

ANDREA CARPENTER COSTA DOS SANTOS DA PAIXÃO

**CARACTERIZAÇÃO TIPOLÓGICA DE AGÊNCIAS BANCÁRIAS E
SEU POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA E
ETIQUETAGEM COM A IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P149c
2013

Paixão, Andréa Carpenter Costa dos Santos da, 1974-
Caracterização tipológica de agências bancárias e seu
potencial de economia de energia elétrica e etiquetagem com a
implantação de sistemas fotovoltaicos / Andréa Carpenter
Costa dos Santos da Paixão. – Viçosa, MG, 2013.
vii, 68 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Joyce Correna Carlo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 58-61.

1. Arquitetura e conservação de energia. 2. Simulação
(Computadores). 3. Geração de energia fotovoltaica.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo. II. Título.

CDD 22. ed. 720.472

ANDREA CARPENTER COSTA DOS SANTOS DA PAIXÃO

**CARACTERIZAÇÃO TIPOLOGICA DE AGÊNCIAS BANCÁRIAS E
SEU POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA E
ETIQUETAGEM COM A IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA : 08 de março de 2013

Antônio Cleber Goncalves Tibiriçá
(Coorientador)

Delly Oliveira Filho
(Coorientador)

Roberto de Almeida Goulart Lopes

Joyce Correna Carlo
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas bênçãos derramadas durante cada etapa do meu mestrado. Bênçãos sem as quais não conseguiria celebrar mais esta vitória em minha vida.

À poderosa intercessão de Maria, mãe de Jesus e nossa, que a todo o momento cuidou de mim.

A meu esposo maravilhoso e amado, que posso contar em todos os momentos bons ou difíceis, sempre atencioso, cuidadoso e orante.

Aos meus lindos filhos Samuel, Júlia, Marcela e a pequenina Mirian, que são estímulo de vida e amor para eu caminhar firme.

A meus familiares, por terem sido sustento e apoio na conquista desta vitória, a conclusão deste mestrado.

A minha comunidade Água Viva, que com paciência e oração me sustentaram.

A minha orientadora, professora Joyce Correna Carlo, sempre linda e disponível, pela orientação, pela atenção dispensada quando precisei, pela amizade, suporte e confiança. Sua competência também me inspira.

Aos professores Antônio Cleber Goncalves Tibiriçá e Delly Oliveira Filho pela coorientação, pelas correções e sugestões na confecção da dissertação.

Aos graduandos Ítalo Bruno ⁽¹⁾ e Flavia Frias ⁽²⁾, pelo apoio no processamento de dados ⁽¹⁾ e simulações adicionais ⁽²⁾.

Aos professores e funcionários do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, pelo ensino, disposição e oportunidades.

À Universidade Federal de Viçosa e ao programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, pela oportunidade de realização do curso e de ser novamente da primeira turma, fazendo parte da história do curso.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação, com os quais tive uma agradável convivência.

Aos membros da banca examinadora, que gentilmente aceitaram participar e contribuir para a avaliação, aperfeiçoamento e conclusão desta pesquisa.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE QUADROS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	5
1.1.1. Geral	5
1.1.2. Específicos	5
1.2. JUSTIFICATIVA	5
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. PROGRAMAS E AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	9
2.2. MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	14
2.3. RTQ-C E SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA	16
2.4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES COM FOCO EM AGÊNCIAS BANCÁRIAS	17
2.5. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
3. MÉTODO	22
3.1. DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO DA EDIFICAÇÃO	22
3.1.1. Levantamento da realidade construtiva	23
3.1.2. Identificação das características internas e propriedades térmicas dos materiais	25
3.1.3. Identificação do uso da energia	25
3.1.4. Definição do protótipo	26
3.2. TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS UTILIZADAS NO MODELO	26
3.3. SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO	27

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1. LEVANTAMENTOS DA REALIDADE CONSTRUTIVA PARA DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO	30
4.1.1. Uso exclusivo da edificação, sombreamento do entorno e número de pavimentos.	32
4.1.2. Características da fachada principal	33
4.1.3. Revestimentos externos e vidros na fachada principal	35
4.1.4. Sombreamento da fachada principal	36
4.1.5. Características da fachada secundária	37
4.1.6. Características da cobertura	37
4.1.7. Proteção solar	38
4.1.8. Propriedades dos materiais construtivos	40
4.1.9. Identificação de características internas e do uso da energia	40
4.2. PROTÓTIPOS COMPUTACIONAL REPRESENTATIVOS	41
4.3. MODELAGEM PARA SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA	43
4.3.1. Zoneamento térmico	43
4.3.2. Sistema de condicionamento de ar	45
4.3.3. Sistema fotovoltaico	46
4.4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA	47
4.4.1. Usos finais	47
4.4.2. Geração fotovoltaica e consumo de energia	49
5. CONCLUSÕES	55
5.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO	57
5.2. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
7. APÊNDICE	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Uso exclusivo do edifício.....	32
Figura 02 – Sombreamento pelo entorno.....	32
Figura 03 – Fachada principal, sem sombreamento e com um pavimento além do térreo.....	32
Figura 04 – Fachada principal de agência bancária de uso híbrido, com sombreamento no entorno e diversos pavimentos além do térreo.....	33
Figura 05 – Cor predominante na fachada principal.....	36
Figura 06 – Fachada principal de agência bancária com platibanda que oculta o telhado.....	37
Figura 07 – Abrangência da proteção solar no térreo.....	39
Figura 08 – Fachada principal de agência bancária de uso híbrido, com proteção solar no térreo (marquise) e no primeiro pavimento (balanço dos pavimentos superiores).....	39
Figura 09 – Perspectivas do protótipo representativo da agência elaboradas nos softwares Google SketchUp e AutoCAD.....	42
Figura 10 – Planta baixa do protótipo apresentando as zonas térmicas no <i>padrão core and shell</i>	43
Figura 11 – Usos finais para os protótipos 1 e 2.....	48
Figura 12 – Porcentagem dos usos finais para os protótipos 1 e 2.....	48
Figura 13 – Geração fotovoltaica mensal e consumo mensal em kWh/m ²	50
Figura 14 – Produção fotovoltaica mensal e consumo mensal em kWh.....	51
Figura 15 – Consumo pela rede e energia fornecida para a rede, em kWh/m ²	53
Figura 16 – Consumo direto e energia fornecida para a rede, em kWh/m ²	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis analisadas nas agências fotografadas.....	23
Quadro 2 – Características que definiram os protótipos representativos.....	31
Quadro 3 – Dimensões da fachada principal.....	33
Quadro 4 – Alturas das principais fachadas levantadas nas fotografias.....	34
Quadro 5 – Intervalos definidos para altura da fachada principal.....	34
Quadro 6 – Aberturas na fachada principal.....	35
Quadro 7 – Características dos revestimentos e vidros da fachada principal.....	35
Quadro 8 – Sombreamento da fachada principal.....	36
Quadro 9 – Características da fachada secundária.....	37
Quadro 10 – Características da proteção solar.....	38
Quadro 11 – Frequência de ocorrência para tipo de proteção solar no térreo.....	38
Quadro 12 - Características dos materiais construtivos.....	40
Quadro 13 - Características do forro.....	40
Quadro 14 – Parâmetros de densidade de carga interna adotados no modelo representativo.....	41
Quadro 15 – Identificação dos protótipos simulados.....	43
Quadro 16 – Distribuição das zonas térmicas e padrão de uso.....	44
Quadro 17 – Características do sistema do condicionamento de ar.....	46
Quadro 18 – Parâmetros da tecnologia fotovoltaica inseridos na simulação.....	47
Quadro 19 – Usos finais dos protótipos simulados.....	47
Quadro 20 – Geração fotovoltaica e consumo pelo resfriamento.....	49
Quadro 21 – Geração anual de energia elétrica de origem fotovoltaica.....	49
Quadro 22– Consumo de eletricidade dos protótipos simulados.....	52

RESUMO

PAIXÃO, Andréa Carpenter Costa dos Santos da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2013. **Caracterização tipológica de agências bancárias e seu potencial de economia de energia elétrica e etiquetagem com a implantação de sistemas fotovoltaicos.** Orientadora: Joyce Correna Carlo. Coorientadores: Antônio Cleber Goncalves Tibiriçá e Delly Oliveira Filho.

O aumento da demanda energética no Brasil e a diminuição dos recursos disponíveis na natureza são grandes desafios para a ampliação dos sistemas de geração de energia. Esta pesquisa foca um dos grandes consumidores comerciais de energia elétrica do país – as agências bancárias, cujos usos finais de iluminação e de condicionamento de ar chegam a representar 86% do total de seu consumo de energia elétrica. A geração fotovoltaica integrada à edificação vem tornando-se crescente em todo o mundo e pode ser uma alternativa interessante para a geração distribuída no Brasil. Analisou-se o potencial desta aplicação em relação ao suprimento de energia elétrica em agências bancárias no Estado do Espírito Santo, segundo os critérios para bonificação definidos pelos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C. O programa *EnergyPlus* foi utilizado para simular a integração da geração fotovoltaica com o desempenho energético da edificação. Constatou-se que houve uma grande geração de energia fotovoltaica para abastecimento da agência (23% a 68% do consumo típico) e, principalmente, que é tecnicamente simples atingir um ponto de bonificação pelo RTQ-C.

ABSTRACT

PAIXÃO, Andréa Carpenter Costa dos Santos da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, march 2013. **Typological characterization banking agency and its potential saving electricity and labeling with deployment of photovoltaic systems.** Adviser: Joyce Correna Carlo. Co-advisers: Antônio Cleber Goncalves Tibiriçá and Delly Oliveira Filho.

The increase in energy demand in Brazil and the decrease of resources available in nature are great challenges for the expansion of power generation systems. This research focuses on one of the large commercial consumers of electricity in the country - the banks, whose electricity consumption can represent up to 86% of the total, due to the end uses of lighting and air conditioning. The integrated photovoltaic generation is increasing worldwide and can be an interesting alternative to distributed generation in Brazil. The potential of this application was analyzed regarding in relation to the supply of electricity at bank agencies in the State of the Espírito Santo, according to the criteria defined by the subsidy Quality Technical Requirements for Level of the Energy Efficiency of Commercial, Public and Services Buildings. The EnergyPlus software was used to simulate the integration of photovoltaic generation with the energy performance of the building. It was found that there was a large photovoltaic power generation to supply the agency (23% to 68% of the typical consumption), and mostly, that it is technically simple to achieve a bonus point by RTQ-C.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos energéticos do nosso planeta não são inesgotáveis e uma preocupação começou a existir, na prática, a partir dos anos 1970 com a crise do petróleo. Esta crise trouxe uma percepção real da escassez deste recurso energético, iniciando uma corrida para a diversificação da matriz energética e uma série de ações voltadas à eficiência energética. Assim, em 1987, o relatório da comissão de Brundtland¹ apresenta a definição para desenvolvimento sustentável como a necessidade da busca pela disponibilidade de recursos naturais em níveis semelhantes aos atuais para o desenvolvimento das gerações futuras (VILHENA, 2007).

Para discutir o desenvolvimento dos países frente aos impactos no meio ambiente, inúmeras conferências têm sido realizadas para estabelecer compromissos mundiais para redução das emissões de gases poluentes na atmosfera que causam o efeito estufa. Em 1992 foi realizada no Rio de Janeiro a Eco 92 que foi a primeira grande conferência ambiental realizada no mundo e onde foram criados parâmetros para a proteção da biodiversidade, incluindo o uso sustentável de florestas e a compensação para países pobres, pelo uso de seus recursos naturais. A Eco 92 resultou num importante documento – a Declaração do Rio – que continha princípios éticos pela busca de um futuro sustentável e também foi definida a Agenda 21 que traçou a agenda ambiental para décadas seguintes.

Posteriormente no Japão, foi discutido e negociado o Protocolo de Kyoto, em 1997 e em vigor a partir de fevereiro de 2005, onde diversos países assumiram o compromisso de reduzir a emissão dos gases que provocam o efeito estufa, considerados como a causa do aquecimento global, de acordo com investigações científicas. “Por esse tratado internacional, propôs-se um calendário pelo qual os países desenvolvidos teriam a obrigação de reduzir a quantidade de gases poluentes em pelo menos 5,2% até 2012, em relação aos níveis de 1990” (BACCHI, 2006, p.1).

¹ Também conhecida como World Commission on Environment and Development (WCED). Em menção a Gro Harlem Brundtland, coordenadora dos trabalhos e então Primeira-Ministra da Noruega. Esta comissão elaborou o documento denominado “Our Common Future”, o qual tem servido de guia para a teoria e prática do desenvolvimento sustentável.

Na Conferência Rio+20, a discussão ambiental teve um caráter de urgência diante das mudanças climáticas e da perda de recursos naturais do planeta. Um dos relatórios analisados foi o *“Keeping track of our changing Environment: From Rio to Rio+20”* (De olho no meio ambiente em mutação: Do Rio a Rio+20) que apresenta dados que demonstram que as metas em relação à redução da emissão dos gases poluentes não foram atingidas, como por exemplo: as emissões de CO₂ aumentaram em 36% e a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou em 9% (UNEP, 2011).

Em relação às questões energéticas, pode-se destacar que os impactos ambientais mais relevantes são: a tendência ao esgotamento de recursos naturais não renováveis; as modificações ambientais decorrentes da retirada de energia renovável da natureza; e, a poluição produzida por algumas formas de transformação de energia atuais. Isto fez emergir o conceito de eficiência energética (DOURADO; AMORIM, 2009) e, ainda, é preciso considerar que, com a crise energética enfrentada pelo Brasil em 2001, tornou-se necessário o desenvolvimento de programas e ações de políticas públicas voltadas para eficiência energética. Este conjunto de condições mostra que alternativa atual é investir e transitar das energias fósseis para as energias renováveis de modo integrado com as questões do meio ambiente e apostar na eficiência energética – EE.

No Brasil, mapas de radiação solar demonstram o grande potencial disponível para a utilização da energia solar até mais do que outros países que atualmente têm muito mais destes sistemas instalados (CABRAL *et al.*, 2010). Existem grandes diferenças entre os países devido ao tamanho do seu território, as condições sociais e econômicas e aos padrões de consumo de energia, e muitos tem sido os desafios para continuar o seu desenvolvimento econômico, assim como para aumentar o acesso e a produção energética para suas populações, com tecnologias mais eficientes e limpas. Em países como Alemanha e Espanha, onde existem subsídios fixos para uso de fontes de energia renováveis, especialmente da energia solar, o número de sistemas fotovoltaicos instalados aumentou significativamente. A principal causa desse crescimento é a redução no custo de módulos fotovoltaicos nos anos 2000.

O aumento da utilização das fontes renováveis de energia no Brasil, em especial da energia fotovoltaica, pode favorecer o estabelecimento da geração distribuída, permitindo uma maior diversificação da matriz energética e auxiliando no suprimento dessa crescente demanda. Rüther *et al.* (2008) confirmam que, dada sua localização geográfica, o Brasil é particularmente privilegiado por ter alto nível de radiação solar e, portanto, dispõe de grande potencial para o aproveitamento da energia solar .

O Ministério de Minas e Energia estima que o Brasil tenha um imenso potencial de eficiência energética a ser explorado. Verifica-se que é necessário o aumento na capacidade instalada de energia elétrica para suprir o crescente consumo de energia no país, principalmente após a crise energética de 2001. O aumento na demanda por energia elétrica no Brasil foi muito significativo nas últimas três décadas e dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE – Iconfirmam este crescimento. A projeção para o setor comercial apresenta o maior potencial de crescimento no período 2008-2018, de 6,1% ao ano, seguida do setor residencial com 4,7% ao ano e do setor industrial com 4,0% ao ano. Contudo, também foram observados ganhos de eficiência energética contemplados pelo Plano Decenal de Energia 2019 – PDE – 2019 de cerca de 3% no consumo total de eletricidade (EPE, 2009).

As legislações específicas de racionalização de energia desenvolvidas no Brasil acompanham a tendência mundial em relação à sustentabilidade ambiental e ao consumo energético. Uma delas é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE – para edificações e outra, a Resolução nº482, de 17 de abril de 2012, que estabelece os critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética (ANEEL, 2012).

A ENCE para edificações faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem–PBE– desde 2009 e tem como objetivo incentivar a elaboração de projetos que aproveitem ao máximo a capacidade de iluminação e ventilação natural das construções. Os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (BRASIL, 2010a) e o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RAC (BRASIL, 2010b) fazem parte deste programa voltado para eficiência energética. Estes

requisitos definem critérios de bonificação para a edificação que são possibilidades para aumentar a eficiência energética da edificação.

No contexto atual, a eficiência energética de edificações é uma condição essencial para a redução do consumo de energia no Brasil e no mundo, pois se estima que 42% da energia elétrica produzida no país sejam consumidas na operação e manutenção de edificações e na promoção de conforto aos seus usuários. De acordo com as Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS –, o potencial de conservação pode chegar a 30% para edificações já existentes, por meio de reformas, e a 50% nas edificações novas que utilizem tecnologia energeticamente eficiente desde a concepção inicial do projeto (ELETROBRÁS, 2010). Em edifícios comerciais e públicos – com ou sem sistema de condicionamento de ar – aproximadamente 64% do consumo de energia elétrica deve-se aos usos finais de iluminação e de condicionamento de ar, chegando a 86% em bancos e escritórios (GELLER, 2004).

Dentre as ações do governo, é importante destacar a recente Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, onde a ANEEL estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Ela visa reduzir as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte disponível na rede de distribuição, a partir de fontes de energia incentivadas, bem como introduzir o sistema de compensação de energia elétrica (EPE, 2012). Esta resolução permite, finalmente, que exista um aproveitamento do potencial existente de energia solar no Brasil para geração de eletricidade, assim como, a nota técnica da Empresa de Pesquisa Energética – EPE –, “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira”, que é apresentada para subsidiar o processo de decisão quanto à estratégia para a contínua inserção da fonte solar na matriz de geração elétrica brasileira.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

Investigar a aplicação do critério de bonificação, definido nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C, em agências bancárias com a geração local de energia fotovoltaica.

1.1.2. Específicos

- Determinar uma tipologia representativa da arquitetura bancária das cidades de Vitória e Vila Velha, ES.
- Estabelecer um modelo computacional que contenha as principais características da tipologia representativa, para aplicação da energia fotovoltaica, por meio de simulações termoenergéticas.
- Avaliar a aplicabilidade do critério de economia de energia em agências bancárias segundo a bonificação do RTQ-C.

1.2. JUSTIFICATIVA

A arquitetura que se insere no projeto de desenvolvimento sustentável é aquela que, a partir dos preceitos fundamentais deste novo paradigma, modifica o ambiente natural de maneira a produzir um espaço confortável, com materiais apropriados, adequado ao clima local, energeticamente eficiente e com baixo custo de manutenção, causando, necessariamente, baixo impacto ambiental (MME, 2011).

