

ALEXANDRE OTTO SCHWIEDER

ANÁLISE TERMO ENERGÉTICA DA UTILIZAÇÃO DE PELÍCULA NOS
VIDROS DA FACHADA DE UM PRÉDIO COMERCIAL CLIMATIZADO E
SUA VIABILIDADE ECONÔMICA

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia Mecânica
da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Engenheiro
Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Porto Alegre
2004



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

**ANÁLISE TERMO ENERGÉTICA DA UTILIZAÇÃO DE PELÍCULA NOS VIDROS DA
FACHADA DE UM PRÉDIO COMERCIAL CLIMATIZADO E SUA VIABILIDADE
ECONÔMICA.**

ALEXANDRE OTTO SCHWIEDER

**ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Prof. Dr. Flávio José Lorini
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Adriane Prisco Petry
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Francis Henrique Ramos França
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Paulo Smith Schneider
UFRGS / DEMEC

Porto Alegre 2004

AGRADECIMENTOS

Agradeço

ao meu pai Thcerbel Schwieder e aos meus irmãos e familiares, que sempre me apoiaram e incentivaram.

ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Otto Beyer.

aos colegas e amigos do LAFRIG.

ao NUCEN, Núcleo de Engenharia e Arquitetura do Banco do Brasil, local onde tive a oportunidade realizar o meu estágio de fim de curso e praticar os conhecimentos adquiridos na vida acadêmica.

Este trabalho contou com apoio das seguintes entidades:

CNPq – através do processo nº 181523/02-7

O desejo de conquista é coisa realmente muito natural e comum; e, sempre que os homens conseguem satisfazê-lo, são louvados, nunca recriminados; mas, quando não conseguem e querem satisfazê-lo de qualquer modo, aí estão o erro e a recriminação.

Niccolo Maquiavel , "O Príncipe"

ANÁLISE TERMO ENERGÉTICA DA UTILIZAÇÃO DE PELÍCULA NOS VIDROS DA FACHADA DE UM PRÉDIO COMERCIAL CLIMATIZADO E SUA VIABILIDADE ECONÔMICA.

SCHWIEDER, A. O. **Análise termo energética da utilização de película nos vidros da fachada de um prédio comercial climatizado e sua viabilidade econômica.** 2004. 22 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RESUMO

A fim de atender as expectativas de crescimento, a geração de riquezas e com a crescente demanda por energia no nosso país, é necessário que se busque alternativas para o uso racional dos recursos energéticos e com isso almejar um crescimento sustentado. Assim o presente trabalho se propõe mostrar através de simulações a resposta termo energética de uma edificação comercial climatizada, localizada em Porto Alegre, na qual se fez a aplicação de películas nos vidros da fachada como alternativa para redução da potência de refrigeração instalada e consumo energético. A simulação foi realizada com o auxílio do simulador *Energyplus* onde o modelo foi avaliado para dias de projeto ASHRAE e com o uso de arquivo climático no período de um ano. Através da comparação dos resultados térmicos e energéticos da edificação simulada para os dois casos, caso “A” vidro simples e caso “B” com película nos vidros, pode-se constatar que a utilização de película traz efetivamente uma redução significativa na potência instalada bem como uma redução no consumo energético. A análise econômica demonstrou que apenas analisando os investimentos iniciais e comparando com a economia gerada pelo uso de película em termos de potência de refrigeração, mostra que essa opção é a mais vantajosa economicamente. Também com a aplicação do método do VPL, para avaliação da viabilidade econômica, o caso “B” demonstrou que o retorno do investimento se dá a partir do oitavo ano.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação Termo Energética, EnergyPlus, Análise Econômica, Películas de Vidro, Eficiência Energética.

