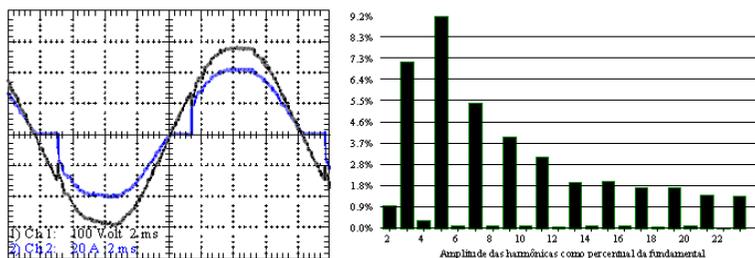


Fig. 7.3 – Tensão e corrente na entrada do chuveiro e amplitude das harmônicas da corrente com valores percentuais da fundamental.

Os resultados da análise harmônica, efetuada a partir da aquisição das formas de onda da Fig.7.3, são apresentados na Tabela 7.2. Observa-se a

Taxa de Distorção Harmônica da corrente igual a 14,50% e o ângulo de deslocamento entre a fundamental da corrente e da tensão igual a 4,75°, resultando em um fator de potência calculado igual a 0,987.

Tabela 7.2 – Análise harmônica das formas de onda da corrente e da tensão da Fig. 7.3.

Tensão	Corrente	Potência	Tensão THD	Corrente THD	Fator de Potência	Fator de deslocamento	Potência Aparente	Potência Reativa
206 V	29,4 A	5,97 kW	3,09%	14,50%	0,987	4,75 graus	6,05 kVA	961 VAR

	Freq	Tensão RMS	Tensão % F	Tensão Fase	Corrente RMS	Corrente % F	Corrente Fase
Fundamental	60 Hz	205 V	100,00%	0,0	29,1 A	100,00%	0,0
Harmônica 2	120 Hz	2,15 V	1,05%	-117	287 mA	0,99%	-104
Harmônica 3	180 Hz	3,53 V	1,72%	-73,9	2,1 A	7,21%	147
Harmônica 4	240 Hz	252 mV	0,12%	12	101 mA	0,35%	24
Harmônica 5	300 Hz	3,27 V	1,59%	-156	2,67 A	9,18%	172
Harmônica 6	360 Hz	185 mV	0,09%	-154	38,4 mA	0,13%	-19,9
Harmônica 7	420 Hz	2,16 V	1,05%	-12,6	1,57 A	5,40%	-149
Harmônica 8	480 Hz	179 mV	0,09%	-10,3	28,2 mA	0,10%	83,2
Harmônica 9	540 Hz	1,4 V	0,68%	74,3	1,15 A	3,96%	-124
Harmônica 10	600 Hz	62,6 mV	0,03%	-77,8	30,5 mA	0,10%	143
Harmônica 11	660 Hz	862 mV	0,42%	53,2	902 mA	3,10%	-80,1
Harmônica 12	720 Hz	80,5 mV	0,04%	-89,9	22,1 mA	0,08%	-143
Harmônica 13	780 Hz	696 mV	0,34%	153	579 mA	1,99%	-31,1
Harmônica 14	840 Hz	118 mV	0,06%	131	31,9 mA	0,11%	-105
Harmônica 15	900 Hz	673 mV	0,33%	163	568 mA	2,02%	34,3
Harmônica 16	960 Hz	57,9 mV	0,03%	89,1	34,1 mA	0,12%	-51,5
Harmônica 17	1,02 kHz	989 mV	0,48%	-90,3	516 mA	1,77%	85,1
Harmônica 18	1,08 kHz	59,8 mV	0,03%	119	21,8 mA	0,08%	51,4
Harmônica 19	1,14 kHz	764 mV	0,37%	-73,8	508 mA	1,75%	131
Harmônica 20	1,2 kHz	240 mV	0,12%	-30,8	28,7 mA	0,10%	1,1
Harmônica 21	1,26 kHz	1,26 V	0,61%	12,6	424 mA	1,46%	-180
Harmônica 22	1,32 kHz	136 mV	0,07%	-33,5	9,01 mA	0,03%	107
Harmônica 23	1,38 kHz	845 mV	0,41%	58,2	401 mA	1,38%	-138

7.2.3 Ângulo de disparo: 60 graus

A Fig. 7.4 apresenta a tensão (com valor eficaz igual a 207 V) e a corrente (com valor eficaz igual a 26,8 A) na entrada do chuveiro elétrico.