Até o início do século XX, uma forma muito utilizada para controlar o clima dentro das edificações era por meio de estratégias passivas. Com a evolução da tecnologia e o desenvolvimento de sistemas artificiais para iluminação e condicionamento de ar, houve uma grande contribuição para os confortos visual e térmico interno dos edifícios. Muitas vezes, o desconhecimento de soluções arquitetônicas adequadas para a otimização das condições de conforto em

edificações resulta em ambientes termicamente desfavoráveis. As consequências são prédios que apresentam um grande consumo de energia para condicionamento de ar no verão ou para calefação no inverno, ou pode-se verificar a diminuição do rendimento nas atividades a serem realizadas nos ambientes de trabalho (KRÜGER, MORI, 2012).

Entretanto, os novos sistemas e a disponibilidade de energia também fizeram com que muitos profissionais ignorassem as características climáticas de cada região, tendo por resultado a dependência e o uso indiscriminado de tais sistemas. O condicionamento artificial de ar nos edifícios, em anos recentes, transformou-se no consumo de energia mais representativo devido a um aumento nas demandas para o conforto por parte dos usuários e da ineficiência do edifício.

Considerando tais aspectos, a presente pesquisa buscou focar um dos grandes consumidores comerciais de energia elétrica do país – as agências bancárias, como é o caso da Caixa Econômica Federal, com um consumo na ordem de 500GWh por ano, que equivale a 140 mil residências (MME, 2009). O relatório Gerência Nacional de Infraestrutura da Caixa econômica desenvolvido por Muniz Filho (2011) apresenta o levantamento em relação a sustentabilidade na construção de suas agências bancárias. São 2200 agências, 500 PAB's e 150 edifícios administrativos, sendo que a primeira agência a ser contemplada com a ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia foi em Julho de 2009, e foi possível observar economia de 24% no consumo de energia e 65% no consumo de água, em apenas 6 meses na agência Jardim da Américas em Curitiba, Paraná (MUNIZ FILHO, 2011). Já o Banco do Brasil tem realizado a gestão do uso de energia elétrica nos seus imóveis com o programa de racionalização do consumo de energia, *retrofits* e também do programa de ecoeficiência.

Além dessas instituições, outros bancos têm buscado pensar a sustentabilidade econômica, por meio de diversos empreendimentos bancários que atualmente são desenvolvidos com base nestes conceitos, para garantir o máximo de eficiência energética desde a concepção dos projetos arquitetônicos.

Com os Requisitos Técnicos da Qualidade para o nível de eficiência energética das edificações, o Inmetro possibilita a aplicação das bonificações, com um acréscimo de até um ponto na classificação geral para etiquetagem. Dentre estas

possibilidades, estão os sistemas ou fontes renováveis de energia, onde estão incluídos os sistemas fotovoltaicos. Eles serão os sistemas utilizados nesta pesquisa para avaliar o potencial de economia mínima de 10% no consumo anual de energia elétrica do edifício (BRASIL, 2010a). Pretende-se, indiretamente, contribuir para a valorização do RTQ-C enquanto ferramenta de avaliação de desempenho e ferramenta de projeto e para verificar a viabilidade de implementação da geração local em edifícios bancários.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Método, Resultados e Conclusão.

Na Introdução, faz-se a apresentação do tema a ser desenvolvido. Foi abordada a relevância e a justificativa da escolha do tema e os objetivos a serem alcançados.

Na Revisão Bibliográfica, faz-se um estudo abordando o tema proposto na dissertação. Esse capítulo inicia-se com uma apresentação de programas e ações de eficiência energética e energia solar fotovoltaica; logo após, são apresentadas Medidas de Conservação de Energia como ações inseridas em alguns objetos de estudos com a finalidade de reduzir o consumo de energia elétrica. Há uma abordagem sobre o RTQ-C – Requisitos Técnicos de Qualidade do Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2010a) e o programa utilizado para o desenvolvimento da simulação. São apresentados, ainda, estudos sobre a eficiência energética com foco em agências bancárias e, por fim, estudo sobre a utilização da energia solar fotovoltaica.

O terceiro capítulo contém o procedimento metodológico aplicado ao estudo, de forma a se cumprir os objetivos estabelecidos no primeiro capítulo. O capítulo inicia-se descrevendo o método utilizado para a definição do protótipo, por meio dos levantamentos da realidade construtiva das agências bancárias, de suas características internas e de uso da energia. São apresentadas a investigação sobre os parâmetros da tecnologia fotovoltaica a serem utilizados e a metodologia para as simulações computacionais realizadas com o programa computacional *EnergyPlus*.

O quarto capítulo apresenta os resultados da pesquisa, sendo mostradas as frequências das características de uma edificação para a determinação de uma tipologia predominante. Além disso, são apresentados os resultados da simulação energética com todas as características internas, as densidades de cargas internas, o padrão de uso da edificação e os parâmetros da tecnologia fotovoltaica.

O quinto capítulo contém as conclusões, extraídas das análises dos resultados descritos no quarto capítulo, juntamente com suas limitações e propostas para trabalhos futuros.

Finalmente, são apresentados referências bibliográficas e apêndices.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A obtenção de economia de energia e também a melhoria da eficiência energética exige, por um lado, o desenvolvimento de técnicas, produtos e serviços eficientes do ponto de vista energético e, por outro lado, uma alteração dos padrões comportamentais dos usuários, para um menor consumo de energia sem perda de qualidade de vida. Esses desafios exigem principalmente que sejam fortalecidas junto às empresas e às instituições de ensino, ações de conscientização sobre o uso eficiente da energia dirigida à população para gerar resultados efetivos.

O potencial de economia pode ser alcançado com dois tipos de políticas públicas para a eficiência energética. Estas políticas são implementadas sob a forma de normas ou regulamentações: leis obrigatórias e programas de certificação voluntários. Leis obrigatórias geralmente visam estabelecer critérios mínimos. As certificações voluntárias visam promover a eficiência energética de uma edificação de elevado desempenho ao compará-lo com o mínimo obrigatório (CASALS, 2006).

Programas e ações referentes à eficiência energética, diretrizes do RTQ-C, simulação para avaliação do desempenho termoenergético da edificação e suas aplicações em edificações, especificamente em agências bancárias, e o potencial da energia solar fotovoltaica compõem esta revisão de bibliografia.

2.1. Programas e ações de eficiência energética e energia solar fotovoltaica

O Ministério de Minas e Energia, partindo de premissas adotadas no Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030 – e no PDE 2019 (MME, 2006b) que já incorporavam conceitos de eficiência energética, elaborou um documento que ainda está em consulta pública, o Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2011). Este plano tem o objetivo de identificar os instrumentos de ação e de captação dos recursos, de promoção do aperfeiçoamento do marco legal e regulatório ligado ao assunto e mobilizar a sociedade brasileira no combate ao desperdício de energia, preservando recursos naturais (MME, 2006a).

As primeiras normas de eficiência energética em edificações surgiram na década de 70, após a crise do petróleo. Diversos países lançaram programas de incentivo à redução do consumo de energia, resultando posteriormente na criação de normas de eficiência energética, como a Standard 90 – *Energy Conservation in New Building Design* e a norma californiana *Title 24* de 1978. Atualmente, esta norma é a Standard 90.1 (ASHRAE, 2007), que estabelece níveis mínimos obrigatórios de eficiência energética para edificações não residenciais e residenciais multifamiliares. Desde 2006, a própria ASHRAE está desenvolvendo uma classificação própria para identificar os níveis acima do mínimo, já que a certificação, principalmente a voluntária, tornou-se uma tendência mundial. No entanto, a certificação europeia é obrigatória, onde são identificados diversos parâmetros do desempenho das edificações (CARLO, 2008a).

O Brasil possui, há pelo menos duas décadas, programas de Eficiência Energética reconhecidos internacionalmente: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL –, o Programa Nacional de Racionalização de Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural – CONPET – e o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE. Além destes, ainda em 1975, a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – obteve autorização da Presidência da República para alocar recursos financeiros para a realização do Programa de Estudos da Conservação de Energia, passando a desenvolver e apoiar estudos que buscam maior eficiência na cadeia de captação, transformação e consumo de energia (MME, 2011).

Diretamente relacionado à conservação de energia em edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, o Procel Edifica foi criado em 1985 como um subprograma do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel. O apoio a pesquisas e produção de novas tecnologias, materiais e sistemas construtivos, além do estímulo ao desenvolvimento de equipamentos eficientes, utilizados em edificações, estão incluídos nas diretrizes do Procel Edifica.

A Lei nº 10.295, também conhecida como Lei da Eficiência Energética que foi promulgada em 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001a), é o principal marco regulatório da matéria no Brasil, e visa à alocação eficiente dos recursos energéticos e também à preservação do meio ambiente. O Decreto nº 4.059, de

19 de dezembro de 2001, que a regulamentou, determinou que o Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações deveria adotar procedimentos para avaliação da eficiência energética em edificações e criar indicadores técnicos referenciais do consumo de energia das edificações para certificação de sua conformidade em relação à eficiência energética (BRASIL, 2001b). Este decreto teve particular importância ao estabelecer que o Inmetro fosse o órgão responsável pela regulamentação, condução e fiscalização dos Programas de Avaliação da Conformidade relacionados com eficiência energética (MME, 2011).

Dentre estas legislações, está a Instrução Normativa 01/2010 que dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública, e os Requisitos Técnicos lançados pelo Inmetro. A avaliação da eficiência energética em edificações está em vigor desde o 1º semestre de 2009, quando foram lançados o RTQ-C e o RAC-C. Estes requisitos foram revisados em setembro de 2010, sendo que os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais, RTQ-R foram publicados em novembro de 2010 (BRASIL, 2010b).

Diretamente relacionado com a geração fotovoltaica, respaldos regulatórios estão sendo desenvolvidos pelo Estado para que se encontrem meios de incentivar esta tecnologia e para que ela possa contribuir com o objetivo nacional de desenvolvimento econômico e de sustentabilidade da matriz energética, além de outras tecnologias existentes.

O Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, regulamenta a comercialização de energia elétrica e determina que a aquisição de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração distribuída seja precedida de chamada pública promovida diretamente pelo agente de distribuição. Este decreto limita esse tipo de contratação a 10% da carga do agente de distribuição e autoriza repasse às tarifas dos consumidores até um limite definido. Porém, este limite de repasse determinado pelo decreto ainda impede o pequeno gerador fotovoltaico distribuído de encontrar ambiente econômico favorável para participar da chamada pública para geração distribuída, sendo necessário que estes produtores esperassem outra legislação mais específica.

Em vista disso, a ANEEL vem efetuando ações e estudando propostas para redução das barreiras de acesso aos sistemas de distribuição por parte destes pequenos geradores e a Empresa de Pesquisa Energética – EPE – está em fase de conclusão de estudo sobre as dificuldades para o desenvolvimento dessa fonte no Brasil, além de auxiliar na elaboração de projetos de lei com o objetivo de incentivar ainda mais as energias renováveis, em especial a energia solar (EPE, 2012).

Reconhecendo as vantagens, mas também os desafios para a implantação de sistemas fotovoltaicos, a ANEEL realizou a Consulta Pública nº 15/2010, finalizada em 9 de novembro de 2010, e a Audiência Pública nº 042/2011, finalizada em 14 de outubro de 2011. Estes eventos propiciaram à ANEEL receber contribuições de diversos agentes, incluindo representantes das distribuidoras, geradoras, universidades, fabricantes, consumidores, comercializadores, empresas de engenharia e demais instituições interessadas no tema. Como resultado desse processo, a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 vem estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração² e minigeração³ distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, além de criar e regulamentar o sistema de compensação de energia. Simultaneamente, a Resolução Normativa nº 481⁴, de 17 de abril de 2012, amplia o desconto concedido a empreendimentos de fontes incentivadas com potência inferior a 30 MW na tarifa de uso do sistema de transmissão/distribuição (TUST/TUSD). Essa ampliação, de 50% para 80%, valerá pelos dez primeiros anos de operação de empreendimentos solares que entrem em operação

² Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

³ Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

⁴ A Resolução Normativa nº 481 altera a Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004 que estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW”.

comercial até o final de 2017, devendo o desconto retornar ao patamar de 50% após esse período (EPE, 2012).

Diversos benefícios ao sistema elétrico são verificados com estas novas ações do governo em relação à geração distribuída, dentre eles: (i) maior eficiência energética ao sistema elétrico, com a diminuição das perdas na movimentação da energia até o seu destinatário final; (ii) redução dos investimentos necessários para ampliação nas redes de transmissão e distribuição; e consequentemente, (iii) redução dos impactos ambientais ocasionados pelas redes de transmissão e distribuição.

O sistema de compensação de energia elétrica é definido pela Resolução nº 482 como um arranjo no qual a energia ativa injetada é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade. Ressaltam-se ainda três aspectos do sistema e que o consumidor poderá aderir. Primeiro, a distribuidora utiliza o excedente que não tenha sido compensado para abater o consumo medido em meses subsequentes; segundo, caso a energia ativa fornecida seja superior à energia ativa consumida, a diferença deverá ser utilizada, preferencialmente, para compensação em outros horários; e terceiro, os créditos de energia ativa gerada por meio do sistema de compensação de energia elétrica expirarão 36 (trinta e seis) meses após a data do faturamento, não fazendo jus o consumidor a qualquer forma de compensação após o seu vencimento.

Percebe-se que, embora a regulamentação da micro e minigeração se estenda também a outras fontes incentivadas, ela poderá beneficiar especialmente o desenvolvimento da geração solar fotovoltaica. Isso porque a alta incidência de raios solares em diversas regiões do país proporciona um imenso potencial de geração por meio dessa fonte, que ainda esbarrava na ausência de regulamentação adequada e na necessidade de elevados investimentos para sua instalação.

Vale destacar ainda na nota técnica EPE, de maio de 2012, a observação relacionada aos agentes de mercado, que registra diversas ações atreladas à promoção da fonte energética fotovoltaica, a exemplo do Grupo Setorial

Fotovoltaico da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE, que congregava, no início de 2012, um ano após sua formação, cerca de 130 empresas dos diversos segmentos da cadeia produtiva (EPE, 2012).

2.2. Medidas de Conservação de Energia

Denominam-se Medidas de Conservação de Energia – MCE – todas as ações que tenham por objetivo introduzir alternativas na fase de projeto ou de operação com a finalidade de reduzir o consumo de energia elétrica, sem, contudo, desconsiderar leis, normas ou outros dispositivos que regulamentem questões ocupacionais ou operacionais da edificação. A economia no consumo de energia reflete-se, em geral, em uma economia de custos com o uso da edificação.

Carlo (2008a) avaliou a eficiência energética da envoltória de edificações não residenciais, criando protótipos representativos para simulação computacional do desempenho energético utilizando o programa *EnergyPlus*. Foram simuladas opções contendo soluções mais eficientes e foram feitas comparações com edifícios de referência para estabelecer qual edifício é mais ou menos eficiente. Posteriormente, medidas de conservação de energia - MCE foram estabelecidas a partir dos protótipos ineficientes e foram gradativamente aplicadas a estes protótipos formando alternativas de simulações com diferentes soluções para a envoltória. A simulação das medidas de conservação de energia mostrou que a otimização do percentual de área de janela na fachada é a MCE de maior relevância para o consumo de energia elétrica, devido ao baixo custo aliado ao potencial de eletricidade que economiza, seguido das proteções solares em relação à envoltória (CARLO, 2008a).

Santana (2006) identificou a influência de parâmetros construtivos no consumo de energia em diversos edifícios de escritórios na cidade de Florianópolis/SC, auxiliando na definição de medidas de conservação de energia mais adequadas ao clima em estudo, a fim de possibilitar melhores níveis de eficiência energética. A alteração da absorvância das paredes foi uma alternativa de economia de energia relativamente simples de ser executada, pois na maioria das vezes basta alterar a tonalidade da pintura do acabamento externo do edifício. Esta medida pode ter seu custo quase nulo se for implementada no período de execução ou reforma da edificação, podendo, a economia alcançada ser bem significativa.

Na avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente, Sorgato (2009) também mostrou como componentes da envoltória da edificação são determinantes no desempenho térmico. As propriedades termofísicas dos materiais influenciam significativamente nos fluxos de calor. Foram simulados casos com diferentes propriedades e características para avaliar o desempenho térmico da envoltória de quatro tipologias residenciais. As diferenças encontradas no desempenho térmico dos ambientes estudados por Sorgato foram explicadas pelas diferentes áreas de superfície expostas ao exterior, pelo tamanho dos ambientes, pelas superfícies em contato com o solo e a cobertura.

Medidas de conservação de energia foram aplicadas em envoltórias de alguns modelos representativos de edifícios não residenciais para simular o consumo anual de energia elétrica em Florianópolis, o que gerou diversas alternativas. Uma avaliação para este fim, feita por Carlo (2008b), no estudo sobre a relação entre a eficiência estabelecida pela regulamentação para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, confirmou os benefícios econômicos provenientes de investimentos na envoltória. Mostrou, ainda, como os três indicadores econômicos avaliados (CEC – custo da energia conservada, o *payback* e o CCV – custo do ciclo de vida) relacionam-se com o consumo de energia de edificações e com o nível de eficiência energética fornecido pela etiquetagem.

Morishita (2011) também avaliou o impacto dos requisitos de eficiência máxima, bem como as bonificações, propostos pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro. Morishita elaborou dois cenários, que foram denominados: cenário tendencial e cenário técnico. O cenário tendencial, que corresponde à projeção do consumo no qual não há medidas de eficiência energética e o cenário técnico, no qual são aplicados os requisitos e bonificações propostos pelo regulamento. Verificaram-se neste estudo que, considerando o modelo utilizado, as edificações residenciais brasileiras de todas as regiões geográficas não atingem os níveis máximos de eficiência da envoltória, seja em relação à eficiência da edificação ventilada naturalmente quanto da edificação condicionada artificialmente.

Entre os principais resultados desta pesquisa, verificou-se que considerando os altos ganhos térmicos propiciados pelo contato da cobertura com o exterior, as habitações do tipo apartamento obtiveram desempenho inferior em comparação às habitações do tipo casa. Também se observou que as transmitâncias térmicas das coberturas avaliadas, relativamente altas, fizeram com que as edificações do tipo casa perdessem mais calor durante a noite que as edificações do tipo apartamento, período em que há maior ocupação dos domicílios.

2.3. RTQ-C e simulação termoenergética

O RTQ-C – Requisitos Técnicos de Qualidade do Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos –, especifica requisitos técnicos e métodos para classificação de edificações. Esta certificação pode ser atribuída tanto a edificações existentes quanto a projeto de novas edificações.

A regulamentação estabelece uma classificação para o nível de eficiência energética de edifícios de forma a obter a ENCE emitida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial – Inmetro (CARLO, 2008b). Conforme previsto nos regulamentos, até o momento, a etiquetagem de edifícios é voluntária e avalia três aspectos quanto à eficiência: (i) envoltória (fachada e cobertura), (ii) sistemas de iluminação e (iii) condicionamento de ar, podendo o nível de eficiência ser avaliado por meio do método prescritivo ou do método da simulação termoenergética.

O primeiro é composto por equações, tabelas e parâmetros limites que devem ser cumpridos, enquanto o segundo é composto pela avaliação comparativa dos resultados da simulação do desempenho energético de dois edifícios, sendo um considerado um edifício de referência e outro o edifício proposto (CARLO; LAMBERTS, 2010). O uso da simulação em normas, regulamentos e programas de eficiência energética para edifícios é adotado em diversos países.