SCHWIEDER, A. O. Energy analysis term of the use of film in glasses of the façade of a commercial building climatized and its economic viability. 2004. 22 f. **Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.**

ABSTRACT

In order to take care of to the growth expectations, the generation of wealth and with the increasing demand for energy in our country, it is necessary that it searches alternatives for the rational use of the energy resources and with this to long for a supported growth. Thus the present work if considers to show through simulation the energy reply term of a conditioned commercial construction, located in Porto Alegre, in which it made the application of films in glasses of the façade as alternative for reduction the power of installed refrigeration and energy consumption. The simulation was carried through with the aid of the Energyplus simulator where the model was evaluated for ASHRAE design days and with the use of climatic archive in the period of one year. Through the comparison of the thermal and energy results of the construction simulated for the two cases, in case "A" with simple glass and in case "B" with film in glasses, can be evidenced that the a film use effectively brings a significant reduction in the power installed as well as a reduction in the energy consumption. The economic analysis only demonstrated that analyzing the initial investments and comparing with the economy generated for the use of film in terms of refrigeration power, sample that this option is most advantageous economically. Also with the application of the method of the VPL, for evaluation of the economic viability, case "B" demonstrated that the return of the investment occurs in eighth year.

KEYWORDS: Energy Simulation Term, EnergyPlus, Economic Analysis, Glass Films, Energy Efficiency.

SUMÁRIO

ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
3. METODOLOGIA	9
4. MODELAMENTO DO PROBLEMA.....	10
4.1. Localização geográfica	10
4.2. Dias de projeto	10
4.3. Orientação do norte da edificação em relação ao norte verdadeiro	10
4.4. Edificação	10
4.5. Vidros e películas.....	11
5. RESULTADOS E ANÁLISES.....	13
6. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	14
7. CONCLUSÕES	18
8. REFERÊNCIAS.....	19
9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	20
ANEXOS	21

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por energia no nosso país, é necessário que se busque alternativas para o uso racional dos recursos energéticos e com isso almejar um crescimento sustentado. Nesse sentido, o uso de artifícios construtivos para a redução do consumo energético tem sido uma solução tanto para casos de orientação à projetista de edificações como auxílio da escolha da melhor alternativa, ou ainda em casos onde já se tenha uma edificação construída e se busque uma redução do consumo energético. Essa busca tem sido objeto de estudos nos diversas Universidades e centros de pesquisas tanto no Brasil como fora dele.

O presente trabalho nasceu como fruto de um projeto de pesquisa conjunto entre o Instituto de Física e o Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS através do Laboratório de Energia Solar e do Laboratório de Vapor e Refrigeração, LAFRIG, e que foi financiado pelo CNPq. O financiamento de projetos na área de eficiência energética se deu em virtude do caso do Apagão do ano de 2001, onde ficou evidente que é preciso que sejam tomadas medidas urgentes, tanto na busca por novas fontes de energia como no melhor gerenciamento e utilização dos recursos energéticos do país. Nesse projeto, o autor trabalhou desde o seu início como bolsista de iniciação científica do LAFRIG, onde foi um dos responsáveis por avaliar a influência do uso de películas de controle solar em fachadas envidraçadas de edificações com o auxílio do simulador termo energético *EnergyPlus*.

Assim o trabalho se propõe mostrar através de simulações, a resposta termo energética de uma edificação modelo comercial climatizada localizada na cidade de Porto Alegre, onde se fez a aplicação de um tipo de película nos vidros da fachada como alternativa para redução do consumo energético e da potência de refrigeração instalada. Através da comparação dos resultados térmicos e energéticos da edificação, busca-se avaliar se a utilização de película trará efetivamente uma redução significativa na potência instalada bem como uma redução no consumo energético. Acoplado a essa avaliação foi feito um estudo de viabilidade econômica que tem por objetivo verificar se essa alternativa é ou não economicamente vantajosa e caso seja qual o tempo de retorno do investimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inúmeros trabalhos já foram realizados com o objetivo de se estimar o quanto as alterações nas características construtivas de uma edificação influenciam no seu desempenho térmico e energético. Para tanto, apresentam-se citações de alguns trabalhos que tratam do assunto e que utilizam o simulador *EnergyPlus* para obtenção dos resultados.

Cótica (2003), no seu trabalho, demonstra através de simulação termo energética que a alteração de parâmetros construtivos, substituição da proteção de concreto por brise metálica, da fachada do prédio da GEREL - Banco do Brasil iria acarretar um aumento da carga térmica e do consumo elétrico da edificação em virtude do ganho de calor pelas janelas da edificação.

Pereira (2002) demonstra, através de simulações de edificações, que a utilização de películas nas janelas da fachada de duas edificações modeladas pode representar uma redução de até 67% nos ganhos de calor pelas janelas e por consequência disso chegar a uma redução de até 26% na carga térmica de resfriamento de uma edificação climatizada.