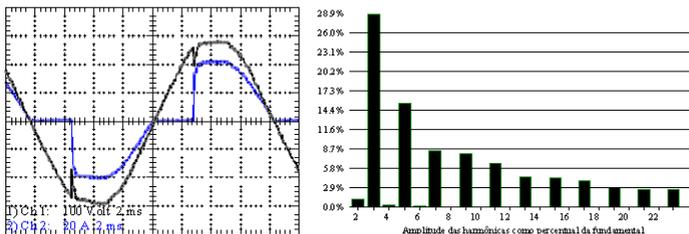


Fig. 7.4 – Tensão e corrente na entrada do chuveiro e amplitude das harmônicas da corrente com valores percentuais da fundamental.

Os resultados da análise harmônica, efetuada a partir da aquisição das formas de onda da Fig. 7.4, são apresentados na Tabela 7.3. Observa-se a Taxa de Distorção Harmônica da corrente igual a 36,58% e o ângulo de

deslocamento entre a fundamental da corrente e da tensão igual a $16,8^\circ$, resultando em um fator de potência calculado igual a 0,895.

Tabela 7.3 – Análise harmônica das formas de onda da corrente e da tensão da Fig. 7.4.

Tensão	Corrente	Potência	Tensão THD	Corrente THD	Fator de Potência	Fator de deslocamento	Potência Aparente	Potência Reativa
207 V	26,8 A	4,97 kW	3,38%	36,58%	0,895	16,8 graus	5,55 kVA	2,47 kVAR

	Freq.	Tensão RMS	Tensão % F	Tensão Fase	Corrente RMS	Corrente % F	Corrente Fase
Fundamental	59,9 Hz	206 V	100,00%	0,0	25 A	100,00%	0,0
Harmônica 2	120 Hz	2,24 V	1,08%	-122	293 mA	1,17%	-116
Harmônica 3	180 Hz	4,07 V	1,97%	-40,3	7,22 A	28,38%	-180
Harmônica 4	240 Hz	252 mV	0,12%	-822 m	109 mA	0,44%	29,1
Harmônica 5	300 Hz	3,47 V	1,68%	164	3,9 A	15,58%	-133
Harmônica 6	359 Hz	175 mV	0,08%	-171	61,5 mA	0,25%	-149
Harmônica 7	419 Hz	718 mV	0,35%	-130	2,14 A	8,56%	-40,1
Harmônica 8	479 Hz	186 mV	0,09%	34,1	15,5 mA	0,06%	-127
Harmônica 9	539 Hz	574 mV	0,28%	-39,7	2,01 A	8,04%	56,3
Harmônica 10	599 Hz	130 mV	0,06%	-155	13,3 mA	0,05%	-25
Harmônica 11	659 Hz	1,73 V	0,84%	47,1	1,64 A	6,55%	134
Harmônica 12	719 Hz	61,7 mV	0,03%	23,2	15,8 mA	0,06%	111
Harmônica 13	779 Hz	1,57 V	0,76%	-173	1,12 A	4,48%	-136
Harmônica 14	839 Hz	101 mV	0,05%	142	21,4 mA	0,09%	-116
Harmônica 15	899 Hz	993 mV	0,48%	-52,4	1,11 A	4,45%	-48,6
Harmônica 16	959 Hz	151 mV	0,07%	-178	6,79 mA	0,03%	131
Harmônica 17	1,02 kHz	1,34 V	0,65%	42,9	962 mA	3,93%	33,3
Harmônica 18	1,08 kHz	200 mV	0,10%	72,6	5,34 mA	0,02%	-32,9
Harmônica 19	1,14 kHz	1,56 V	0,76%	-178	752 mA	3,01%	126
Harmônica 20	1,2 kHz	78,3 mV	0,04%	67,5	27 mA	0,11%	50,9
Harmônica 21	1,26 kHz	1,3 V	0,63%	-46,9	694 mA	2,77%	-149
Harmônica 22	1,32 kHz	178 mV	0,09%	-110	25,6 mA	0,10%	158
Harmônica 23	1,38 kHz	1,29 V	0,62%	55	666 mA	2,66%	-67,7

7.2.4 Ângulo de disparo: 90 graus

A Fig. 7.5 apresenta a tensão (com valor eficaz igual a 209 V) e a corrente (com valor eficaz igual a 21,7 A) na entrada do chuveiro elétrico.

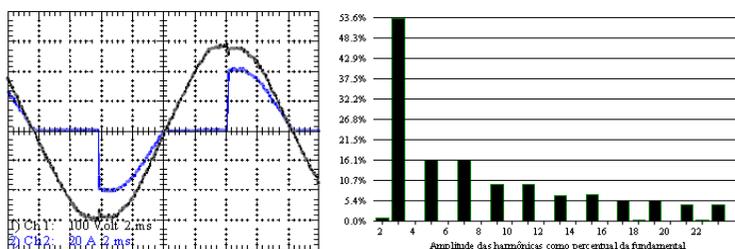


Fig. 7.5 – Tensão e corrente na entrada do chuveiro e amplitude das harmônicas da corrente com valores percentuais da fundamental.