O *EnergyPlus* é um dos programas computacionais utilizados para as simulações termoenergéticas de edificações. Neste panorama, todos os sistemas que compõem a edificação, e que são relevantes no seu desempenho, tais como climatização (resfriamento, aquecimento e ventilação), iluminação, cargas internas, propriedades térmicas de materiais e outros elementos que participam das trocas térmicas, são integrados numa avaliação interativa (CARLO, 2008). O

EnergyPlus permite que o usuário solicite diversos relatórios, com dados estimados durante o processo de simulação, como por exemplo: temperatura interna de cada zona térmica, consumo de energia por uso final e carga térmica retirada pelo sistema de condicionamento de ar.

Nesse sentido, o RTQ-C surge como uma ferramenta para estimular o emprego de técnicas de projeto e estratégias bioclimáticas para a criação de soluções arquitetônicas mais adequadas ao ambiente climático em que estão inseridas. Ressalta-se que o objetivo do RTQ-C não é fixar parâmetros, mas estimular que os projetistas utilizem medidas combinadas para maior eficiência das edificações. Acredita-se que, o método regulamentado pelo RTQ-C tenda a se disseminar no mercado e a promover a eficiência energética das edificações ao compará-las a um desempenho mínimo obrigatório para cada nível de classificação desejado.

As primeiras Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia, ENCE, foram lançadas em julho de 2009, e cinco edificações no país foram etiquetadas com nível A, nível de eficiência mais elevado numa escala cujo nível mais baixo é nível E. Entre estas cinco edificações estão a agência da Caixa Econômica Federal (CEF) em Curitiba e a sede administrativa da CEF em Belém (BRASIL, 2011). Outras agências bancárias já foram etiquetadas após 2009, e outras instituições financeiras têm demandado cursos de formação em etiquetagem por.

2.4. Eficiência energética em edificações com foco em agências bancárias

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a eficiência energética das edificações pode ser melhorada com a elaboração de projetos que incluam estudos sobre o comportamento energético do edifício, já que um dos maiores consumidores dos recursos naturais do ambiente é a construção e a utilização de edifícios. Embora exista uma intensificação das campanhas de eficiência energética e esteja sendo expandida a produção técnico-científica nestes últimos anos, a prática construtiva do mercado de trabalho ainda não foi consolidada nesse sentido. Frequentemente os elementos arquitetônicos e os projetos de arquitetura ainda são tratados como estratégias secundárias de redução de consumo energético.

O consumo de energia nos setores comercial e público é fortemente influenciado pela quantidade de calor gerado no interior do edifício. Observa-se que a iluminação artificial e o condicionamento do ar são os principais usos finais da energia nestes setores, apresentando também características muito diversificadas, conforme descreve Lamberts, Dutra e Pereira (1997), que salientam, ainda, a importância de estudos sobre a apropriação espacial dos diversos tipos de edifícios com o intuito de orientar as intervenções referentes à eficiência energética de acordo com tipologias e usos diversos.

Tradicionalmente, as edificações bancárias são grandes consumidoras de energia, chegando a gastar mais que as edificações dos demais serviços profissionais. Isso se deve, ao intenso uso de equipamentos, principalmente, de informática, existentes no interior das agências e ao uso do ar condicionado e iluminação. Esse recurso de climatização artificial teve sua utilização ampliada, principalmente, após a expansão dos seus espaços informatizados (PEDREIRA; AMORIM, 2010). Isso acarretou o aumento do custo das contas de energia, sendo a participação com a conta de energia de aproximadamente 10% nos custos totais das agências, como foi levantado no relatório sobre a pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso para a avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil (EPE, 2005).

Inicialmente, nas décadas de 1970 e 1980, esses ambientes climatizados eram restritos às salas *on line*. Atualmente, as Salas de Autoatendimento – SAA – com seus Terminais de Autoatendimento – TAA – estão ocupando áreas cada vez maiores, contribuindo para o aumento da carga térmica no interior da agência e, conseqüentemente, para o maior gasto energético com os condicionadores de ar. Nas edificações bancárias, também é costume haver uma grande preocupação com segurança bancária, o que acaba afetando a distribuição e a quantidade de luz natural nos ambientes internos (PEDREIRA; AMORIM, 2010). Além desses fatores, vale destacar que diversas edificações estão numa orientação solar ruim influenciando no seu desempenho térmico e contribuindo para o aumento do consumo de energia, inclusive por causa da instalação de alguns dispositivos de proteção solar externa que são utilizados para inibir o contato visual nas agências.

Pedreira e Amorim (2010) ainda constata, por meio de levantamentos das tipologias arquitetônicas de agências do Banco do Brasil no Distrito Federal, que

diversas transformações ocorreram nos *layouts* e nas fachadas ao longo dos anos, visando atender principalmente os pré-requisitos comerciais e econômicos em detrimento daqueles que regem uma arquitetura adequada ao clima e que seja eficiente energeticamente.

O desempenho energético da envoltória do projeto padrão de uma agência bancária foi analisado e classificado por Krüger e Mori (2012) por meio de parâmetros do Método Prescritivo do RTQ-C em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. O projeto padrão avaliado pelos autores foi um projeto existente adotado por uma instituição financeira com atuação em todo o território nacional. Verificou-se que as alterações propostas em algumas características do projeto padrão original levaram a uma nova classificação da eficiência energética da envoltória e os resultados da simulação computacional mostraram o potencial de redução do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado. Os resultados da simulação mostraram que é possível uma economia de até 26% no consumo de energia elétrica para o projeto otimizado com a fachada principal orientada para o Oeste na cidade de Curitiba/PR. Para a implantação da agência com a fachada principal para o Oeste na cidade de Brasília/DF, a simulação apontou uma economia de até 30,5% com a alteração do fator solar dos vidros (KRÜGER; MORI, 2012).

2.5. Energia solar fotovoltaica

Predominam duas formas de fontes de energia em nosso país: petróleo e, principalmente, de hidrelétricas. Este modelo de geração de energia por hidrelétricas apresenta grande impacto para o meio ambiente, com elevados custos de implantação de uma usina hidroelétrica, além do impacto no meio ambiente local e regional. Áreas inundadas, deslocamentos populacionais, riscos com segurança, perdas ambientais e modificações no clima são algumas das conseqüências enfrentadas. Portanto, a diversificação na oferta de energia reduziria o risco de desabastecimento ou choques de preço no futuro (GELLER, 2004).

Como contraponto a tal modelo, um grande potencial do país está nos elevados níveis de radiação solar que podem facilitar os investimentos em energia fotovoltaica (FV), cuja energia elétrica é gerada diretamente da radiação solar e

que constitui uma fonte limpa e renovável. A introdução da energia solar fotovoltaica no panorama mundial, a busca por novas alternativas de geração de energia, assim como a busca de parâmetros de eficiência energética nos edifícios precisam ser cada vez mais difundidos. O Brasil apresenta condições suficientes para que uma lei de incentivo à geração distribuída, em particular a geração de energia solar FV conectada à rede seja estabelecida, a exemplo da que foi estabelecida na Alemanha, Espanha e vários outros países (RÜTHER *et al.*, 2008).

Existem diversas pesquisas no Brasil que, além de comprovarem a necessidade da quebra de paradigmas em relação à energia solar fotovoltaica, desenvolvem procedimentos auxiliares para a elaboração de políticas públicas que facilitam a inserção em larga escala da tecnologia fotovoltaica no país. A energia solar, além de outras formas de conversão energética natural, pode ser convertida em energia elétrica. A conversão se dá por meio de células fotovoltaicas, constituídas por semicondutores. Uma célula fornece pouca energia, sendo que para se conseguir a tensão e corrente suficientes para alimentar o sistema é necessário o agrupamento em módulos, que são células conectadas em arranjos, série e paralelo. Os módulos fotovoltaicos, as baterias e a unidade de controle e condicionamento de potência compõem o sistema fotovoltaico isolado.

Existem diversos tipos de células fotovoltaicas, tais como: silício monocristalino, silício policristalino e filmes finos, sendo as mais eficientes às células de silício monocristalino (CABRAL, 2006). A eficiência de um painel fotovoltaico representa o percentual máximo da energia total que atinge a superfície do módulo, na forma de radiação, que pode ser efetivamente convertida pelas células fotovoltaicas (MIZGIER *et al.*, 2006). A eficiência dos painéis pode ser reduzida pelo posicionamento inadequado dos módulos e sua degradação, pela inexistência de rastreamento, pela espessura da camada de atmosfera que os raios precisam atravessar no decorrer do dia, pela não utilização de seguidor de máxima transferência de potência, pelo sombreamento das nuvens, pelo sombreamento dos edifícios no entorno e pela poluição.

Por se tratar de uma fonte limpa e possibilitar que a geração esteja próxima ao ponto de consumo, elimina-se uma série de problemas relativos aos sistemas tradicionais de geração e distribuição de energia elétrica. A vida útil dos painéis

FV é de aproximadamente 13 anos em ambientes externos sob diversas condições climáticas, podendo ser apropriados para integração à envoltória da edificação. Nesse contexto, a localização estratégica de geradores FV no ambiente urbano configura-se um enorme potencial de utilização e geração de energia, além de ter dupla função: gerar eletricidade e também servir como elemento arquitetônico de vedação.

Dessa forma, a utilização dessa fonte renovável de energia poderá auxiliar na diversificação da matriz energética e também trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais ao país. E, ainda, terão um adicional de estarem consumindo uma energia vinda diretamente do Sol, o que se enquadra no conceito de ambientalmente sustentável.

3. MÉTODO

O método deste trabalho consta de:

3.1 – Definição do protótipo da edificação por meio do levantamento da realidade construtiva de agências bancárias, da identificação das características que indicam as divisões de ambientes internos, materiais e sistemas usados, e da identificação da forma de utilização da energia elétrica no setor de bancos.

3.2 – Investigação sobre as tecnologias fotovoltaicas utilizadas no modelo e os parâmetros inseridos na simulação.

3.3 – Simulação termoeenergética do protótipo da edificação.

3.1. DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO DA EDIFICAÇÃO

Carlo e Lamberts (2006) descrevem que é comum as simulações demandem modelos computacionais, ou seja, protótipos de edificações baseados na realidade construtiva local, a fim de que a tomada de decisões possa refletir condições o mais realistas possível e passível de aplicação. Os protótipos utilizados na simulação são modelos reduzidos às características de interesse, baseados em dados reais ou em critérios teóricos definidos de acordo com os objetivos da simulação. Deve-se atentar para as diferenças entre um modelo real e um protótipo de edificação. O modelo real baseia-se em uma edificação existente única e visa reproduzir o desempenho térmico e energético de uma edificação real; o protótipo, por ser baseado em mais de uma edificação, visa representar as características mais comuns de uma amostra ou grupo, mesmo que não exista uma edificação que possa ser em tudo semelhante a este protótipo.

Para a avaliação da eficiência energética de uma edificação, devem-se conhecer diversas variáveis e as influências que elas desempenham no consumo de energia. Após Santana (2006) indicar diversas dessas características, resta saber quais são consideradas representativas na paisagem de Vitória/ES. A definição do protótipo representativo da tipologia das agências bancárias baseou-se na obtenção destas variáveis por meio de levantamento fotográfico das

características externas e de questionário e entrevista de algumas informações necessárias referente ao uso da energia.

3.1.1. Levantamento da realidade construtiva

O levantamento da realidade construtiva das agências bancárias foi realizado nas cidades de Vitória e Vila Velha (ES) por meio do levantamento fotográfico das fachadas principais (frontais) e secundárias (laterais), para identificar suas características físicas.

As edificações fotografadas foram classificadas pela análise de 33 variáveis em termos de sua geometria e seus materiais construtivos, conforme quadro 1, baseado em método apresentado por Carlo (2008a).

Quadro 1 – Variáveis analisadas nas agências fotografadas

ITEM	VARIÁVEL
1	Uso exclusivo do edifício
2	Sombreamento do entorno
3	Nº de pavimentos (além do térreo)
4	Altura total da Fachada Principal
5	Largura da Fachada Principal
6	Profundidade da edificação
7	Área da Fachada Principal
8	Porcentagem de aberturas da Fachada Principal
9	Proporção das Aberturas no 1º Pavimento
10	Material de revestimento externo da parede
11	Cor do revestimento externo da parede
12	Cor do vidro
13	Sombreamento da Fachada Principal- TÉRREO (%)
14	Sombreamento da Fachada Principal - 1º Pavimento (%)
15	Área da Fachada Secundária

ITEM	VARIÁVEL
18	Material de revestimento externo - Fachada Secundária
19	Cor preponderante - Fachada Secundária
20	Cor do vidro - Fachada Secundária
21	Sombreamento da Fachada Secundária- TÉRREO (%)
22	Sombreamento da Fachada Secundária- 1º Pavimento (%)
23	Cobertura do Imóvel aparente na foto
24	Área da cobertura
25	Material da cobertura
26	Tipo de Proteção Solar - Térreo
27	Abrangência da Proteção Solar - Térreo
28	Fator da Projeção- Térreo
29	Porcentagem de Abertura Sombreada - Térreo
30	Tipo de Proteção Solar - 1º Pavimento
	Abrangência da Proteção Solar - 1º

Foram fotografadas agências bancárias distribuídas nas duas cidades visando abranger exemplares dentro de um percurso com grande fluxo de pessoas/usuários e distribuídas em diferentes bairros.

Os dados levantados foram tabulados em uma planilha e sua frequência de ocorrência foi analisada para encontrar e definir quais características externas são mais comuns para esta tipologia e, assim, definir o protótipo representativo da tipologia das agências bancárias. De acordo com os resultados da frequência de ocorrência, mais de um protótipo poderia ser definido.

O uso exclusivo do edifício foi a primeira variável a ser analisada para classificação de um uso, híbrido ou não, isto é, uso exclusivo ou não da edificação para atividade bancária. Considerou-se também a verificação da ocupação do entorno da edificação para analisar a ocorrência de sombreamento resultante na agência, devido a sua influência no consumo de energia.

A terceira variável analisada foi o número de pavimentos além do térreo. Este dado direcionou a quantidade das outras variáveis.

As demais variáveis foram analisadas e tabuladas por meio da observação das fotos. Foram analisadas as fachadas principais e secundárias, assim como o térreo, o 1º pavimento e a cobertura.

A porcentagem de abertura nas fachadas foi obtida pela relação entre a área de abertura existente na fachada com a área total desta fachada em cada pavimento analisado. Já a proporção das aberturas no 1º pavimento foi obtida pela relação desta porcentagem existente no 1º pavimento e a área total de aberturas existentes na fachada.

A proteção solar é outra variável que foi analisada nos seguintes termos: o tipo de proteção solar, a abrangência (se a proteção solar abrange somente a abertura ou a fachada como um todo), a porcentagem da abertura que foi sombreada e o fator de projeção⁵ do dispositivo de sombreamento.

⁵ Fator de projeção: Razão entre a profundidade da projeção horizontal de um elemento de proteção solar colocado acima do vão pela soma da altura desse vão e a distância vertical ao ponto mais externo do elemento.

3.1.2. Identificação das características internas e propriedades térmicas dos materiais

A identificação das características internas das agências foi feita por meio da análise de projetos arquitetônicos de uma instituição bancária específica e que indicavam as divisões de ambientes internos, materiais e sistemas usados nas agências. O caderno de encargos e de especificações de serviços e materiais também foi utilizado para o levantamento das características que interferem no consumo de energia e, portanto, na eficiência energética.

Nessa etapa, foram obtidas as seguintes informações: as cargas internas, os padrões de uso da edificação, espessuras e componentes de paredes, componentes da cobertura. O total de carga interna, em W/m^2 , é resultado da quantidade de potência de iluminação (W/m^2), da densidade de carga de equipamentos (W/m^2) e da quantidade de pessoas (pessoas/ m^2). Para pessoas, é considerada a taxa metabólica de acordo com a atividade desempenhada.

Dados como o fator solar dos vidros e a transmitância térmica de paredes foram estabelecidos com as informações obtidas no caderno de encargos, especificações padrões de algumas agências bancárias e nos levantamentos, assim como pela consulta a catálogos de fabricantes. Esse procedimento também é válido para a cobertura.

Vale lembrar que todos os dados levantados com os projetos e documentações internas das agências bancárias são sigilosos e os nomes das empresas envolvidas não são citados neste estudo. As edificações levantadas pertencem a oito empresas diferentes que foram identificadas e tabuladas com as letras de A a H (Apêndice 1).

Ainda foram realizadas entrevistas com responsáveis e profissionais de uma instituição bancária para que outros dados fossem levantados, como por exemplo: as cargas internas de equipamentos, iluminação, ocupação e os padrões de uso.

3.1.3. Identificação do uso da energia

Por meio de Relatórios de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil, realizados pelo PROCEL, o uso da energia no setor de bancos foi caracterizado e foram avaliados os desempenhos energéticos e o respectivo

potencial de melhoria da eficiência energética existente nesse setor (ELETROBRÁS, 2006).

3.1.4. Definição do protótipo

Um protótipo considerado representativo para Vitória e Vila Velha foi obtido ao se reunir às características levantadas e comparado a características nacionais publicadas, como as de Kruger e Mori (2012).

Em resumo, os procedimentos adotados na etapa foram:

- levantamento fotográfico das fachadas principal e secundária de agências bancárias nas cidades de Vitória e Vila Velha;
- levantamento e tabulação de 33 variáveis em termos de sua geometria e os materiais construtivos nas agências fotografadas;
- análise das variáveis por meio de gráficos com a frequência de ocorrência das características das edificações;
- levantamento das características internas por meio de projetos e cadernos de especificações e encargos;
- levantamento do uso da energia no setor bancário; e
- definição dos protótipos representativos da edificação para a simulação.

3.2. TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS UTILIZADAS NO MODELO

A investigação sobre a tecnologia fotovoltaica definiu quais parâmetros seriam inseridos na simulação. A definição da eficiência do sistema fotovoltaico foi avaliada dentre tecnologias consideradas de baixa eficiência, como é o caso silício amorfo (a-Si) com 6,3 %, até tecnologias consideradas de alta eficiência como a HIT (17,0%). Tais valores são fornecidos pelos fabricantes para uma condição padrão de teste (STC - *Standard Test Conditions*).

Sendo o Brasil um país com clima tropical predominante, é muito importante considerar a redução da eficiência dos módulos devido à elevação de temperatura de operação. Assim, a tendência é adotar um valor intermediário para eficiência dos painéis.

A quantidade de conversão fotovoltaica depende da sua configuração e do padrão de sombreamento, além de fatores como nível de insolação e temperatura. Na modelagem, foi considerada a aplicação dos painéis fotovoltaicos nas superfícies da cobertura, com uma inclinação dos painéis que seguiu o padrão construtivo encontrado. Portanto, não foram consideradas as particularidades relativas à distribuição e instalação de cada tipo de tecnologia, por não ser este o foco do estudo, sendo apenas inseridos os dados gerais necessários para a simulação.