Winkelmann (2001) comenta que a transferência de calor pelas janelas seja responsável, em média, por 31% da carga térmica de resfriamento e por 17% da carga térmica de aquecimento em edificações comerciais nos Estados Unidos da América. Já em edificações residenciais, esses números são 34% e 23%, respectivamente. Esses dados demonstram a importância dos estudos relacionados à influência dos vidros no desempenho térmico de uma edificação.

3. METODOLOGIA

Inicialmente fez-se a escolha de um modelo de edificação que fosse o mais representativo possível. Nesse aspecto, utilizou-se um modelo de edificação comercial típica com uma área grande de fachada envidraçada e com condicionamento de ar do tipo expansão direta.

Esse modelo estava posicionado à 45 ° sentido anti-horário em relação ao norte verdadeiro. A escolha dessa orientação se deu em virtude de ter sido essa a pior orientação solar para essa edificação. Essa escolha se deu com o objetivo de salientar a participação das fachadas envidraçadas nos ganhos de calor da edificação.

A edificação está situada na cidade de Porto Alegre, latitude 30° S e longitude 51°18'W e 3 metros de altitude, onde foram definidos dias de projeto de acordo com a ASHRAE e também foi utilizado arquivo climático anual para essa cidade. Para garantir que o condicionamento de ar seja satisfatório trabalha-se com 1% de frequência cumulativa anual para verão.

Uma vez definido o modelo a ser simulado e com a definição dos dias de projeto e do arquivo climático, parte-se para a simulação realizada com o simulador Energyplus que irá fornecer os arquivos de saída com os resultados do comportamento térmico-energéticos da edificação. Após essa etapa, é necessário realizar um pós-processamento dos dados em uma planilha eletrônica afim de tratá-los adequadamente.

No caso presente foram obtidos dados de potência de refrigeração para todos os dias do ano e se tomou a pior condição no verão que é a soma das cargas térmicas máximas de cada zona térmica independente de elas ocorrerem no mesmo dia ou não. Esse dado irá fornecer a potência que a edificação necessita para que seja atendida a condição de conforto.

Também foi levantada a demanda elétrica máxima da edificação, como no caso anterior, com esse dado foi feita a classificação da edificação conforme os parâmetros fornecidos pela companhia de energia elétrica. No caso estudado a demanda da edificação corrigida com os devidos fatores de carga chegou-se ao valor de demanda máxima conforme a figura 4 de 51.900 kVA que corrigido com os fatores de carga de 0,86 para equipamentos elétricos e iluminação e 1,0 para o sistema de climatização, tem-se o valor de 49366 kVA de demanda corrigida máxima para a edificação. Esse valor enquadra o modelo, segundo a tabela do ANEXO A da companhia CEEE, no subgrupo B3-demais classes (Baixa Tensão), classe comercial e outros. De posse dessa informação tem-se que a tarifa é de 0,303910 por kWh de energia elétrica.

De posse do valor da energia elétrica se fez o levantamento dos consumos energéticos mensais da edificação. Para o caso "A" tem-se um consumo anual de 36253 kWh e para o caso "B" um consumo anual de 30520 kWh. Aplicando a tarifa de energia nos consumos mensais, são obtidos os custos mensais com energia elétrica. Soma-se então esses custos mensais para compor o custo anual com energia elétrica em R\$/ ano para cada um dos dois casos.

Para a execução da análise econômica, é necessário que seja feita uma composição do fluxo de caixa com os diversos valores relevantes. Para isso, foi levantado junto à empresas do ramo de projeto e manutenção de sistemas de climatização artificial a estimativa de vida útil dos equipamentos, no caso vinte anos, os custos iniciais dos equipamentos de R\$ 2500,00/TR (instalado) bem como os custos de manutenção e operação dos sistemas de climatização do tipo expansão direta de R\$ 100,00/TR* ano.

Outro dado essencial para o trabalho foi o levantamento da vida útil, vinte anos, e custos aproximados das películas de controle solar já instalada (R\$/m²) que, para o caso presente, foi utilizado o valor de médio de R\$ 71,00/ m². Isso foi possível com a colaboração da empresa *Windowfilm* de Porto Alegre, distribuidor autorizado da linha de películas

Solargard® fabricadas pela Bekaert®, que forneceu as amostras e catálogos técnicos de películas utilizadas nesse trabalho.