Os resultados da análise harmônica, efetuada a partir da aquisição das formas de onda da Fig. 7.5, são apresentados na Tabela 7.4. Observa-se a Taxa de Distorção Harmônica da corrente igual a 61,56% e o ângulo de

deslocamento entre a fundamental da corrente e da tensão igual a $32,2^\circ$, resultando em um fator de potência calculado igual a 0,723.

Tabela 7.4 – Análise harmônica das formas de onda da corrente e da tensão da Fig. 7.5.

Tensão	Corrente	Potência	Tensão THD	Corrente THD	Fator de Potência	Fator de deslocamento	Potência Aparente	Potência Realiva
209 V	21,7 A	3,29 kW	3,33%	61,56%	0,723	32,2 graus	4,55 kVA	3,14 kVAR

	Freq	Tensão RMS	Tensão % F	Tensão Fase	Corrente RMS	Corrente % F	Corrente Fase
Fundamental	60 Hz	209 V	100,00%	0,0	18,3 A	100,00%	0,0
Harmônica 2	120 Hz	2,2 V	1,05%	-117	181 mA	0,99%	-133
Harmônica 3	180 Hz	2,57 V	1,23%	9,18	9,83 A	53,63%	-156
Harmônica 4	240 Hz	352 mV	0,17%	4,11	25,8 mA	0,14%	-173
Harmônica 5	300 Hz	5,28 V	2,52%	-158	2,97 A	16,22%	-40
Harmônica 6	360 Hz	126 mV	0,06%	119	62,3 mA	0,34%	-112
Harmônica 7	420 Hz	2,01 V	0,96%	11,2	2,95 A	16,11%	68,3
Harmônica 8	480 Hz	1,21 mV	0,06%	27,2	39,8 mA	0,22%	10,8
Harmônica 9	540 Hz	1,03 V	0,49%	157	1,79 A	9,78%	180
Harmônica 10	600 Hz	24,7 mV	0,01%	-164	61,9 mA	0,34%	130
Harmônica 11	660 Hz	1,04 V	0,50%	16,3	1,8 A	9,84%	-67,3
Harmônica 12	720 Hz	89,7 mV	0,04%	97	50,1 mA	0,27%	-123
Harmônica 13	780 Hz	804 mV	0,38%	-141	1,26 A	6,87%	43,2
Harmônica 14	840 Hz	33,4 mV	0,02%	-109	60,4 mA	0,33%	15,7
Harmônica 15	900 Hz	686 mV	0,33%	53,3	1,28 A	6,96%	156
Harmônica 16	960 Hz	73,2 mV	0,03%	82,7	51,9 mA	0,28%	122
Harmônica 17	1,02 kHz	441 mV	0,21%	-147	1,02 A	5,54%	-92,3
Harmônica 18	1,08 kHz	121 mV	0,06%	143	71,1 mA	0,39%	-125
Harmônica 19	1,14 kHz	630 mV	0,30%	-5,09	1,01 A	5,49%	22,8
Harmônica 20	1,2 kHz	291 mV	0,14%	40,5	50,9 mA	0,28%	-31,5
Harmônica 21	1,26 kHz	597 mV	0,29%	142	821 mA	4,48%	134
Harmônica 22	1,32 kHz	160 mV	0,08%	-132	65,5 mA	0,36%	83,5
Harmônica 23	1,38 kHz	862 mV	0,41%	-20,8	810 mA	4,41%	-110

7.2.5 Ângulo de disparo: 120 graus

A Fig. 7.6 apresenta a tensão (com valor eficaz igual a 213 V) e a corrente (com valor eficaz igual a 13,5 A) na entrada do chuveiro elétrico.

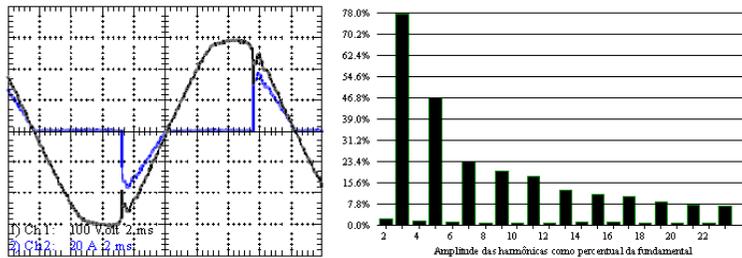


Fig. 7.6 – Tensão e corrente na entrada do chuveiro e amplitude das harmônicas da corrente com valores percentuais da fundamental.