Foram simuladas três possibilidades em relação à área da superfície de cobertura ocupada pelos painéis: 1) considerou-se uma área de 50% da cobertura; 2) outra ocupando 100% da área; e, finalmente, 3) a área que corresponderia a aplicação do critério de 10% de economia de energia segundo a bonificação do RTQ-C. A segunda situação permitiu avaliar o potencial máximo da área de cobertura da edificação.

3.3. SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO

Os protótipos computacionais, representativos de edificações bancárias da área estudada, foram utilizados para a simulação do desempenho termoenergético.

A avaliação da eficiência energética e a aplicação da energia fotovoltaica nas edificações bancárias foram feitas por meio da simulação computacional nos termos do RTQ-C. A simulação computacional adotada seguiu todos os pré-requisitos determinados pelo RTQ-C e utilizou os dados climáticos referentes às cidades de Vitória e Vila Velha (ES). Em relação à localização geográfica, considerou-se latitude de $-20,3^\circ$, longitude de $-40,3^\circ$, altitude de 3m e fuso horário de -3h em relação à *Grenwich*. O arquivo climático utilizado na simulação foi do tipo TRY (*Test Reference Year*) e a zona bioclimática 8 (que se refere a Vitória, para o ano de 2005).

Como ferramenta de simulação foi utilizado o programa computacional *EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), na versão 6, a mais atual do momento inicial de modelagem. Para modelagem neste programa, além da volumetria e dos dados dos materiais que foram utilizados, foi necessário configurar todos os sistemas de condicionamento de ar e ventilação, inserir as cargas internas devido a pessoas, equipamentos, iluminação e outros sistemas consumidores de energia elétrica, assim como a

integração fotovoltaica, os padrões de uso dos sistemas e o padrão de ocupação do edifício.

O programa disponibiliza três módulos para o cálculo da conversão fotovoltaica: o simples, o módulo de um diodo e o Sandia. O módulo utilizado foi o simples, que possibilita a aplicação de diferentes tipos de tecnologias de painéis fotovoltaicos. Esse modelo tem a finalidade de permitir um controle completo pelo usuário sobre o desempenho de conversão fotovoltaica e de definir o sistema fotovoltaico sem especificar o arranjo dos painéis, mas apenas a área das superfícies que será ocupada por eles. É muito utilizado na fase inicial do projeto, pois permite que se faça uma simulação inicial para estimar a produção anual e o pico de potência, sem a necessidade de detalhados coeficientes de eficiência do painel fotovoltaico.

As definições de zonas térmicas e das superfícies são fundamentais para a realização da simulação. Para a representação do protótipo, o modelo arquitetônico da edificação foi modelado de acordo com um zoneamento térmico padrão tipo *core and shell* (quando se separam as zonas térmicas periféricas da zona térmica central), considerando as especificidades dos ambientes com temperatura *de setpoint*, calor gerado internamente e padrão de usos e orientação solar diferenciados.

Para a simulação, foi necessária uma descrição detalhada dos materiais da edificação. A descrição das características dos materiais foi obtida no trabalho desenvolvido por Ordenes *et al.* (2003), que adotaram um método de cálculo para caracterizar os materiais e componentes construtivos, e montaram uma biblioteca para VisualDoe. Esse método consiste na variação das espessuras e densidades de massa aparente dos materiais, mantendo constantes a resistência térmica (R_t) e a capacidade térmica (C_t) entre as superfícies do componente. A taxa de infiltração foi definida, conforme a ASHRAE (2007), como 0,75 trocas do volume de ar do ambiente por hora em cada zona.

Um relatório de erros é gerado a cada simulação não concluída com êxito. Sucessivas simulações e a contínua análise dos relatórios de erros para a correção do arquivo base constroem o conhecimento necessário dos diversos e minuciosos detalhes de declaração das estruturas.

Os relatórios de saída⁶ forneceram dados que foram analisados: consumo anual e mensal de energia elétrica; geração anual e mensal de energia elétrica pelos painéis; economia anual e mensal de energia elétrica; radiação mensal incidente no plano horizontal e número de horas não atendidas pelo sistema de ar condicionado.

⁶ Relatório de saída do programa *EnergyPlus*, conforme exemplo do apêndice 2.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se neste capítulo os resultados, segundo os procedimentos adotados para a pesquisa. O levantamento fotográfico das agências bancárias (nas cidades de Vitória e Vila Velha, ES) permitiu a tabulação das variáveis necessárias para a definição do protótipo que pudesse representar a tipologia arquitetônica das agências. Para complementação das informações da realidade construtiva, foram identificadas as características internas e a forma de uso da energia em agências bancárias. Após a análise de todas as variáveis, dois protótipos foram definidos devido à incidência de dois valores relevantes em algumas características dos edifícios. Em seguida, os parâmetros da tecnologia fotovoltaica a serem inseridos na simulação foram definidos considerando a utilização do modelo simples disponível no programa de simulação *EnergyPlus*. Por fim, foram feitas as simulações de desempenho dos protótipos representativos nos termos do RTQ-C, com a avaliação dos resultados do desempenho termo energético para verificar o potencial de economia no consumo anual de energia elétrica e a viabilidade de implementação da geração local de energia fotovoltaica em edifícios bancários.

4.1. LEVANTAMENTOS DA REALIDADE CONSTRUTIVA PARA DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO

Foram fotografadas 34 agências pertencentes a 8 (oito) instituições bancárias diferentes, identificadas com as letras de A até H, tanto públicas como privadas. O Apêndice 1 apresenta, de forma integral, a tabulação dos dados e a identificação das edificações.

As variáveis foram analisadas e tabuladas por meio da observação das fotos, nem todas variáveis podendo ser visualizadas devido ao ângulo da imagem, ou seja, alguns ângulos não permitiram visualizar as características ou proporções nas fachadas e áreas. Dentre as 33 variáveis analisadas, 14 variáveis foram classificadas por intervalos de valores definidos de acordo com a sua especificidade e 4 variáveis apresentaram dois valores relevantes que geraram dois protótipos representativos para serem simulados. A Quadro 2 apresenta as características para a definição dos protótipos.

Quadro 2 – Características que definiram os protótipos representativos

CARACTERÍSTICAS PARA DEFINIÇÃO DOS PROTÓTIPOS					
Item	VARIÁVEL	1º valor relevante		2º valor relevante	
		Valor	Frequência	Valor	Frequência
1	Uso exclusivo do edifício	Sim	74%		
2	Sombreamento do entorno	Não	74%		
3	Nº de pavimentos (além do térreo)	1	65%		
4	Altura total da Fachada Principal	Entre 4 e 7 metros	59%		
5	Largura da Fachada Principal	Entre 10 e 20 metros	58%		
6	Profundidade da edificação	Até 15 metros	60%		
7	Área da Fachada Principal	Entre 50 e 150 m²	58%		
8	Porcentagem de aberturas da Fachada Principal	entre 50 a 70 %	32%	até 20 %	25%
9	Proporção das Aberturas no 1º Pavimento	Até 50%	54%		
10	Material de revestimento externo da parede	Granito	38%	Cerâmica	29%
11	Cor do revestimento externo da parede	Cinza	45%	Branca	27%
12	Cor do vidro	Transparente	88%		
13	Sombreamento da Fachada Principal- TÉRREO (%)	Acima de 50%	50%		
14	Sombreamento da Fachada Principal - 1º Pavimento (%)	Sem sombreamento	48%	acima de 50%	41%
15	Área da Fachada Secundária	Entre 50 e 150 m²	53%		
16	Porcentagem de aberturas da Fachada Secundária	até 20%	64%		
17	Proporção de aberturas no 1º Pavimento - Fachada Secundária	0%	64%		
18	Material de revestimento externo - Fachada Secundária	Pintura	59%		
19	Cor preponderante - Fachada Secundária	Branca	67%		
20	Cor do vidro - Fachada Secundária	Incolor	89%		
21	Sombreamento da Fachada Secundária- TÉRREO (%)	0%	60%		
22	Sombreamento da Fachada Secundária- 1º Pavimento (%)	0%	67%		
23	Cobertura do Imóvel aparente na foto	não	100%		
24	Área da cobertura	até 150 m²	47%		
25	Material da cobertura	Laje com telha fibrocimento	100%		
26	Tipo de Proteção Solar - Térreo	Horizontal	71%		
27	Abrangência da Proteção Solar - Térreo	Fachada	81%		
28	Fator da Projeção- Térreo	até 0,5	59%		
29	Porcentagem de Abertura Sombreada - Térreo	100%	75%		
30	Tipo de Proteção Solar - 1º Pavimento	Horizontal	36%		
31	Abrangência da Proteção Solar - 1º Pavimento	Fachada	57%		
32	Fator da Projeção - 1º Pavimento	0	75%		
33	Porcentagem de Abertura Sombreada - 1º Pavimento	0%	71%		

4.1.1. Uso exclusivo da edificação, sombreamento do entorno e número de pavimentos

As agências bancárias analisadas são de uso específico para esta atividade em 74% das edificações, descrita como uso exclusivo do edifício.

Outro fator de grande influência no consumo de energia e na eficiência dos possíveis painéis fotovoltaicos é o sombreamento pelo entorno. Foi verificado que apenas 26% das edificações apresentavam sombreamento. As Figuras 01 e 02 mostram estes valores.

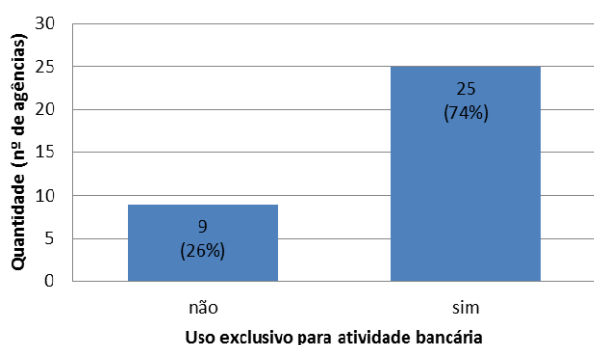


Figura 01 – Uso exclusivo do edifício

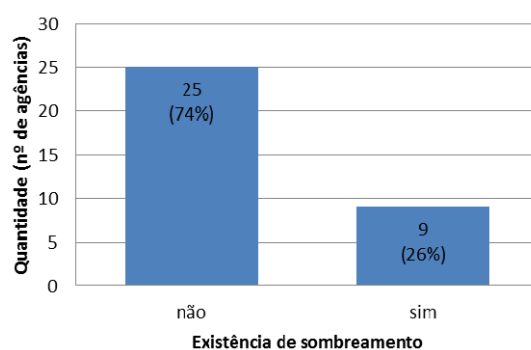


Figura 02 – Sombreamento pelo entorno

A maior porcentagem de edifícios (65%) possui apenas um pavimento além do térreo. Assim, algumas variáveis, como revestimento, cores dos vidros, aberturas, etc., foram analisadas somente nestes dois pavimentos, mesmo nos edifícios que possuíam mais pavimentos. A Figura 03 mostra a fachada de uma agência bancária cujas identificações foram ocultadas, assim como a apresentação em tons de cinza para não identificar a cor padrão da rede bancária. Pode-se observar uma agência única, ou seja, com uso apenas para esta atividade, sem sombreamento do entorno e com dois pavimentos.



Figura 03 – Fachada principal, sem sombreamento e com um pavimento além do térreo.

A Figura 04 apresenta uma agência com uso híbrido, sendo o térreo e o primeiro pavimento para atividades da agência e os outros 10 pavimentos-tipo para diversas atividades de escritórios. A edificação possui outros edifícios no entorno imediato, o que produz sombreamento na edificação.



Figura 04 – Fachada principal de agência bancária de uso híbrido, com sombreamento no entorno e diversos pavimentos além do térreo.

4.1.2. Características da fachada principal

As características da fachada principal utilizadas nos protótipos foram apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Dimensões da fachada principal

CARACTERÍSTICAS PARA DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO			
Item	VARIÁVEL	1º valor relevante	
		Valor	Frequência
4	Altura total da fachada principal	entre 4 e 7 metros	59%
5	Largura da fachada principal	entre 10 e 20 metros	58%
6	Profundidade da fachada principal	até 15 metros	60%
7	Área da fachada principal	entre 50 e 150 m ²	58%

As dimensões das edificações foram obtidas por observação e comparação com referências mostradas nas fotografias como, por exemplo, o tamanho das portas de acesso nas agências, os pórticos do autoatendimento, os totens de identificação, cujas medidas são padronizadas e definidas nos projetos e cadernos de especificações disponibilizados para a pesquisa. Além disso, foram também utilizadas referências localizadas no entorno e nos logradouros.

Iniciando pela altura total da fachada principal, considerou-se uma medida padrão de 1 metro para a platibanda que oculta o telhado nas edificações com uso exclusivo como agência. Na análise das fachadas principais e secundárias, o intervalo de 4 a 7m de altura teve 69% de incidência, sendo adotada a altura de 7m para o protótipo, que representou 44% das medidas encontradas. Os quadros 4 e 5 exemplificam como esta variável foi adotada para elaboração do protótipo representativo: inicialmente foi identificada a variável discreta e depois elas foram agrupadas de acordo com a coerência com o número de pavimentos. Critério semelhante foi adotado para agrupamentos das outras variáveis.

Quadro 4 – Alturas das principais fachadas levantadas nas fotografias

Altura da Fachada (m)*	Frequência
<4 (3)	3%
5 (4)	9%
7 (6)	44%
8 (7)	16%
10 (9)	22%
12 (11)	3%
14 (13)	3%
Total Geral	100%

* Os valores entre parênteses excluem 1m da platibanda.

Quadro 5 – Intervalos definidos para altura da fachada principal

Intervalos p / altura da fachada sem platibanda	Frequência
Abaixo de 4m	3%
de 4 s 7m	69%
acima de 7m	28%
Total Geral	100%

Para a largura da fachada, 58% das edificações encontram-se no intervalo de 10 a 20m, sendo adotado o valor médio de 15m. No caso da profundidade dos edifícios, não foi possível levantar estas medidas em todas as edificações devido

aos ângulos da fotografia, sendo adotado o valor de 10m pelas edificações analisadas.

Em relação às aberturas envidraçadas da fachada principal, a porcentagem da área de aberturas nesta fachada foi de 20% e 32% da área total para os dois protótipos representativos, conforme apresentado na Quadro 6. Destas aberturas, 54% das edificações apresentaram até 50% de área de aberturas localizadas no 1º pavimento. De 0 a 50%, o percentual mais frequente foi de 40%.

Quadro 6 – Aberturas na fachada principal

CARACTERÍSTICAS PARA DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO					
Item	VARIÁVEL	1º valor relevante		2º valor relevante	
		Valor	Frequência	Valor	Frequência
8	Porcentagem de aberturas da Fachada Principal	entre 50 a 70 %	32%	até 20 %	25%
9	Proporção das Aberturas no 1º Pavimento	até 50%	54%		

4.1.3. Revestimentos externos e vidros na fachada principal

Em relação ao revestimento externo, pode-se observar no quadro 7 que houve dois valores mais relevantes para o tipo de revestimento e para sua cor. Das edificações analisadas, 38% são revestidas com granito e 29% com cerâmica. A cor cinza aparece em 45% das edificações e a cor branca em 25%, conforme apresentado na Figura 05. Os vidros são incolores em 88% das edificações.

Quadro 7 – Características dos revestimentos e vidros da fachada principal

CARACTERÍSTICAS PARA DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO					
Item	VARIÁVEL	1º valor relevante		2º valor relevante	
		Valor	Frequência	Valor	Frequência
10	Material do revestimento externo da parede	Granito	38%	Cerâmica	29%
11	Cor do revestimento externo da parede	Cinza	45%	Branca	27%
12	Cor do vidro	Incolor	88%		

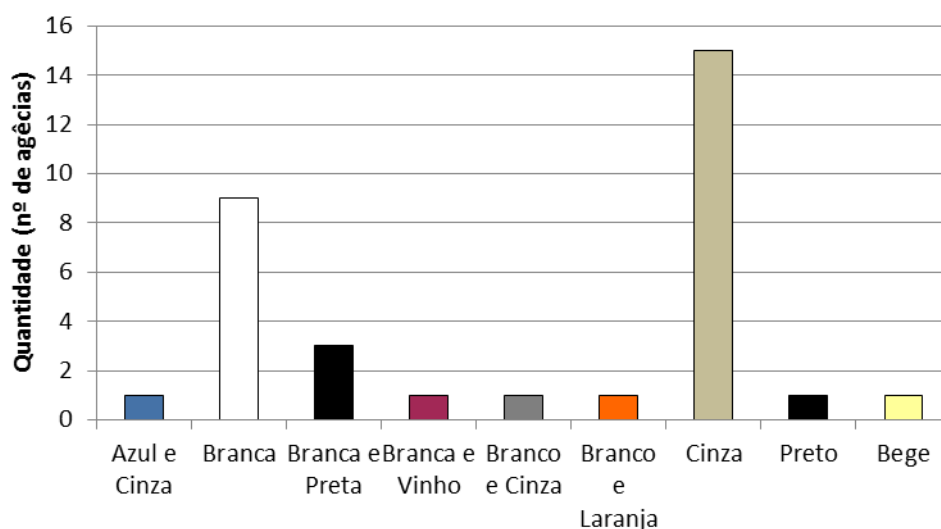


Figura 05 – Cor predominante na fachada principal.

4.1.4. Sombreamento da fachada principal

A ocorrência de sombreamento da fachada principal verificada nas fotografias e utilizada nos protótipos está apresentada no Quadro 8.

Quadro 8 – Sombreamento da fachada principal

CARACTERÍSTICAS PARA DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO					
Item	VARIÁVEL	1º valor relevante		2º valor relevante	
		Valor	Frequência	Valor	Frequência
13	Sombreamento da Fachada Principal- TÉRREO (%)	acima de 50 %	50%		
14	Sombreamento da Fachada Principal - 1º Pavimento (%)	Sem sombreamento	48%	acima de 50 %	41%

O pavimento térreo das edificações analisadas possui sombreamento acima de 50%, sendo adotado o valor de 100%, pois a grande maioria é totalmente sombreada por meio de marquises. No primeiro pavimento, foram adotados dois valores: um sem sombreamento e outro com sombreamento de 100%.

4.1.5. Características da fachada secundária

O quadro 9 apresenta as características da fachada secundária adotadas para o protótipo representativo das agências bancárias. A área da fachada tem 70m², que foi a área mais representativa no intervalo entre 50 e 150m². Em relação à área das aberturas, foi adotada a proporção de 10%, também por ser a mais relevante nos intervalos definidos, sendo que no primeiro pavimento não existem aberturas. Para o revestimento, foram adotadas: pintura na cor branca; e vidro transparente. Nesta fachada, não existe dispositivo de sombreamento.

Quadro 9 – Características da fachada secundária

CARACTERÍSTICAS PARA DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO			
Item	VARIÁVEL	1º valor relevante	
		Valor	Frequência
15	Área da Fachada Secundária	Entre 50 e 150 m ²	53%
16	Porcentagem de aberturas da Fachada Secundária	até 20 %	64%
17	Proporção de aberturas no 1º Pavimento - Fachada Secundária	0%	64%
18	Revestimento externo - Fachada Secundária	Pintura	59%
19	Cor preponderante - Fachada Secundária	Branca	67%
20	Cor do vidro - Fachada Secundária	Transparente	89%
21	Sombreamento da Fachada Secundária- TÉRREO (%)	0%	60%
22	Sombreamento da Fachada Secundária- 1º Pavimento (%)	0%	67%

4.1.6. Características da cobertura

Em nenhuma agência, a cobertura é aparente na foto. Porém, de acordo com os padrões de construção das agências, foi adotada a existência de laje de concreto armado com telhado em fibrocimento oculto pela platibanda (nas agências de uso exclusivo), ou apenas laje de concreto (nos demais casos), conforme Figura 06.