4. MODELAMENTO DO PROBLEMA

4.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Os dados referentes à localização geográfica são importantes, principalmente a latitude, a longitude e a altitude, pois o programa *Energyplus* simula a posição solar em função destes dados.

A edificação está situada na cidade de Porto Alegre, latitude 30° S e longitude $51^{\circ}18'W$ e 3 metros de altitude, onde foram definidos dias de projeto de acordo com a ASHRAE(2001). Para a simulação anual foi utilizado um arquivo climático da cidade de Porto Alegre.

4.2. DIAS DE PROJETO

São simulados dias de projeto de acordo com a ASHRAE. Para garantir que o condicionamento de ar tenha rendimento satisfatório, trabalha-se com 1% de frequência cumulativa anual para o verão e 99% para o inverno.

Para inverno, escolheu-se o dia 21 de julho. Já para o verão escolheu-se trabalhar com um dia de cada um dos quatro meses de verão: 21 de dezembro, 21 de janeiro, 21 de fevereiro e 21 de março. Os dados de dias de projeto de verão são rigorosamente iguais, porém as datas determinam posições solares diferentes, de modo que em Porto Alegre, no mês de março a radiação solar incide nas janelas com uma inclinação menor (em relação ao horizonte) que em dezembro.

4.3. ORIENTAÇÃO DO NORTE DA EDIFICAÇÃO EM RELAÇÃO AONORTE VERDADEIRO

O presente modelo foi simulado com a orientação de 45° no sentido anti-horário. Dessa forma, pelo *Energyplus* esta orientação é -45° em relação ao norte verdadeiro. Essa orientação foi escolhida por ter demonstrado ser a orientação mais desfavorável no que se refere à carga térmica. A orientação simulada é mostrada na Fig. 2 abaixo (em vista superior), onde as linhas em negrito representam as paredes que possuem janelas, a seta maior “N” representa o norte verdadeiro e a seta menor a orientação norte da edificação.

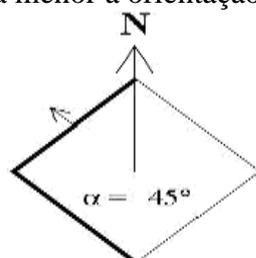


Figura 1. Representação da edificação (vista superior) mostrando a orientação simulada.

4.4. EDIFICAÇÃO

O prédio possui quatro zonas térmicas definidas em 2 andares (duas por andar), o que define quatro sistemas de condicionamento de ar independentes do tipo expansão direta. Possui comprimento e largura de 17,6m, e pé direito de 3,35m, resultando em uma área de planta baixa de 310m² por andar e volume total de 2.075m³, e tem ocupação total de 60 pessoas (15 por zona). As luminárias têm uma potência total de 12.100W (3025W em cada zona) e o restante dos equipamentos elétricos têm uma potência total de 6.000W (1.500W em cada zona). Tanto a iluminação como os equipamentos elétricos permanecem ligados em todo o horário comercial. A temperatura interna para verão é de 24,5°C e 21°C para inverno. A vazão de ar de infiltração de projeto é de 154,8m³/h por zona. Há condicionamento de ar com vazão de insuflamento de 5.400m³/h por zona e cada um dos quatro evaporadores possui potência nominal de 26.377W (7,5TR), pois o *software* exige uma potência estimada para a simulação. A renovação de ar por zona, normalizada Anvisa(1998), é de 405m³/h. A configuração de área envidraçada utilizada foi janelas cobrindo totalmente duas das quatro fachadas da edificação, totalizando 118 m² de área de janela, mostradas na Fig. 2, onde também é possível observar a geometria da edificação em perspectiva.

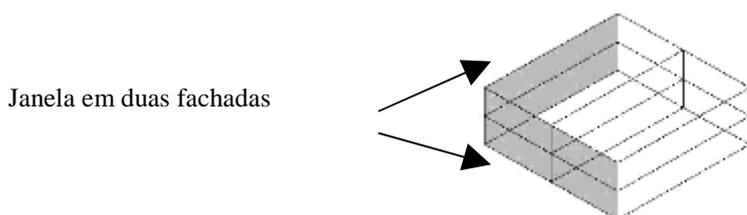


Figura 2. Geometria da edificação em perspectiva e a configuração de área envidraçada do prédio.