Os resultados da análise harmônica, efetuada a partir da aquisição das formas de onda da Fig. 7.6, são apresentados na Tabela 7.5. Observa-se a Taxa de Distorção Harmônica da corrente igual a 101,10% e o ângulo de

deslocamento entre a fundamental da corrente e da tensão igual a $50,7^\circ$, resultando em um fator de potência calculado igual a 0,453.

Tabela 7.5 – Análise harmônica das formas de onda da corrente e da tensão da Fig. 7.6.

Tensão	Corrente	Potência	Tensão THD	Corrente THD	Fator de Potência	Fator de deslocamento	Potência Aparente	Potência Real
213 V	13,5 A	1,31 kW	3,02%	101,10%	0,453	50,7 graus	2,88 kVA	2,57 kVAR

	Freq.	Tensão RMS	Tensão % F	Tensão Fase	Corrente RMS	Corrente % F	Corrente Fase
Fundamental	59,9 Hz	213 V	100,00%	0,0	9,31 A	100,00%	0,0
Harmônica 2	120 Hz	2,16 V	1,02%	-124	212 mA	2,28%	162
Harmônica 3	180 Hz	881 mV	0,41%	177	7,26 A	78,01%	-132
Harmônica 4	240 Hz	270 mV	0,13%	-8,04	165 mA	1,77%	-132
Harmônica 5	300 Hz	2,18 V	1,03%	-166	4,37 A	46,93%	36,4
Harmônica 6	359 Hz	229 mV	0,11%	140	124 mA	1,34%	17,5
Harmônica 7	419 Hz	1,96 V	0,92%	-76	2,22 A	23,81%	179
Harmônica 8	479 Hz	150 mV	0,07%	-20,2	105 mA	1,12%	15,1
Harmônica 9	539 Hz	2,56 V	1,20%	117	1,88 A	20,21%	-54,5
Harmônica 10	599 Hz	213 mV	0,10%	-128	103 mA	1,11%	-70,1
Harmônica 11	659 Hz	1,84 V	0,87%	-9,75	1,7 A	18,21%	94,2
Harmônica 12	719 Hz	161 mV	0,08%	73,7	110 mA	1,18%	68,1
Harmônica 13	779 Hz	1,39 V	0,65%	-125	1,21 A	13,05%	-124
Harmônica 14	839 Hz	149 mV	0,07%	-46,2	133 mA	1,43%	-155
Harmônica 15	899 Hz	1,8 V	0,85%	108	1,06 A	11,40%	7,09
Harmônica 16	959 Hz	291 mV	0,14%	145	120 mA	1,29%	-8,2
Harmônica 17	1,02 kHz	1,76 V	0,83%	-19,4	1 A	10,77%	150
Harmônica 18	1,08 kHz	114 mV	0,05%	11,5	110 mA	1,18%	139
Harmônica 19	1,14 kHz	1,6 V	0,75%	-137	812 mA	8,72%	-67,9
Harmônica 20	1,2 kHz	184 mV	0,09%	-45,8	107 mA	1,15%	-90
Harmônica 21	1,26 kHz	1,64 V	0,77%	107	718 mA	7,71%	68,8
Harmônica 22	1,32 kHz	230 mV	0,11%	172	117 mA	1,26%	53,1
Harmônica 23	1,38 kHz	1,78 V	0,84%	-11,2	672 mA	7,22%	-149

7.2.6 Ângulo de disparo: 150 graus

A Fig. 7.7 apresenta a tensão (com valor eficaz igual a 211 V) e a corrente (com valor eficaz igual a 5,33 A) na entrada do chuveiro elétrico.

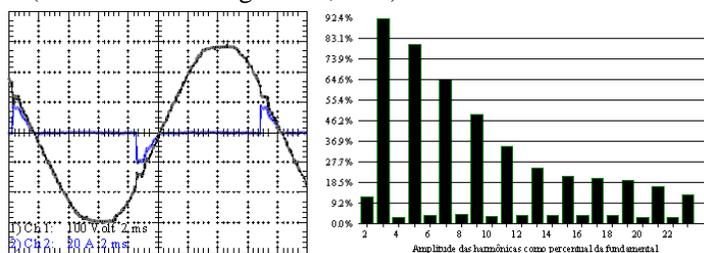


Fig. 7.7 – Tensão e corrente na entrada do chuveiro e amplitude das harmônicas da corrente com valores percentuais da fundamental.