Figura 06 – Fachada principal de agência bancária com platibanda que oculta o telhado.

4.1.7. Proteção solar

Em relação à proteção solar, observam-se as características apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 – Características da proteção solar

CARACTERÍSTICAS PARA DEFINIÇÃO DO PROTÓTIPO			
Item	VARIÁVEL	1º valor relevante	
		Valor	Frequência
26	Tipo de Proteção Solar – Térreo	Horizontal	71%
27	Abrangência da Proteção Solar - Térreo	Fachada	81%
28	Fator da Projeção- Térreo	até 0,5	59%
29	Porcentagem de Abertura Sombreada - Térreo	100%	75%
30	Tipo de Proteção Solar - 1º Pavimento	Horizontal	36%
31	Abrangência da Proteção Solar - 1º Pavimento	Fachada	57%
32	Fator da Projeção - 1º Pavimento	0	75%
33	Porcentagem de Abertura Sombreada - 1º Pavimento	0%	71%

No térreo, 71% das edificações apresentaram marquise horizontal como proteção solar, conforme quadro 11. A Figura 07 apresenta a abrangência da proteção solar que foi analisada em relação à fachada ou em relação às esquadrias, sendo verificados 81% de ocorrência nas fachadas.

Quadro 11 – Frequência de ocorrência para tipo de proteção solar no térreo

Tipo de Proteção Solar (Térreo)	Frequência
Brise Horizontal	10%
Brisas Horizontais e Verticais	5%
Brisas Verticais	10%
Frontal	5%
Horizontal	71%
Total Geral	100%

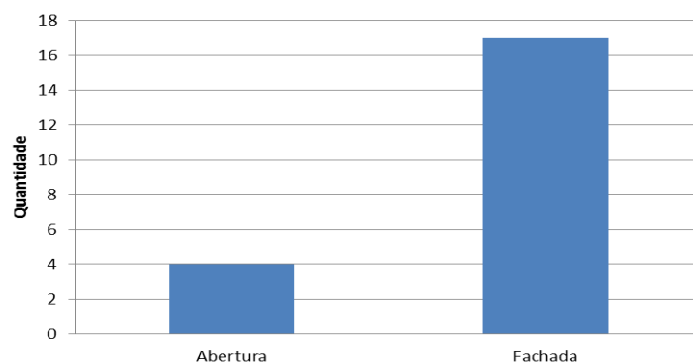


Figura 07 – Abrangência da proteção solar no térreo.

A proteção solar no primeiro pavimento ocorreu somente nas edificações de uso híbrido, devido ao avanço (balanço) dos pavimentos superiores que causavam o sombreamento, conforme Figura 08. Sendo assim, o protótipo representativo não apresentou este sombreamento por tratar-se de um prédio isolado, apenas com o térreo e o primeiro pavimento.



Figura 08 – Fachada principal de agência bancária de uso híbrido, com proteção solar no térreo (marquise) e no primeiro pavimento (balanço dos pavimentos superiores).

Conforme explicado na metodologia, o fator de projeção se refere ao sombreamento dos elementos horizontais ou verticais localizados na fachada ou nas esquadrias. Ele foi, para o térreo, de até 0,5 (cinco décimos) e zero para o primeiro pavimento.

4.1.8. Propriedades dos materiais construtivos

Conhecidos os materiais predominantes nas edificações, tornam-se conhecidas as propriedades térmicas que são utilizadas como dado de entrada para simulação. As características desses materiais utilizados estão descritos no Quadro 12.

Quadro 12 - Características dos materiais construtivos

Nome do material	Espessura real (cm)	Espessura equivalente (cm)	Condutividade térmica (W/mK)	Densidade equivalente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg K)	Resistência térmica (m ² K/W)
Argamassa de emboço	2,5	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
Tijolo cerâmico com 6 furos quadr.	9	1,4	0,90	2290	0,92	0,016
Câmara de ar com alta emissividade (>5cm)	–	–	–	–	–	0,210
Telha de fibrocimento	0,7	0,7	0,95	1900	0,84	0,007
Laje	12	9,5	1,05	1087	0,92	0,090

As paredes internas foram modeladas com uma camada interna e outra externa de argamassa de emboço e tijolo cerâmico de 6 furos no centro; já nas paredes da fachada principal foram considerados mais dois diferentes revestimentos conforme os resultados obtidos na análise da frequência de ocorrência destes materiais. As lajes são do tipo mista com 12 cm de espessura e as esquadrias são de vidro incolor.

No quadro 13 apresenta as características do forro adotado na simulação (por ser bastante utilizado em agências bancárias) e foram obtidas de acordo com as especificações dos cadernos de especificações e pelos fornecedores.

Quadro 13 - Características do forro.

Nome do material	Espessura real (cm)	Espessura equivalente (cm)	Condutividade térmica (W/mK)	Densidade equivalente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg K)	Resistencia térmica (m ² K/W)
Forro mineral	1	1	0,045	300	0,75	–

4.1.9. Identificação das características internas e do uso de energia

Os dados de densidade da carga interna de iluminação, dos equipamentos e da quantidade de pessoas foram uniformizados para os dois pavimentos. Foi considerada a atividade metabólica exercida em escritório, portanto, atividade leve manual que se realiza sentada. O valor adotado para essa atividade é o de taxa metabólica média equivalente a 70 W/m², de acordo com a Tabela 1 da ISO 7730/94. De acordo com as especificações de serviços de condicionamento de ar

nas agências, foi considerado o tipo *split* para as áreas de autoatendimento e nas demais áreas das agências foram considerados o *self contained* do tipo ciclo reverso. A tomada de ar externo para renovação foi considerada de acordo com os padrões especificados no caderno de encargos da agências pesquisadas, com o retorno do ar para os ambientes sendo captado por frestas no forro para sua circulação pelo plenum. Os termostatos de cada zona térmica foram ajustados para acionar o sistema de resfriamento quando a temperatura interna for superior a 24°C (pelos padrões técnicos das instituições bancárias, não é previsto aquecimento para os sistemas de ar condicionado). Os parâmetros adotados estão na quadro 14.

Quadro 14 – Parâmetros de densidade de carga interna adotados no modelo representativo

Parâmetro	Modelo
Pessoas	Clientes e funcionários
Taxa metabólica (W/m ²)	70
Iluminação (W/m ²)	10
Equipamentos (W/m ²)	9
Padrão de uso	10h às 22h
Condicionamento de ar	ZONA 1 - SPLIT
	DEMAIS ZONAS - SELF CONTAINED
Tipo	CICLO REVERSO

4.2. PROTÓTIPO COMPUTACIONAL REPRESENTATIVO

Para a modelagem do protótipo representativo no programa *EnergyPlus*, após análise dos levantamentos, os resultados foram generalizados para se tornarem em indicadores para a simulação.

Em resumo: a partir das características levantadas, tem-se um protótipo para simulação com 2 pavimentos (térreo e primeiro pavimento), altura da fachada com 7m, sendo 1m de platibanda, conforme Figura 09. A largura da fachada principal com 15m e profundidade da edificação com 10m. A porcentagem de abertura da fachada principal foi modelada como porta na fachada principal e como janela alta na fachada secundária, conforme os padrões da tipologia. Uma marquise foi modelada no térreo para o sombreamento da fachada principal e aberturas.

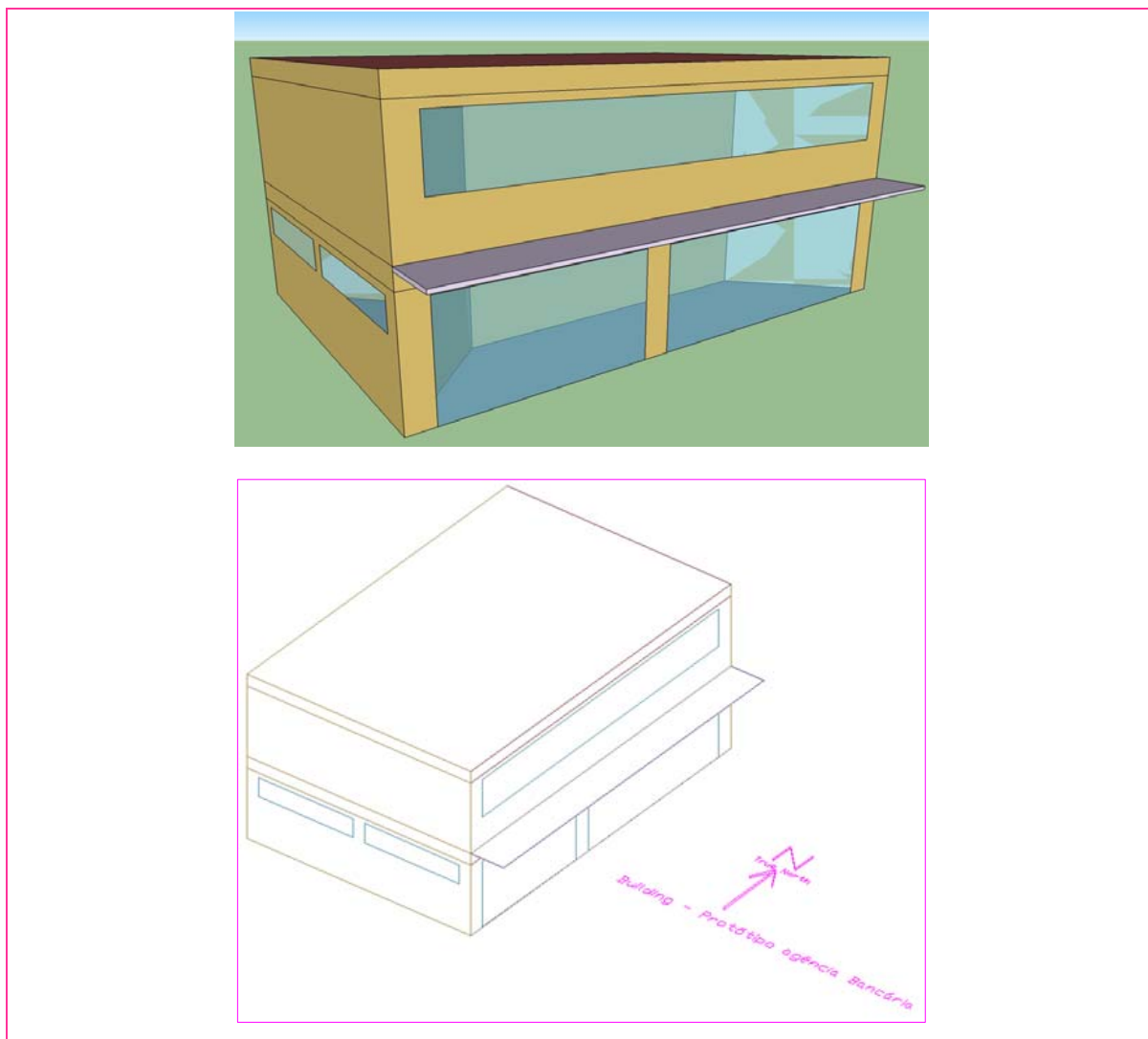


Figura 09 – Perspectivas do protótipo representativo da agência elaboradas nos softwares Google SketchUp e AutoCAD.

Todas as demais características da edificação e informações obtidas nos levantamentos subsidiaram a geração dos protótipos para simulação do desempenho térmico. A orientação solar adotada foi a fachada principal para leste, sendo a melhor opção. Pelo fato de ter ocorrido mais variáveis com mais de um valor relevante (revestimento externo da parede, cor do revestimento externo e sombreamento da fachada principal no 1º pavimento), foram gerados dois protótipos representativos. Cada qual teve áreas distintas de cobertura com os painéis fotovoltaicos, conforme quadro 15.

Quadro 15 – Identificação dos protótipos simulados

Identificação dos protótipos	Critério
Banco1_A100	Protótipo somente com o 1º valor relevante das variáveis e com painéis FV em 100% da área de cobertura
Banco1_A50	Protótipo somente com o 1º valor relevante das variáveis e com painéis FV em 50% da área de cobertura
Banco1_RTQ	Protótipo somente com o 1º valor relevante das variáveis e com painéis FV para atender a bonificação do RTQ-C
Banco2_A100	Protótipo com o 1º e 2º valor das variáveis e com painéis FV em 100% da área de cobertura
Banco2_A50	Protótipo com o 1º e 2º valor das variáveis e com painéis FV em 50% da área de cobertura
Banco2_RTQ	Protótipo com o 1º e 2º valor das variáveis e com painéis FV para atender a bonificação do RTQ-C

4.3. MODELAGEM PARA SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

4.3.1. Zoneamento térmico

Por se tratar de ambiente confinado devido à natureza da edificação (agência bancária), todos os ambientes de permanência prolongada são condicionados artificialmente. Somente os ambientes de permanência transitória não possuem condicionamento de ar artificial (corredores, sanitários, copa, depósito, almoxarifado, arquivo). Observa-se ainda na Figura 09 que o *plenum* (espaço de retorno do ar condicionado) está situado entre a laje de teto e o forro e foi modelado separadamente como uma zona térmica independente.

Além destas duas zonas térmicas, cada pavimento foi dividido em outras cinco zonas térmicas segundo o padrão *core and shell* ⁷, conforme apresentado na Figura 10.

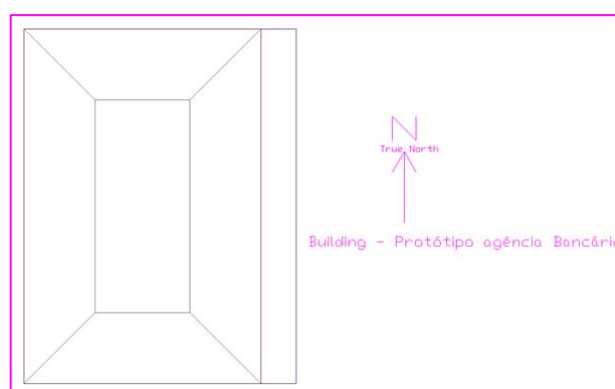


Figura 10 – Planta baixa do protótipo apresentando as zonas térmicas no padrão *core and shell*.

⁷ Padrão de zoneamento térmico onde se separam as zonas térmicas periféricas, mais expostas às variações do ambiente externo, da zona térmica central.

Esta distribuição das zonas térmicas também é demonstrada no Quadro 16, onde está discriminado cada ambiente com seu respectivo padrão de uso.

Quadro 16 – Distribuição das zonas térmicas e padrão de uso.

FUNCIONAMENTO DA AGÊNCIA:			
ZONAS	AMBIENTE (m²)	PADRÃO DE USO	
ZONA 1	Autoatendimento (36m²)	Cliente AA	8h às 22h
ZONA 2	– Atendimento – mesas (21m²)	Cliente atendim1	10h às 16h
		Funcionários Atendim1	8h às 18h
ZONA 3	– Atendimento – caixa (36m²)	Cliente atendim2	10h às 16h
		Funcionários Atendim2	8h às 18h
ZONA 4	– Suporte (21m²)	Funcionários Suporte 1	8h às 18h
ZONA 5	– Serviço (36m²)	--	8h às 18h
ZONA 6	– Atendimento – mesas (36m²)	Cliente atendim3	10h às 16h
		Funcionários Atendim3	8h às 18h
ZONA 7	– Suporte (21m²)	Funcionários Suporte 2	8h às 18h
ZONA 8	– Suporte (36m²)	Funcionários Suporte 3	8h às 18h
ZONA 9	– Suporte (21m²)	Funcionários Suporte 4	8h às 18h
ZONA 10	– Serviço (36m²)	--	8h às 18h

As entrevistas com responsáveis e técnicos, assim como os estudos de Krüger e Mori (2012) informaram os padrões de uso (“*schedules*”- horários de funcionamento) usuais em agências bancárias. Estes foram definidos por zona térmica e pelas cargas envolvidas (iluminação, equipamentos e pessoas). O horário normal de expediente bancário (atendimento ao público) é somente durante os dias de semana, das 10h às 16h. Aproximadamente duas horas antes

e duas horas depois do horário de expediente normal, parte dos funcionários permanece na agência realizando trabalhos internos (mantendo-se parcialmente ligadas as cargas de iluminação, equipamentos e ar condicionado). Esse é o padrão de uso da área de atendimento da agência. Alguns ambientes internos da agência possuem equipamentos de informática que funcionam 24 horas por dia. Apesar de não haver empregados trabalhando nesses ambientes permanentemente, o calor dissipado pelos equipamentos obriga a instalação de sistemas de ar condicionado que operam em regime contínuo.

Os ambientes de acesso restrito e instalações sanitárias ficam na parte posterior da agência. Por serem ambientes de permanência não prolongada, não necessitam de sistema de climatização especial e por isso são ambientes não condicionados artificialmente. Já os autoatendimentos possuem horário diferenciado. Funcionam sete dias por semana, das 8h às 22h. No horário das 8h às 18h, o sistema de iluminação funciona parcialmente, já que as luminárias próximas às áreas envidraçadas permanecem desligadas (contribuição de luz natural). Das 18h às 22h, todas as luminárias permanecem ligadas.

4.3.2. Sistema de condicionamento de ar

De acordo com o relatório sobre a pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, resultado da avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil (EPE, 2005), 76,2% das agências bancárias utilizam *split* e em 62,8% dos casos o *self contained*. Com base neste relatório e nas entrevistas, o sistema de condicionamento de ar foi modelado diferentemente para a zona térmica 1 (autoatendimento) e as demais zonas. O *split* do autoatendimento permaneceu com dimensionamento automático do *EnergyPlus*. Já o *self contained* foi dimensionado de acordo com suas cargas térmicas, usando o critério da Standard 90.1 (ASHRAE, 2007) de número de horas não atendidas máximas de 300h/ano.

Verifica-se no quadro 17 que, para o número de horas não atendidas pelo ar condicionado estar próximo para os dois modelos, a potência do *chiller* (ou resfriador de líquido) do protótipo Banco 1 foi de 100kW e do protótipo Banco 2 foi de 45kW. As variáveis modificadas no protótipo 2 (porcentagem de abertura da fachada principal, revestimento externo da parede, cor do revestimento externo e sombreamento da fachada principal no 1º pavimento) possibilitaram uma redução de 55% na potência do *chiller*, confirmando a necessidade de avaliação do projeto para que haja uma melhoria no desempenho térmico das edificações.

Quadro 17 – Características do sistema do condicionamento de ar

	Sistema de condicionamento de ar	
	Potência do <i>Chiller</i> (kW)	Número de horas não atendidas pelo ar condicionado (h)
Banco1	100	223,25
Banco2	45	240,75

4.3.3. Sistema fotovoltaico

O modelo de cálculo de conversão fotovoltaica utilizado foi um modelo simplificado do *EnergyPlus* que permite ao usuário um controle completo sobre o desempenho da conversão fotovoltaica. Como a eficiência da célula fotovoltaica na maioria das tecnologias depende da temperatura de operação, foi adotado o valor corrigido intermediário de 12% obtido no estudo de Mizgier *et al.* (2006), onde foram avaliadas diferentes tecnologias de painéis fotovoltaicos. Em relação a outros dados que devem ser inseridos na simulação, a forma de integração dos painéis na superfície para transferência de calor foi considerada dissociada (“*Decoupled*”), por não estar diretamente associado à superfície da edificação, como é o caso da outra opção de modelagem, *Building Integrated PV – BIPV*.

A instalação dos painéis fotovoltaicos foi definida na área de cobertura do edifício. A fração da área da superfície com células solares ativas, que é um parâmetro inserido na simulação, corresponde à porcentagem de área ocupada na cobertura pelas placas fotovoltaicas. Esse parâmetro é de suma importância para que seja atendida a exigência do RTQ-C, aumentando a eficiência energética da edificação e para receber a bonificação pela economia mínima de 10% no consumo anual de energia elétrica do edifício. Nesse caso, os valores que atendem a 10% do consumo do edifício e que foram inseridos na simulação são: a fração de 0,213 para o protótipo de Banco 1 e de 0,1474 para o protótipo do Banco 2, ou seja somente 21,3% e 14,7% da área de cobertura da edificação respectivamente precisaria estar ocupada com painéis fotovoltaicos para que se obtivesse a bonificação determinada pelo RTQ-C. Estes dados estão resumidos no Quadro 18.

Quadro 18 – Parâmetros da tecnologia fotovoltaica inseridos na simulação

Parâmetro	Modelo
Fotovoltaico - Modelo	SIMPLES
Eficiência do painel	12%
Integração dos painéis	Dissociado
Fração da área ocupada pelos painéis	Protótipo 1 - 21,3%
	Protótipo 2 - 14,7%

4.4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

4.4.1. Usos finais

Analisando o Quadro 19 e a Figura 11, verifica-se que os maiores usos finais anuais são devido ao condicionamento de ar para resfriamento. O sistema de iluminação e a carga dos equipamentos apresentaram um consumo idêntico para todos os protótipos, sendo que os equipamentos tiveram maior consumo de energia (32,99 kWh/m²).

Uma ênfase da análise foi em relação ao consumo esperado para o sistema condicionamento de ar, pois este é influenciado diretamente pelas alterações das quatro variáveis propostas para a envoltória, além de geralmente ser a maior carga interna. O Banco 1 consumiu 94,83 kWh/m², enquanto no Banco 2 consumiu 52,96 kWh/m², representando a maior parte do consumo de energia da edificação. Essas modificações representaram uma redução de 41,87kWh/m² (uma porcentagem de 44% de economia).

Quadro 19 – Usos finais dos protótipos simulados

	Usos Finais [kWh/m ²]									
	Resfriamento		Iluminação		Equipamentos		Ventiladores		Bombas	
	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%
Banco1	94,83	52%	28,54	16%	32,99	18%	18,45	10%	7,24	4%
Banco2	52,96	42%	28,54	23%	32,99	26%	8,21	7%	3,34	2%

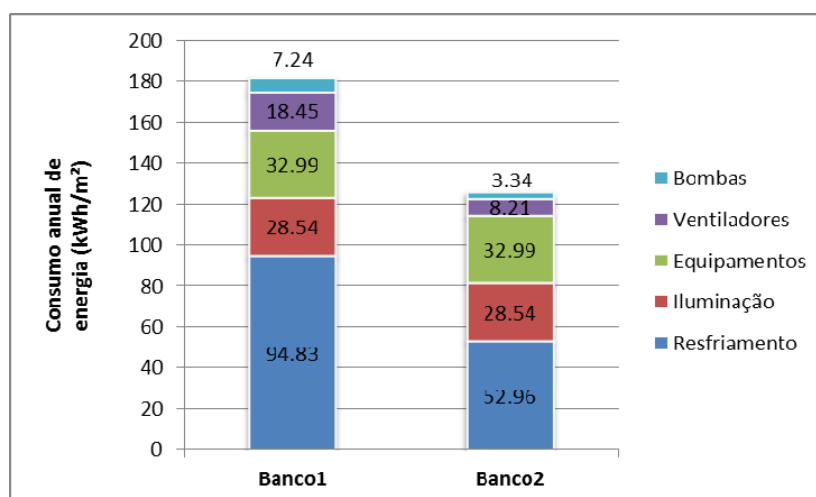


Figura 11 – Usos finais para os protótipos 1 e 2.

A Figura 12 apresenta a porcentagem dos usos finais em relação ao consumo total da edificação. No Banco 1 o resfriamento representou 52% do consumo, enquanto no Banco 2 representou 42% do consumo total de energia. Ao analisar o consumo por iluminação, vê-se que o Banco 1 (16%) aproxima-se mais da porcentagem da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso. A participação da carga de iluminação em relação à demanda geral da instalação no relatório da pesquisa nacional é 11,8%, porém este dado considera agências localizadas em todas as regiões do país, com as mais diversas variáveis além do clima diferenciado.

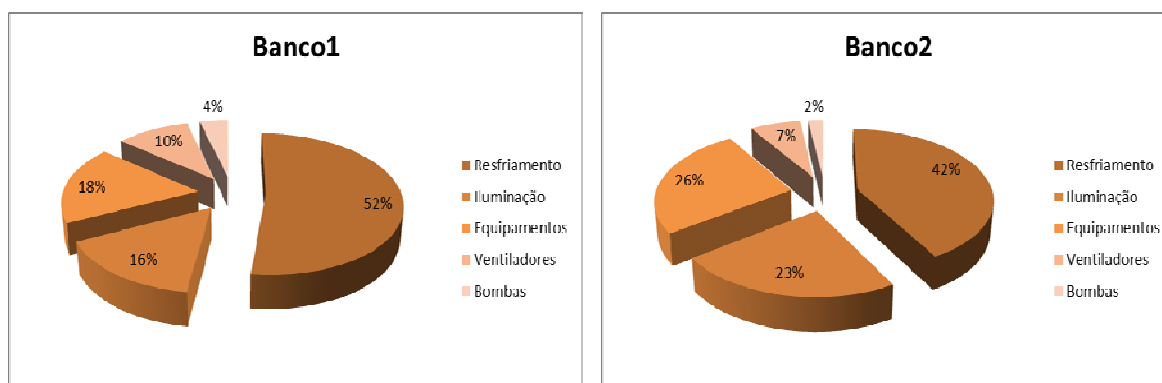


Figura 12 – Porcentagem dos usos finais para os protótipos 1 e 2.

Ainda em relação a consumo devido ao resfriamento do sistema de condicionamento de ar, pode-se verificar no Banco 2-A50 que toda a produção fotovoltaica ($42,75\text{kWh/m}^2$) supriria a quase toda a demanda existente por resfriamento ($52,96\text{kWh/m}^2$). Por serem normalmente as maiores cargas internas das agências, estas MCE's seriam benéficas para a redução dos custos e melhoria da eficiência energética da edificação, como visto na Quadro 20.

Quadro 20 – Geração fotovoltaica e consumo pelo resfriamento

	Geração fotovoltaica [kWh/m ²]	Consumo pelo resfriamento [kWh/m ²]
Banco1_A100	85,51	94,83
Banco1_A50	42,75	94,83
Banco1_RTQ	18,21	94,83
Banco2_A100	85,51	52,96
Banco2_A50	42,75	52,96
Banco2_RTQ	12,60	52,96

4.4.2. Geração fotovoltaica e consumo de energia

A geração de energia fotovoltaica é apresentada na Quadro 21, de acordo com a quantidade de painéis FV que foram utilizados em cada protótipo, ou seja, a área da cobertura que foi efetivamente ocupada com painéis. Os protótipos cujos painéis ocupam 100% de sua área de cobertura são teóricos e representados pelo Banco 1-A100 e Banco 2-A100: eles produziram 85,51kWh/m² de energia. Esta quantidade de energia representou 47% e 68% do consumo total anual das edificações, respectivamente. Com a redução pela metade da área ocupada por painéis FV, também a produção de energia se reduziu pela metade. Em relação à quantidade de 10% da energia consumida pela edificação, necessária para atender o RTQ-C, foi produzido 18,21 kWh/m² de piso para o Banco 1 e para o Banco 2 foi necessário apenas 12,6 kWh/m² de piso. Percebe-se também que a participação da energia fotovoltaica no consumo foi maior no Banco 2-A100 e Banco2-A50 (68% e 34% respectivamente) que em relação ao Banco 1.

Quadro 21 – Geração anual de energia elétrica de origem fotovoltaica.

	Energia Fotovoltaica	
	Geração [kWh/m ²]	Geração em relação ao consumo total [%]
Banco1_A100	85,51	47%
Banco1_A50	42,75	23%
Banco1_RTQ	18,21	10%
Banco2_A100	85,51	68%
Banco2_A50	42,75	34%
Banco2_RTQ	12,60	10%

Observa-se na Figura 13 que a maior produção é no verão, quando a carga térmica do edifício a ser retirada pelo ar condicionado é maior. A geração de

energia fotovoltaica do Banco 2_A100 aproxima-se do seu consumo (Banco_2) nos meses de janeiro, novembro e dezembro, o que o torna quase autossuficiente desconsiderando as variações de dia/noite. Já para o Banco 1, a geração de energia decorrente da ocupação de 100% da área da cobertura permite que, nesses respectivos meses, aproximadamente 2/3 do consumo seja atendida pelo sistema fotovoltaico. O pior mês para geração, mês de junho, é também o mês de menor consumo dos bancos, e a geração fotovoltaica é também significativa.

Percebe-se como o potencial de geração fotovoltaica é elevado: mesmo que a área de 100% da cobertura com painéis seja teórica, acredita-se que uma área viável de ser utilizada nas agências bancárias do país esteja entre 50 e 100%. Vê-se, portanto, como é tecnicamente simples atingir 1 ponto de bonificação pelo RTQ-C para etiquetagem ao atender a 10% do consumo anual de energia elétrica, pois a área de cobertura necessária é pequena.

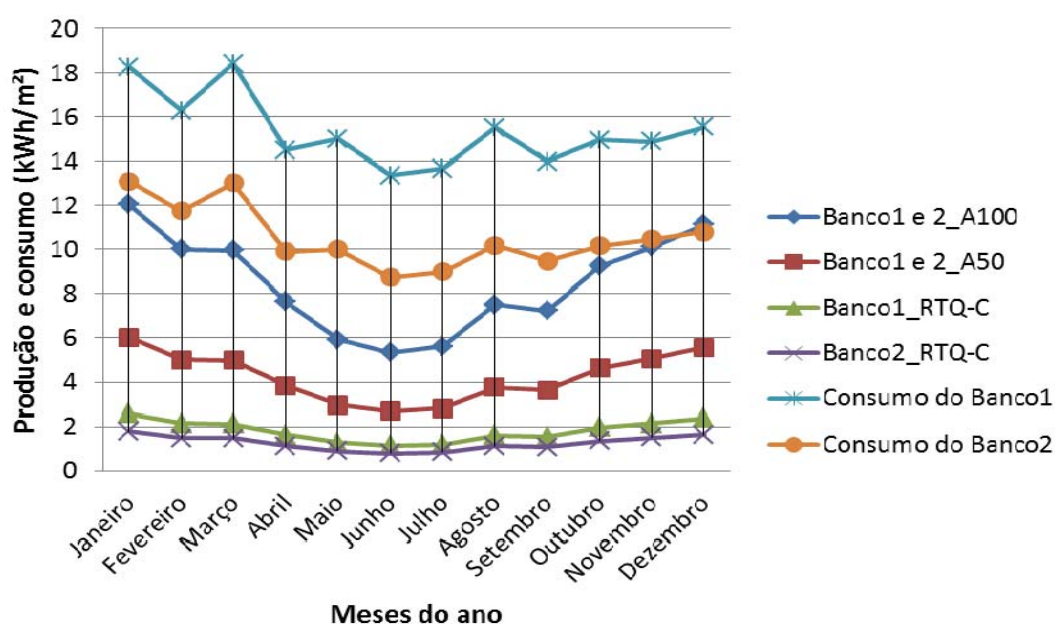


Figura 13 – Geração fotovoltaica mensal e consumo mensal em kWh/m².

A pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso para bancos verificou que nenhuma das agências bancárias pesquisadas possui algum sistema de geração local ou cogeração de energia, porém os dados desta pesquisa indicam que existe o potencial de economia de energia elétrica com a geração local de energia elétrica e, conseqüentemente, a viabilidade da bonificação para a etiquetagem.

Pode-se observar também a mesma geração e consumo energético pela Figura 14 com os valores absolutos. O Banco 1 consome até 5700 kWh/ano em um ano

típico⁸, enquanto o pico de consumo do banco 2 é de 4000 kWh/ano, ambos no mês de março, em Vitória e Vila Velha (ES).

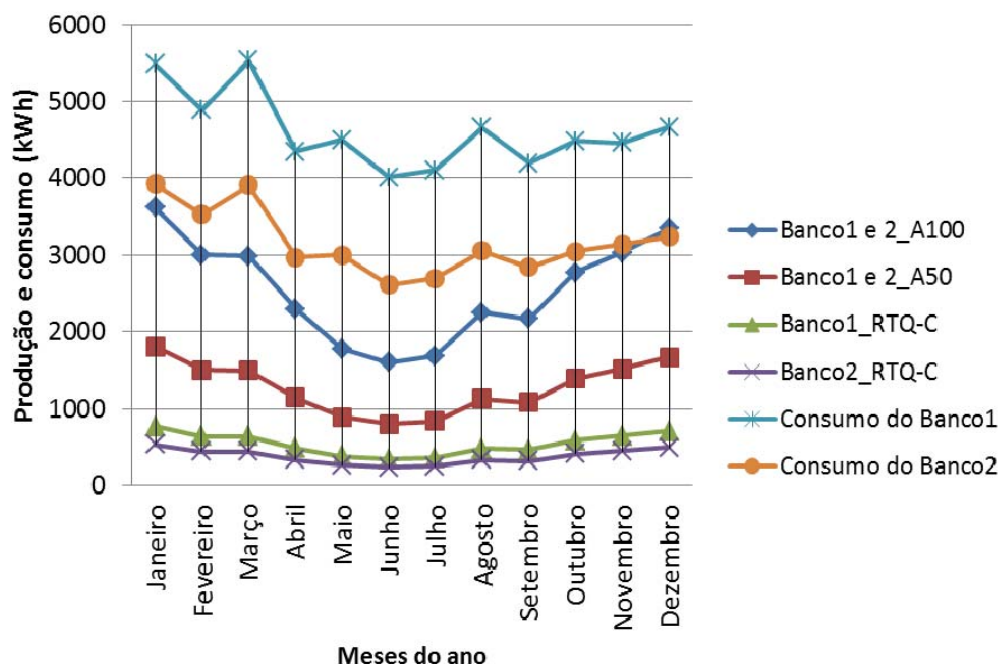


Figura14 – Produção fotovoltaica mensal e consumo mensal em kWh.

Os resultados gerais da simulação do protótipo representativo são apresentados no Quadro 22 onde se vê o detalhamento do consumo anual de energia elétrica. Vê-se o consumo total anual e a geração fotovoltaica nas primeiras colunas. Em seguida, o consumo anual direto de energia fotovoltaica é a energia fotovoltaica que foi diretamente consumida pelo edifício no momento de sua geração, sem ter sido fornecida para a rede. O consumo anual bruto é a soma do consumo líquido fornecido pela concessionária e da energia fornecida para a rede num momento em que a geração excedeu o consumo do edifício, podendo esta ser recuperada noutro momento.

O consumo total anual para o Banco 1 foi de 182,05 kWh/m² (54.613,56 kWh) e para o Banco 2 foi de 126,03 kWh/m² (37.809,91kWh). A avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil diagnosticou que o consumo médio nacional no setor bancário é de 59.200kWh, o que se aproxima do consumo do Banco 1.

⁸ Ano típico do arquivo climático, sem extremos de temperaturas.

Quadro 22– Consumo de eletricidade dos protótipos simulados

	Consumo total anual [kWh/m ²]	Geração fotovoltaica [kWh/m ²]		Consumo anual direto de energia fotovoltaica [kWh/m ²]		Consumo anual bruto pela rede [kWh/m ²]		Consumo anual líquido pela rede [kWh/m ²]		Energia fornecida para a rede [kWh/m ²]	
Banco1_A100	182,05	85,51	47%	62,93	35%	119,12	65%	96,54	53%	22,58	12%
Banco1_A50	182,05	42,75	23%	36,03	20%	146,01	80%	139,29	76%	6,72	4%
Banco1_RTQ	182,05	18,21	10%	17,67	10%	164,38	90%	163,83	90%	0,55	0%
Banco2_A100	126,03	85,51	68%	60,99	48%	65,05	52%	40,53	33%	24,52	19%
Banco2_A50	126,03	42,75	34%	35,11	28%	90,92	72%	83,28	66%	7,64	6%
Banco2_RTQ	126,03	12,60	10%	12,43	10%	113,61	90%	113,43	90%	0,18	0%

Verifica-se no Banco 1-A100 e Banco 1-A50 um aumento no consumo líquido pela rede, ou seja, na quantidade de energia vendida pela concessionária, pois correspondeu a 53% e 76% do consumo total, respectivamente, enquanto o protótipo com o mínimo exigido pelo RTQ-C (Banco 1-RTQ-C) correspondeu a 90% do consumo total anual. Observa-se também no Banco 2 este aumento na quantidade de energia cedida pela concessionária, cujo consumo correspondeu a 32% e 66% respectivamente, enquanto o Banco 2 RTQ também correspondeu a 90% do consumo total anual, idêntico ao Banco 1. As menores cargas do Banco 2, aliada à sua geração local, permite que seus custos com a concessionária sejam os mais favoráveis, como pode ser observado na Figura 15.

É válido ressaltar dois pontos ainda: primeiro, o caso teórico de 100% de ocupação da área da cobertura e, segundo, a relação no consumo das 4 variáveis modificadas no Banco 2. Verifica-se, primeiramente, que a situação do Banco 1 e 2 com ocupação da área de cobertura de 100% com FV é apenas uma referência teórica, para uma verificação do potencial máximo existente nesta situação. Acredita-se que as agências tenham uma área disponível entre 100% e 50% da área da cobertura para instalação de painéis fotovoltaicos, portanto, os dois casos limítrofes apresentam um intervalo típico disponível para geração fotovoltaica como um indicador referencial que pode ser explorado pelas agências bancárias conforme seus condicionantes próprios. O segundo ponto é em relação ao Quadro 22 onde o Banco 2 teve uma redução de 56,01kWh/m² em relação ao consumo total anual do Banco 1. A alteração das quatro variáveis que se apresentaram relevantes na frequência de ocorrência para criação de um

segundo protótipo, o Banco 2, impactou o consumo da edificação com 31% de economia. Das quatro medidas, três são conhecidas por reduzir as cargas térmicas internas: redução da área envidraçada, existência de proteção solar e cores mais claras. Deve-se destacar a relevância de tais características construtivas no consumo e, portanto, nos custos operacionais durante a vida útil do edifício. É interessante observar também que o modelo construtivo de agência que pode proporcionar menor consumo de energia não foi o mais comum na paisagem urbana das cidades de Vitória e Vila Velha, ES.