Os resultados da análise harmônica, efetuada a partir da aquisição das formas de onda da Fig. 7.7, são apresentados na Tabela 7.6. Observa-se a Taxa de Distorção Harmônica da corrente igual a 160,03% e o ângulo de

deslocamento entre a fundamental da corrente e da tensão igual a $68,4^\circ$, resultando em um fator de potência calculado igual a 0,190.

Tabela 7.6 – Análise harmônica das formas de onda da corrente e da tensão da Fig. 7.7.

Tensão	Corrente	Potência	Tensão THD	Corrente THD	Fator de Potência	Fator de deslocamento	Potência Aparente	Potência Reativa
211 V	5,33 A	214 W	3,11%	160,03%	0,190	68,4 graus	1,12 kVA	1,1 kVAR

	Freq	Tensão RMS	Tensão % F	Tensão Fase	Corrente RMS	Corrente % F	Corrente Fase
Fundamental	60 Hz	211 V	100,00%	0,0	2,71 A	100,00%	0,0
Harmônica 2	120 Hz	2,15 V	1,02%	-118	338 mA	12,46%	165
Harmônica 3	180 Hz	2,42 V	1,15%	-104	2,5 A	92,35%	-114
Harmônica 4	240 Hz	374 mV	0,18%	-31,5	72,7 mA	2,68%	-124
Harmônica 5	300 Hz	4,6 V	2,18%	177	2,19 A	80,81%	63,1
Harmônica 6	360 Hz	165 mV	0,08%	175	98,2 mA	3,62%	78,3
Harmônica 7	420 Hz	1,74 V	0,83%	18,8	1,77 A	65,23%	-122
Harmônica 8	480 Hz	106 mV	0,05%	-151	119 mA	4,39%	-119
Harmônica 9	540 Hz	927 mV	0,44%	55,2	1,33 A	49,17%	50,3
Harmônica 10	600 Hz	184 mV	0,09%	119	92,1 mA	3,40%	54,9
Harmônica 11	660 Hz	982 mV	0,47%	-54,9	949 mA	35,00%	-146
Harmônica 12	720 Hz	71,8 mV	0,03%	-67,1	103 mA	3,79%	-155
Harmônica 13	780 Hz	1,11 V	0,53%	-127	682 mA	25,14%	12
Harmônica 14	840 Hz	146 mV	0,07%	-9,41	98,9 mA	3,65%	-1,45
Harmônica 15	900 Hz	1,26 V	0,60%	135	579 mA	21,35%	162
Harmônica 16	960 Hz	142 mV	0,07%	-80,5	103 mA	3,81%	150
Harmônica 17	1,02 kHz	590 mV	0,28%	62,7	561 mA	20,69%	-43,1
Harmônica 18	1,08 kHz	344 mV	0,16%	164	102 mA	3,77%	-35,8
Harmônica 19	1,14 kHz	731 mV	0,35%	27,5	526 mA	19,40%	120
Harmônica 20	1,2 kHz	293 mV	0,14%	103	85,6 mA	3,16%	117
Harmônica 21	1,26 kHz	825 mV	0,39%	-34,9	468 mA	17,26%	-79,5
Harmônica 22	1,32 kHz	324 mV	0,15%	30,9	84,2 mA	3,11%	-76,5
Harmônica 23	1,38 kHz	1,21 V	0,58%	-91,2	361 mA	13,33%	86,6

7.3 Conclusões

As Tabelas 7.1 a 7.6 indicam que a estrutura em análise apresenta fator de potência reduzido e que o mesmo diminui à medida que o ângulo de disparo dos triacs é aumentado. Nas Figuras 7.2 a 7.7 fica evidente o amplo conteúdo harmônico da forma de onda da corrente, com especial destaque para a terceira harmônica, resultando em elevadas taxas de distorção harmônica da corrente, que também se intensificam com o aumento do ângulo de disparo dos triacs. Estes números de fator de potência e de distorção harmônica da corrente são característicos de todos os gradadores que empregam o controle por fase. No entanto, quando se passa a considerar os níveis de corrente e de potência com que este e outros chuveiros elétricos similares trabalham, o baixo fator de potência e as harmônicas de corrente entregues à rede tornam-se parâmetros extremamente críticos. Inclusive é

esperado que, com a modificação do setor energético no Brasil (ingresso de capital privado), surjam normas mais rígidas que limitem tanto o fator de potência quanto as harmônicas para consumidores domésticos, e com isto certamente o chuveiro elétrico analisado, e outros que empreguem a mesma topologia, não poderão mais ser comercializados.