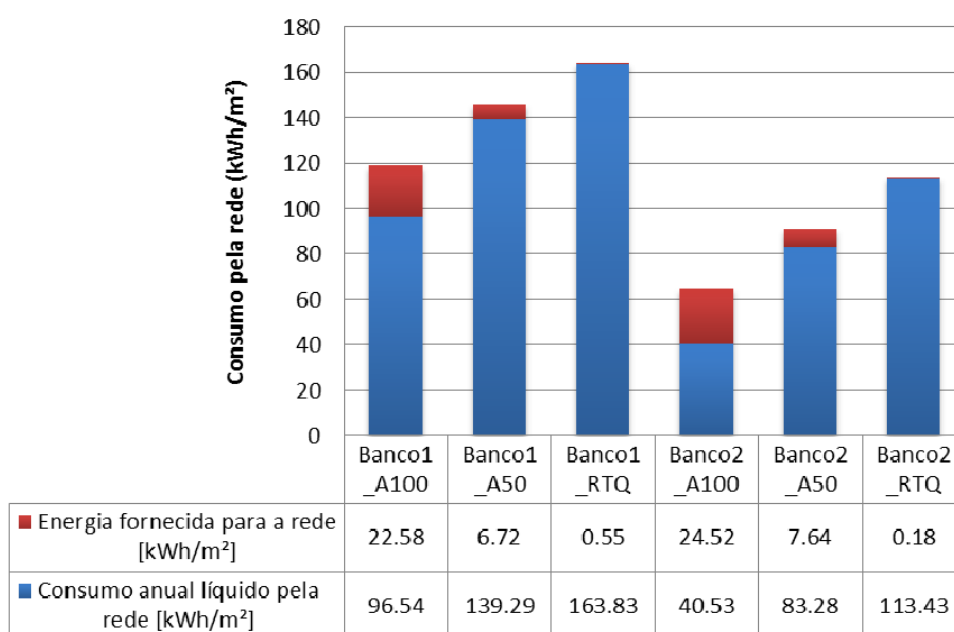


Figura 15 – Consumo pela rede e energia fornecida para a rede, em kWh/m².

A quantidade de energia que a rede forneceu (consumo líquido) e a quantidade de energia que a rede recebeu da edificação (energia fornecida) está apresentada na Quadro 22 e na Figura 16. A energia fornecida para a rede representa o excedente da produção que a edificação tem potencial para gerar, pode suprir seu consumo e posteriormente injetar esta energia na rede pública. No caso do protótipo que apenas atende aos requisitos do RTQ-C, estes valores foram bem baixos, porém, à medida que mais painéis foram sendo aplicados, pôde-se perceber o aumento desta demanda e deste benefício.

Para melhor exemplificar, no caso do Banco 1-A50, os resultados da quantidade anual de energia fornecida para a rede (6,72kWh/m²) somada ao consumo anual líquido pela rede (139,29kWh/m²) representa o consumo anual bruto pela rede (146,01kWh/m²). Isto significa toda a energia obtida pela rede, seja o que o edifício forneceu, seja o que recuperou em outro momento. A partir da resolução

normativa nº 482 da ANEEL (2012), a negociação deste excedente gerado pela edificação começou a poder ser viabilizada pelo sistema de compensação de energia elétrica, definido como o sistema no qual a energia ativa gerada pela unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída compense o consumo de energia elétrica.

Analisando os protótipos A50 em relação à energia fotovoltaica, ainda vale ressaltar que a energia consumida diretamente da geração local foi maior que 80%, sendo o restante fornecido para a rede.

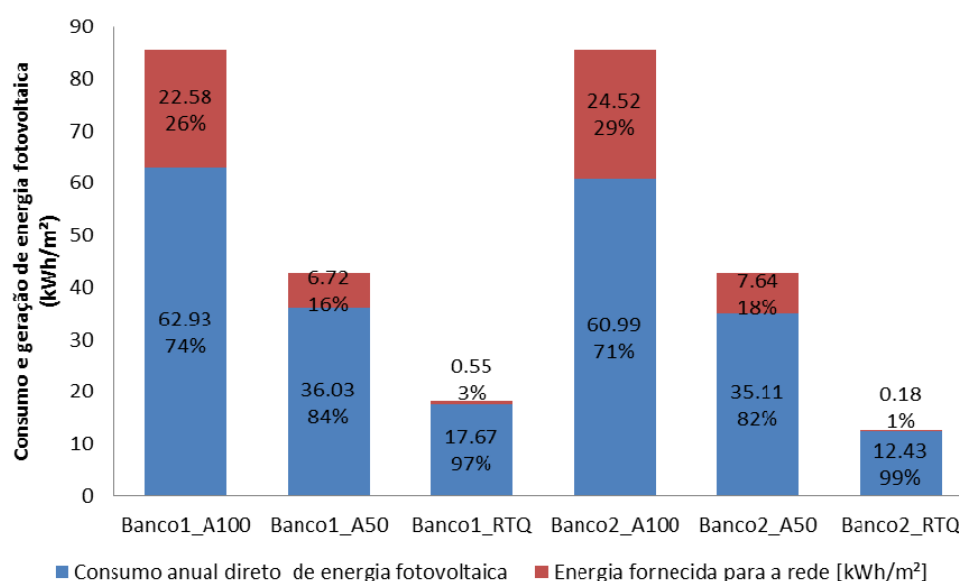


Figura 16 – Consumo direto e energia fornecida para a rede, em kWh/m².

Há, portanto, um potencial bastante relevante de energia que pode ser fornecido à rede e recuperado em um prazo de um ano, conforme já apresentado na resolução da ANEEL. Portanto, embora não tenha sido realizada nesse trabalho uma análise de custos, há indícios de benefícios para as agências que adotarem a geração local de eletricidade.

5. CONCLUSÕES

Neste capítulo são expostas as principais conclusões referentes às análises dos resultados obtidos, bem como as limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

O principal objetivo deste trabalho foi investigar a aplicação do critério de bonificação definido nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C – em agências bancárias com a geração local de energia fotovoltaica.

A simulação termoenergética do modelo representativo das agências bancárias estudadas apresentou um elevado potencial de produção fotovoltaica. A área de 100% da cobertura ocupada com painéis fotovoltaicos representou um referencial teórico e acredita-se que uma área viável de ser utilizada nas agências bancárias do país esteja entre 50 e 100% de utilização da área da cobertura. Verifica-se, portanto, como é tecnicamente simples atingir 1 ponto de bonificação pelo RTQ-C para etiquetagem ao atender a 10% do consumo anual de energia elétrica, pois a área de cobertura necessária é pequena.

A caracterização da tipologia das agências bancárias de Vitória e Vila Velha (ES) foi realizada por meio da frequência de ocorrência das variáveis analisadas e apresentou dois valores relevantes em quatro destas variáveis. Isto ocorreu devido à proximidade com a maior frequência encontrada e originou dois protótipos representativos. Das quatro variáveis, três são conhecidas por reduzir as cargas térmicas internas: redução da área envidraçada, existência de proteção solar e utilização de cores mais claras. Estas modificações impactaram o consumo de energia com uma economia de 31%.

O protótipo representativo possui 2 pavimentos (térreo e primeiro pavimento), altura da fachada com 7m, sendo 1m de platibanda. A fachada principal tem 15m de largura e 10m de profundidade. As aberturas envidraçadas foram modeladas como porta na fachada principal, como janela alta na fachada secundária e com vidros transparentes, conforme os padrões desta tipologia. A porcentagem de área envidraçada na fachada principal foi de 20% e 32% da sua área total, sendo que 40% destas aberturas estão localizadas no 1º pavimento. O revestimento desta fachada foi de 38% com granito e 29% com cerâmica, sendo que a cor cinza apareceu em 45% e a cor branca em 25% das edificações. No primeiro

pavimento da fachada secundária não existem aberturas e foi adotada a porcentagem de 10 % de abertura no térreo em relação a área total desta fachada. Para o revestimento foi adotada a pintura na cor branca. Em relação à cobertura foi modelada laje de concreto com telhado em fibrocimento oculto pela platibanda nas agências de uso exclusivo e apenas laje de concreto nos de uso híbrido. Uma marquise foi modelada no térreo que é responsável pelo sombreamento da fachada principal e aberturas; na fachada secundária não existe dispositivo de sombreamento. Embora tenha sido identificado o percentual de 26% de sombreamento no entorno das agências, este dado não foi analisado na simulação.

Os painéis fotovoltaicos foram instalados sobre o telhado plano, que não é o melhor modo de instalação, mas não impacta a volumetria original. O potencial de geração de energia pode ser aumentado com a inclinação e orientação solar correta. As vantagens para instalação de painéis fotovoltaicos em agências bancárias, que são grandes consumidoras de energia no país, vão além do objetivo desta pesquisa e podem ser enumeradas: (i) melhorar a classificação na etiquetagem segundo o RTQ-C, (ii) aumentar o potencial de economia com diminuição dos gastos com energia elétrica adquirida pelas concessionárias, (iii) possibilidade de compensação de energia elétrica na agência bancária e também em outra unidade consumidora, (iv) aumentar a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica para a agência reduzindo os possíveis prejuízos com o kWh não fornecido, (v) aumentar a independência e diversificação energética no país, e (vi) difundir conceitos de sustentabilidade.

Dentre os usos finais, já é conhecido o grande consumo de energia devido ao resfriamento do sistema de condicionamento de ar e verificou-se que existe a possibilidade de economia da energia adquirida pela concessionária, pois a produção local poderia suprir grande parte da demanda existente. A análise da situação em cada agência especificamente poderá dimensionar o sistema fotovoltaico necessário para auxiliar na bonificação para etiquetagem, na economia de energia, melhoria da eficiência energética e redução dos gastos. Estas são algumas justificativas para que seja modificado o cenário nacional apresentado pelo relatório sobre a pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, que verificou a inexistência de geração local ou cogeração nas agências. No caso dos protótipos analisados, as menores cargas do Banco 2, aliada à sua

geração local, permite que seus custos com a concessionária sejam mais favoráveis.

Vale ressaltar ainda o grande investimento que bancos fazem com a aquisição de “*no breaks*” de grande porte para garantir o fornecimento de energia, pois seus sistemas de dados precisam de confiabilidade neste fornecimento.

Os resultados obtidos com as simulações mostram coerências com a realidade apresentada no relatório sobre a pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso em bancos, porém o modelo construtivo de agência que pode proporcionar menor consumo de energia não foi o mais comum na paisagem urbana das cidades de Vitória e Vila Velha (ES) e nem na realidade brasileira.

5.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O sombreamento do entorno é um fator que influencia na eficiência dos painéis e constituiu uma limitação para a pesquisa, devido às complexidades para o levantamento da real situação em cada agência, foi apenas verificado a sua existência e não a sua incidência. Assim como, ter desconsiderado o sombreamento da caixa d'água sobre os painéis e ter adotado a inclinação plana eles.

Também a redução do número de amostras do levantamento interno, principalmente em relação às cargas internas. Ter considerado apenas uma orientação solar, que pode ser típica ou predominante de Vitória e Vila Velha, mas não abrange todo o país.

5.2. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer deste trabalho surgiram algumas indagações que podem ser contempladas em futuros trabalhos sobre o assunto:

- Realizar uma análise econômica com a aplicação de painéis fotovoltaicos e de critérios de eficiência energética;
- Analisar a influência do sombreamento do entorno na eficiência de painéis localizados na área de cobertura;
- Analisar o desempenho térmico dos modelos com diferentes orientações;
- Analisar a geração local para suprir o consumo de energia do sistema de condicionamento de ar.
- Analisar economicamente o investimento com “*no breaks*” ou a geração local com painéis fotovoltaicos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. ASHRAE Standard 90.1 – 2007**. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2007.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. ANEEL – 2012.

BACCHI, Mirian Rumenos Piedade – Brasil - gerando energia de biomassa, limpa e renovável **CEPEA**, (Julho/2006). Disponível em: www.cepea.esalq.usp.br. Acesso em: 20 de fevereiro de 2011.

BRASIL. **Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf. Acesso em: 12/12/2010.

_____. **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html. Acesso em: 12/12/2010.

_____. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Portaria 163 de 08 de junho de 2009**. 2009a. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resultado_pesquisa.asp?seq_classe=1&ind_publico=&sel_tipo_ato_legal=&nom_orgao=&sel_tipo_instrumento_medida=&sel_orgao_regulamentador=&descr_marca=&descr_modelo=&sel_categoria=--&num_ato=53&anoassinatura=2009&palavra_chave=&btnPesquisar=Pesquisar Acesso em: 3 de dezembro de 2010.

_____. Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Portaria 185 de 22 de junho de 2009**. 2009b. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resultado_pesquisa.asp?seq_classe=1&ind_publico=&sel_tipo_ato_legal=&nom_orgao=&sel_tipo_instrumento_medida=&sel_orgao_regulamentador=&descr_marca=&descr_modelo=&sel_categoria=-num_ato=53&anoassinatura=2009&palavra_chave=&btnPesquisar=Pesquisar Acesso em: 3 de dezembro de 2010.

_____. **Portaria 449 de 25 de novembro de 2010**. 2010a – Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001627.pdf> Acesso em: 5 de janeiro de 2011.

_____. **Portaria 372 de 17 de setembro de 2010**. 2010b – Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf> Acesso em: 5 de janeiro de 2011.

CABRAL, Cláudia Valéria Távora – Análise de dimensionamento estocástico e determinístico de sistemas fotovoltaicos isolados. 2006. 198pgs. **Tese** (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

CABRAL, Cláudia Valéria Távora; OLIVEIRA FILHO, Delly; DINIZ, Antônia Sônia Alves C.; MARTINS, José Helvécio; TOLEDO, Olga Moraes; NETO, Lauro de Vilhena B. Machado – A stochastic method for stand-alone photovoltaic system sizing. In: **Solar Energy**. Elsevier, 2010. v 84, pp 1628–1636.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto – Elaboração de protótipos para simulação do desempenho termo energético de edificações. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006 _ Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: ENTAC 2006. PP 152-161.

CARLO, Joyce Correna – Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não residenciais. 2008. 196pgs. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico – UFSC, 2008a.

CARLO, Joyce Correna – Relação entre a eficiência estabelecida pela Regulamentação para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais e os benefícios econômicos provenientes de investimentos no envoltório. In: **Eco_lógicas: renovar é pensar diferente**. 1 ed. Florianópolis: Insular, 2008, v. 1, p. 77-90. 2008b.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto – Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído** (Online), v. 10, p. 27-40, 2010.

CARTANA, Rafael Prado – Limitações e oportunidades para bioclimatologia aplicada aos projetos arquitetônicos desenvolvidos no mercado da construção civil. In: Encontro Nacional e latino americano de Conforto no Ambiente Construído, 2007 _Ouro Preto-MG. **Anais...** Ouro Preto: ENCAC 2007. PP 320-328.

CASALS, Xavier Garcias – Analysis of building energy regulations and certification in Europe: Their role, limitations and differences. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, 2006. v. 38, pp. 381-392.

DOURADO, Brenda Milhmem; AMORIM, Cláudia Naves David – O Ensino de Eficiência Energética em Escolas Públicas de Arquitetura no Brasil. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. **Anais...** Natal: ANTAC, 2009. PP 1094 – 1103.

DUARTE, Denise; MÜLFARTH, Roberta Konkra e GONÇALVES, Joana – Sustentabilidade ambiental urbana no ensino de graduação: Proposta do departamento de tecnologia da FAUUSP. In: Encontro Nacional e latino americano de Conforto no Ambiente Construído, 2007 _Ouro Preto-MG. **Anais...** Ouro Preto: ENCAC 2007. PP 610-619.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas S.A. Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil _ Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005 - **Relatório setorial: Bancos**, Rio de Janeiro, 2006.

_____ Apresenta textos sobre a conservação de energia elétrica. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/elb/procel.2010>. Acesso em: 25 de janeiro de 2011.

EnergyPlus Manual Documentation, October 2010, Version 6. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>> Acesso em: 02 de abril de 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Projeções da demanda de energia elétrica para os próximos dez anos. **Nota técnica** DEA 15/09 (dezembro 2009). Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20110222_1.pdf

_____ Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. **Nota técnica** (maio 2012). Disponível em: http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf

GELLER, Howard – **O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. INEE, ACEEE, Rio de Janeiro, RJ, 1994.

GELLER, Howard, SCH – Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. **Energy Policy** Volume 32, Issue 12, August 2004, Pages 1437-1450.

KRÜGER, Eduardo Leite e MORI, Fabiano – Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 89-106, jul./set. 2012.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano e PEREIRA, Fernando Oscar Ruhkay. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo/SP: ProLivros, 2 ed.1997.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA_MME. **Plano Nacional de Energia _ PNE2030**, 2006a. Disponível em: http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_11.pdf. Acesso em: 25 de janeiro de 2011.

_____. **Plano Decenal de expansão de energia _ PDE 2019**, 2006b. Disponível em: http://www.epe.gov.br/PDEE/20101129_1.pdf. Acesso em 25 de janeiro de 2011.

_____. Etiqueta de eficiência energética em edifícios comerciais: um diferencial de competitividade, 2009. Apresenta textos sobre a eficiência energética. Disponível em: <http://www.elektrobras.com/pci/data/Pages/LUMIS8D1AC2E8ITEMID6E3BE55F032F4AA7B521EA5332968BB7LUMISADMIN1PTBRIE.htm>. Acesso em: 27 de março de 2011.

_____. **Plano Nacional de Eficiência Energética** - Versão final para consulta pública, Outubro 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>. _ Acesso em: 27 de março de 2011.

MIZGIER, Martin O.; MARINOSKI, Deivis L.; BRAUN, Priscila e RUTHER, Ricardo. Potencial da geração fotovoltaica frente ao consumo de energia elétrica em edificações residenciais brasileiras. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006 _ Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: ENTAC 2006. PP 709-718

MORISHITA, Claudia – Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro. 2011. 204 pgs. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

MUNIZ FILHO, Martiniano Ribeiro - Sustentabilidade na Construção de Agências CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Relatório da GEINF** – Gerência Nacional de Infraestrutura, 2011.

ORDENES, Martín. PEDRINI, Aldomar. GHISI, Enedir. LAMBERTS, Roberto. Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1. Florianópolis, 2003. **Relatório técnico**. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Biblioteca_Materiais_VisualDOE.pdf. Acesso em: 27 abril de 2011.

PEDREIRA, João Carlos Simão; AMORIM, Cláudia Naves David. Eficiência energética nas agências do Banco do Brasil no Distrito Federal. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010 _ Canelas, 2010. **Anais...** Canelas: ENTAC 2010.

REIS, Lineu Belico dos e SILVEIRA, Semida (orgs). **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. 2 ed., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

RÜTHER, Ricardo; SALAMONI, Isabel; MONTENEGRO, Alexandre; BRAUM, Priscila; DEVIENNE F, Roberto. Programa de telhados solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008 _ Fortaleza, 2008. **Anais...** Fortaleza: ENTAC 2008.

SANTANA, Marina Vasconcelos – Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-sc. 2006. 182 pgs. **Dissertação** (mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, Francisco Daniel Lima. Análise de uma simulação computacional de um ambiente climatizado alimentado pela rede elétrica convencional e por painéis solares fotovoltaicos. 2008. 71pgs. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2008.

SORGATO, Márcio José. Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente. 2009. 216 pgs. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

United Nations Environment Programme – UNEP. Keeping Track of Our Changing Environment: From Rio to Rio+20 (1992-2012), 2011. Disponível em: http://www.unep.org/geo/pdfs/keeping_track.pdf
Acesso em: 25 de novembro de 2012.

VILHENA, Juliana M. Diretrizes para a sustentabilidade das edificações. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v.2, n. 2, p. 59-78, maio 2007.

6 APÊNDICE – Tabulação completa dos dados e identificação das edificações

AGÊNCIA	USO EXCLUSIVO (SIM OU NÃO)	SOMB. DO ENTORNO (SIM OU NÃO)	Nº DE PAVIMENTOS (ALEM DO TERREO)	ALTURA TOTAL DA FACHADA (METROS)	LARGURA (METROS)	PROFUNDIDADE (METROS)
AGÊNCIA	USO EXCLUSIVO	SOMB. DO ENTORNO	Nº DE PAVIMENTOS (ALEM DO TERREO)	ALTURA TOTAL DA FACHADA	LARGURA	PROFUNDIDADE
(A1)	sim	não	1	7	14	21
(A2)	não	sim	1	7	18	14
(A3)	não	não	1	7	7	14
(A4)	sim	não	0	7	18	14
(A5)	sim	não	1	7	7	14
(A6)	não	não	0	4	7	14
(B1)	sim	não	1	7	7	5
(B2)	sim	não	1	7	10	10
(B3)	sim	não	0	7	16	21
(B4)	sim	sim	1	7	12	14
(B5)	sim	não	1	7	10	7
(B6)	sim	não	1	8	20	20
(C1)	sim	sim	2	10	24	24
(C2)	não	não	1	14	14	24
(C3)	sim	não	1	10	14	21
(C4)	não	sim	1	7	10	7
(D1)	não	sim	1	7	12	7
(D2)	sim	não	1	8	32	24
(D3)	sim	não	0	5	10	30
(D4)	sim	sim	2	10	12	12
(D5)	sim	não	1	10	14	14
(D6)	sim	sim	1	10	20	15
(E1)	sim	não	1	8	10	15
(E2)	sim	não	0	5	20	15
(E3)	sim	não	1	7	10	15
(E4)	não	não	0	7	18	15
(E5)	não	não	1	7	18	15
(E6)	sim	não	2	10	20	15
(F1)	sim	não	0	5	15	15
(G1)	sim	não	1	8	7	15
(G2)	sim	não	1	8	24	15
(G3)	não	sim	2	10	20	15
(G4)	sim	não	1	10	20	15
(H1)	sim	sim	2	12	14	15

AGÊNCIA	FACHADA 1									
	ÁREA DA FACHADA (m²)	ABERTURAS (%)	PROP. DAS ABERTURAS NO 1º PAV (%)		REVEST. EXT. PAR.	COR	COR DE VIDRO	FACHADA (% SOMBREADA)		
			ABERTURAS	PROP. DAS ABERTURAS NO 1º PAV				T	1º	
AGÊNCIA	ÁREA DA FACHAD	ABERTURAS	ABERTURAS	ABERTURAS NO 1º PAV	REVEST. EXT. PAR.	COR	COR DE VIDRO	TERREO	1º PAV.	
(A1)					Pintura	Branca	Transparente			
(A2)	98	70	50		Cerâmica	Azul e Cinza	Transparente	100	100	
(A3)	126	50	60		Granito	Cinza	Transparente	100	100	
(A4)	49	20			Cerâmica	Branca e Preta	Transparente	0		
(A5)	126	20	0		Cerâmica	Branca e Preta	Transparente	75	0	
(A6)	28	100	0		Vidro		Preto	100		
(B1)	49	45	70		Cerâmica	Cinza	Transparente	100	0	
(B2)	70	70	50		Cerâmica	Branca e Vinho	Transparente	100	100	
(B3)	112	20	0		Cerâmica	Branca	Transparente	0	0	
(B4)	84	20	0		Cerâmica e Granito	Branco e Cinza	Transparente	0	0	
(B5)	70	35	40		Granito	Cinza	Transparente	100	0	
(B6)	160	80	60		Cerâmica	Branca	Transparente	40	100	
(C1)	240	70	20		Granito	Cinza	Transparente	0	0	
(C2)	196	70	50		Granito	Cinza	Transparente	100	100	
(C3)	140	30	40		Cerâmica	Branca	Transparente	100	0	
(C4)	70	90	45		Granito	Cinza	Transparente	0	100	
(D1)	84	75	35		Granito	Cinza	Transparente	0	100	
(D2)	256				Granito	Cinza	Transparente	100	100	
(D3)	50	60			Pintura	Branca	Transparente	0		
(D4)	120	35	30		Pintura	Branca	Transparente	100	50	
(D5)	140	60	50		Pintura	Branca	Transparente	100	0	
(D6)	200				Pintura	Branca	Transparente	100	100	
(E1)	80	20	0		Granito	Cinza	Transparente	0	0	
(E2)	100	35	0		Granito e Pintura	Branca e Preta	Transparente	50	0	
(E3)	70	90	60		Granito	Preto	Azul	100	0	
(E4)					Cerâmica	Cinza	Transparente			
(E5)	126	80	45		Pintura	Cinza	Transparente	0	0	
(E6)	200	65	40		Granito	Cinza	Transparente	100	100	
(F1)	75	20			Pintura	Branco e Laranja	Transparente			
(G1)	56	20	15		Pintura	Cinza	Transparente	35	35	
(G2)	192		70		Granito	Cinza	Transparente	0	90	
(G3)					Granito	Bege	Preto			
(G4)	200	65	55		Cerâmica	Branca	Transparente	15	20	
(H1)	168	60	25		Granito	Cinza	Preto	0	0	

FACHADA 2										
AGÊNCIA	ÁREA DA FACHADA (m²)	ABERTURAS (%)	ABERTURAS NO 1º PAV (%)	REVEST. EXT. PAR.	COR	COR DE VIDRO	SOMBREAMENTO DA FACHADA (% SOMBREADA)			
							T		1º	
AGÊNCIA	ÁREA DA FACHADA	ABERTURAS	PROP. DA ABERT. NO 1º PAV	REVEST. EXT. PAR.	COR	COR DE VIDRO		TERREO	1º PAV.	
(A1)				Pintura	Branca					
(A2)	147	10	0	Ceramica	Cinza	Transparente		100	100	
(A3)				Granito	Cinza					
(A4)	98	20	0	Ceramica	Azul e Cinza	Transparente		0		
(A5)				Pintura	Branca					
(A6)				Vidro						
(B1)	35	50	70	Ceramica	Cinza	Transparente		100	0	
(B2)	70	0	0	Ceramica	Branca			0	0	
(B3)	147	15	0	Ceramica	Branca	Transparente		0	0	
(B4)	98	5	100	Pintura	Branca			0	0	
(B5)	49	25	40	Granito	Cinza	Transparente		100	0	
(B6)	160	80	40	Ceramica	Branca	Preto		50	100	
(C1)				Pintura	Branca					
(C2)				Pintura	Branca					
(C3)	210	0	0	Pintura	Branca			0	0	
(C4)				Granito	Cinza					
(D1)	49	75	35	Granito	Cinza	Transparente		0	100	
(D2)	192			Granito	Cinza			100	100	
(D3)	150	25	0	Pintura	Branca			25		
(D4)				Pintura	Branca					
(D5)				Pintura	Branca					
(D6)				Pintura	Branca					
(E1)	120	20	0	Granito	Cinza	Transparente		0	0	
(E2)				Pintura	Branca					
(E3)				Pintura	Branca					
(E4)	0			Pintura	Branca					
(E5)				Pintura	Branca					
(E6)	70	0	0	Pintura	Branca			0	0	
(F1)	75	0	0	Pintura	Branco e Laranja	Transparente		0		
(G1)				Pintura	Branca					
(G2)				Pintura	Branca					
(G3)	0			Pintura	Branca					
(G4)				Pintura	Branca					
(H1)				Granito	Cinza					

AGÊNCIA	COBERTURA			PROTEÇÃO SOLAR TERREO			
	APARENTE EM FOTO	ÁREA	MATERIAL	TIPO (HOR - VERT - BRISE HOR - BRISE VERT)	ABRAGENCIA (FACHADA OU SÓ ABERTURA)	FATOR DE PROJEÇÃO (ABERTURA)	% ABERTURAS SOMBREADA (%)
	(SIM OU NÃO) APARENTE EM FOTO	(m²) ÁREA	MATERIAL				
AGÊNCIA	EM FOTO	ÁREA	MATERIAL	TIPO	ABRAGENCIA	FATOR DE PROJEÇÃO	% ABERTURAS SOMBREADA
(A1)	não		Fibrocimento	Horizontal	Fachada	1,4	100
(A2)	não	294	Laje	Horizontal	Fachada	0,5	100
(A3)	não		Laje	Horizontal	Fachada	0,5	100
(A4)	não		Fibrocimento	não tem	não tem	0	0
(A5)	não		Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0,5	90
(A6)	não		Laje	não tem	não tem	0	0
(B1)	não	35	Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0,167	35
(B2)	não	100	Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0,5	100
(B3)	não	336	Fibrocimento	não tem	não tem	0	0
(B4)	não	168	Fibrocimento	Brise Horizontal	Abertura	0,167	100
(B5)	não	70	Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0,5	100
(B6)	não	400	Fibrocimento	não tem		0,125	
(C1)	não		Fibrocimento			0	
(C2)	não		Laje	Horizontal	Fachada	1	100
(C3)	não	294	Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0,5	100
(C4)	não		Fibrocimento			0,167	
(D1)	não	84	Laje			0,167	
(D2)	não	768	Fibrocimento	Brises Horiz. e Verticais	Fachada	1	100
(D3)	não	300	Fibrocimento	Brises Verticais	Abertura	0,75	100
(D4)	não		Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0,5	100
(D5)	não		Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0,5	100
(D6)	não		Fibrocimento	Frontal	Fachada	1,4	80
(E1)	não	150	Fibrocimento			0,125	
(E2)	não		Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0	50
(E3)	não		Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0,5	100
(E4)	não		Laje			1,33	
(E5)	não		Laje			0	
(E6)	não	140	Fibrocimento	Horizontal	Fachada	0,5	100
(F1)	não	225	Fibrocimento	Brises Verticais	Fachada	0	
(G1)	não		Fibrocimento	Horizontal	Abertura	0,75	100
(G2)	não		Fibrocimento			0	
(G3)	não		Laje			1	
(G4)	não		Fibrocimento	Brise Horizontal	Abertura	0,125	5
(H1)	não		Fibrocimento			0	

AGÊNCIA	PROTEÇÃO SOLAR 1º PAVIMENTO				
	TIPO	ABRAGENCIA	FATOR DE PROJEÇÃO	% ABERTURAS SOMBREADA	
	(HOR - VERT - BRISE HOR - BRISE VERT)	(FACHADA OU SÓ ABERTURA)	(ABERTURA)	%	
AGÊNCIA	TIPO	ABRAGENCIA	FATOR DE PROJEÇÃO	% ABERTURAS SOMBREADA	
(A1)	não tem	não tem	0	0	
(A2)	Horizontal	Fachada	0,33	100	
(A3)	Horizontal	Fachada	1,5	100	
(A4)	não tem	não tem	não tem	não tem	
(A5)	não tem	não tem	0	0	
(A6)	não tem	não tem	não tem	não tem	
(B1)	não tem	não tem	0	0	
(B2)	Brises Horizontais e Verticais	Abertura	1	100	
(B3)	não tem	não tem	não tem	não tem	
(B4)	não tem	não tem	não tem	não tem	
(B5)	não tem	não tem	0	0	
(B6)	Brises Horizontais e Verticais	Fachada	0	100	
(C1)			0		
(C2)	Brises Verticais	Abertura	0	100	
(C3)			0		
(C4)	Horizontal	Fachada	2	100	
(D1)	Horizontal	Fachada	0,67	100	
(D2)	Brises Horizontais e Verticais	Fachada	0	100	
(D3)			0		
(D4)	Brises Verticais	Fachada	0	50	
(D5)			0		
(D6)	Frontal	Fachada		80	
(E1)					
(E2)					
(E3)			0		
(E4)					
(E5)			0		
(E6)	Brises Horizontais	Abertura	0	100	
(F1)					
(G1)	Horizontal	Abertura	0,5	100	
(G2)	Brise Horizontal	Abertura	0	95	
(G3)					
(G4)	Brise Horizontal	Abertura	0	35	
(H1)			0,5		

APÊNDICE 2 – Exemplos de dados do relatório de saída o programa *EnergyPlus*

BANCO 1-A100		BANCO 1-A50		BANCO 1-RTQ-C	
Site and Source Energy		Site and Source Energy		Site and Source Energy	
Total Site Energy	Total Energy [kWh]	Total Site Energy	Total Energy [kWh]	Total Site Energy	Total Energy [kWh]
Net Site Energy	24787.75	Net Site Energy	40066.26	Net Site Energy	48836.13
End Uses		End Uses		End Uses	
Cooling	28826.11	Cooling	28826.11	Cooling	28826.11
Interior Lighting	8561.7	Interior Lighting	8561.7	Interior Lighting	8561.7
Interior Equipment	9896.9	Interior Equipment	9896.9	Interior Equipment	9896.9
Fans	5794.35	Fans	5794.35	Fans	5794.35
Pumps	2265.72	Pumps	2265.72	Pumps	2265.72
Electric Loads Satisfied		Electric Loads Satisfied		Electric Loads Satisfied	
Photovoltaic Power	Electricity [kWh]	Photovoltaic Power	Electricity [kWh]	Photovoltaic Power	Electricity [kWh]
Total On-Site Electric Sources	30557.02	Total On-Site Electric Source	15278.51	Total On-Site Electric Sources	6508.65
Electricity Coming From Utility	33359.09	Electricity Coming From Utilit	42897.97	Electricity Coming From Utilit	49158.11
Surplus Electricity Going To Utility	8571.34	Surplus Electricity Going To U	2831.7	Surplus Electricity Going To U	321.99
Net Electricity From Utility	24787.75	Net Electricity From Utility	40066.26	Net Electricity From Utility	48836.13
Total On-Site and Utility Electric So	55344.77	Total On-Site and Utility Elec	55344.77	Total On-Site and Utility Elect	55344.77
Total Electricity End Uses	55344.77	Total Electricity End Uses	55344.77	Total Electricity End Uses	55344.77
REPORT: RELATORIO DE CONSUMO MENSAL		REPORT: RELATORIO DE CONSUMO MENSAL		REPORT: RELATORIO DE CONSUMO MENSAL	
	ELECTRICITY: FACILITY [kWh]		ELECTRICITY: FACILITY [kWh]		ELECTRICITY: FACILITY [kWh]
January	5487	January	5487	January	5487
February	4888	February	4888	February	4888
March	5533	March	5533	March	5533
April	4347	April	4347	April	4347
May	4502	May	4502	May	4502
June	4013	June	4013	June	4013
July	4103	July	4103	July	4103
August	4659	August	4659	August	4659
September	4196	September	4196	September	4196
October	4485	October	4485	October	4485
November	4465	November	4465	November	4465
December	4666	December	4666	December	4666
Annual Sum or Average	55345	Annual Sum or Average	55345	Annual Sum or Average	55345
PHOTOVOLTAIC: ELECTRICITY PRODUCED [kWh]		PHOTOVOLTAIC: ELECTRICITY PRODUCED [kWh]		PHOTOVOLTAIC: ELECTRICITY PRODUCED [kWh]	
January	3621	January	1810	January	771
February	3005	February	1503	February	640
March	2990	March	1495	March	637
April	2296	April	1148	April	489
May	1783	May	891	May	380
June	1602	June	801	June	341
July	1685	July	842	July	359
August	2257	August	1128	August	481
September	2172	September	1086	September	463
October	2771	October	1386	October	590
November	3031	November	1516	November	646
December	3344	December	1672	December	712
Annual Sum or Average	30557	Annual Sum or Average	15279	Annual Sum or Average	6509

BANCO 2 -A100		BANCO 2 -A50		BANCO 2 -RTQ-C	
Site and Source Energy		Site and Source Energy		Site and Source Energy	
Total Site Energy	Total Energy [kWh] 37982.17	Total Site Energy	Total Energy [kWh] 37982.17	Total Site Energy	Total Energy [kWh] 37982.17
End Uses		End Uses		End Uses	
Cooling	Electricity [kWh] 15946.43	Cooling	Electricity [kWh] 15946.43	Cooling	Electricity [kWh] 15946.43
Interior Lighting	8561.7	Interior Lighting	8561.7	Interior Lighting	8561.7
Interior Equipment	9896.9	Interior Equipment	9896.9	Interior Equipment	9896.9
Fans	2538.24	Fans	2538.24	Fans	2538.24
Pumps	1038.89	Pumps	1038.89	Pumps	1038.89
Electric Loads Satisfied		Electric Loads Satisfied		Electric Loads Satisfied	
Photovoltaic Power	Electricity [kWh] 30557.02	Photovoltaic Power	Electricity [kWh] 15278.51	Photovoltaic Power	Electricity [kWh] 4504.1
Total On-Site Electric Sources	30557.02	Total On-Site Electric Sources	15278.51	Total On-Site Electric Sources	4504.1
Electricity Coming From Utility	16701.55	Electricity Coming From Utility	25871.31	Electricity Coming From Utility	33619.01
Surplus Electricity Going To Utility	9276.4	Surplus Electricity Going To Utility	3167.66	Surplus Electricity Going To Utility	140.95
Total On-Site and Utility Electric Sources	37982.17	Total On-Site and Utility Electric Sources	37982.17	Total On-Site and Utility Electric Sources	37982.17
Total Electricity End Uses	37982.17	Total Electricity End Uses	37982.17	Total Electricity End Uses	37982.17

REPORT:	RELATORIO DE CONSUMO MENSAL	REPORT:	RELATORIO DE CONSUMO MENSAL	REPORT:	RELATORIO DE CONSUMO MENSAL
	PHOTOVOLTAIC: ELECTRICITY PRODUCED [kWh]		PHOTOVOLTAIC: ELECTRICITY PRODUCED [kWh]		PHOTOVOLTAIC: ELECTRICITY PRODUCED [kWh]
January	3621	January	1810	January	534
February	3005	February	1503	February	443
March	2990	March	1495	March	441
April	2296	April	1148	April	338
May	1783	May	891	May	263
June	1602	June	801	June	236
July	1685	July	842	July	248
August	2257	August	1128	August	333
September	2172	September	1086	September	320
October	2771	October	1386	October	408
November	3031	November	1516	November	447
December	3344	December	1672	December	493
Annual Sum or Average	30557	Annual Sum or Average	15279	Annual Sum or Average	4504