4.5. VIDROS E PELÍCULAS

As seguintes hipóteses são assumidas para os vidros (*EnergyPlus* Manual, 2002):

- Esses são finos o suficiente para que o calor armazenado neles possa ser desprezado (não há termos capacitivos nas equações de balanço de energia).
- O fluxo de calor é normal à face dos vidros e é unidimensional.
- São opacos para a radiação infra-vermelha.
- Suas faces são isotérmicas (pois a condutividade térmica é alta).

As seguintes propriedades físicas e radiantes devem ser fornecidas ao *EnergyPlus*:

e ⇒ Espessura do vidro [m].

τ_s ⇒ Transmitância solar na incidência normal: Dependente da transmitância espectral direcional e da irradiância espectral direta em toda a faixa do espectro solar.

ρ_{fs} e ρ_{bs} ⇒ Refletância solar na incidência normal, respectivamente na face externa e na face interna do vidro,: Dependente da refletância espectral direcional da amostra de vidro, da refletância espectral direcional do espelho (referência) e da irradiância espectral direta em toda a faixa do espectro solar.

τ_v ⇒ Transmitância visível na incidência normal: Dependente da eficiência luminosa fotópica (ou resposta ótica do olho humano), da transmitância espectral direcional e da irradiância espectral direta na faixa visível do espectro solar.

ρ_{fv} e ρ_{bv} \Rightarrow **Refletância visível na incidência normal, respectivamente na face externa e na face interna do vidro** : Dependente da eficiência luminosa fotópica, da refletância espectral direcional da amostra de vidro, da refletância espectral direcional do espelho (referência) e da irradiância espectral direta na faixa visível do espectro solar.

τ_{ir} \Rightarrow **Transmitância no infra-vermelho na incidência normal**: Dependente da transmitância espectral direcional e da irradiância espectral direta na faixa infra-vermelha do espectro solar.

ϵ_{f-ir} e ϵ_{b-ir} \Rightarrow **Emissividade hemisférica difusa no infra-vermelho, respectivamente na face externa e na face interna do vidro**: Levando em consideração a lei de Kirchhoff, tem-se que essa propriedade é dependente da absorptância espectral direcional e da irradiância espectral direta em toda a faixa do espectro solar.

k \Rightarrow **Condutividade térmica do vidro [W/m.K]**.

As propriedades radiantes utilizadas foram obtidas da biblioteca de vidros do programa de simulação de janelas *WINDOW 5*, visto que o *EnergyPlus* utiliza esta mesma biblioteca. Buscou-se trabalhar com amostras de vidros e películas tipicamente encontrados no Brasil, escolhendo-se um tipo de vidro comum e um tipo de vidro com películas de controle solar, os dois com 0,003 m de espessura nominal:

- T_v 90% \Rightarrow Vidro simples.
- T_v 10% \Rightarrow Vidro simples + Película.

Será adotado, a fim de simplificar o tratamento das propriedades dos vidros e facilitar a aquisição deste no mercado, a denominação T_v que representa a transmitância solar no espectro do visível. Também essa é a classificação das películas dada pelos fabricantes e junto com a sua coloração.

Abaixo, na Tabela 1, estão relacionadas as propriedades físicas e radiativas desses vidros.

Tabela 1. Propriedades físicas e radiantes dos vidros utilizados.

Vidros simulados	Caso "A" T_v 90 %	Caso "B" T_v 10 %
e [m]	0,002972	0,003035
τ_s	0,8425	0,08546
ρ_{fs}	0,07453	0,5881
ρ_{bs}	0,07478	0,2832
τ_v	0,9033	0,1187
ρ_{fv}	0,08068	0,4615
ρ_{bv}	0,08072	0,2075
τ_{ir}	0	0
ϵ_{f-ir}	0,8379	0,84
ϵ_{b-ir}	0,8379	0,82
k [W/m.K]	0,9	0,9277

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Como resultados das simulações termo energéticas serão mostrados logo a seguir gráficos comparativos de consumo elétrico total, demanda de energética de pico e carga térmica de pico da edificação. Lembrando ainda que os dois modelos que foram simulados diferem apenas no tipo de vidro utilizado.

Na figura 3 observa-se um menor consumo elétrico total da edificação simulada no modelo onde foi aplicada a película de controle solar.

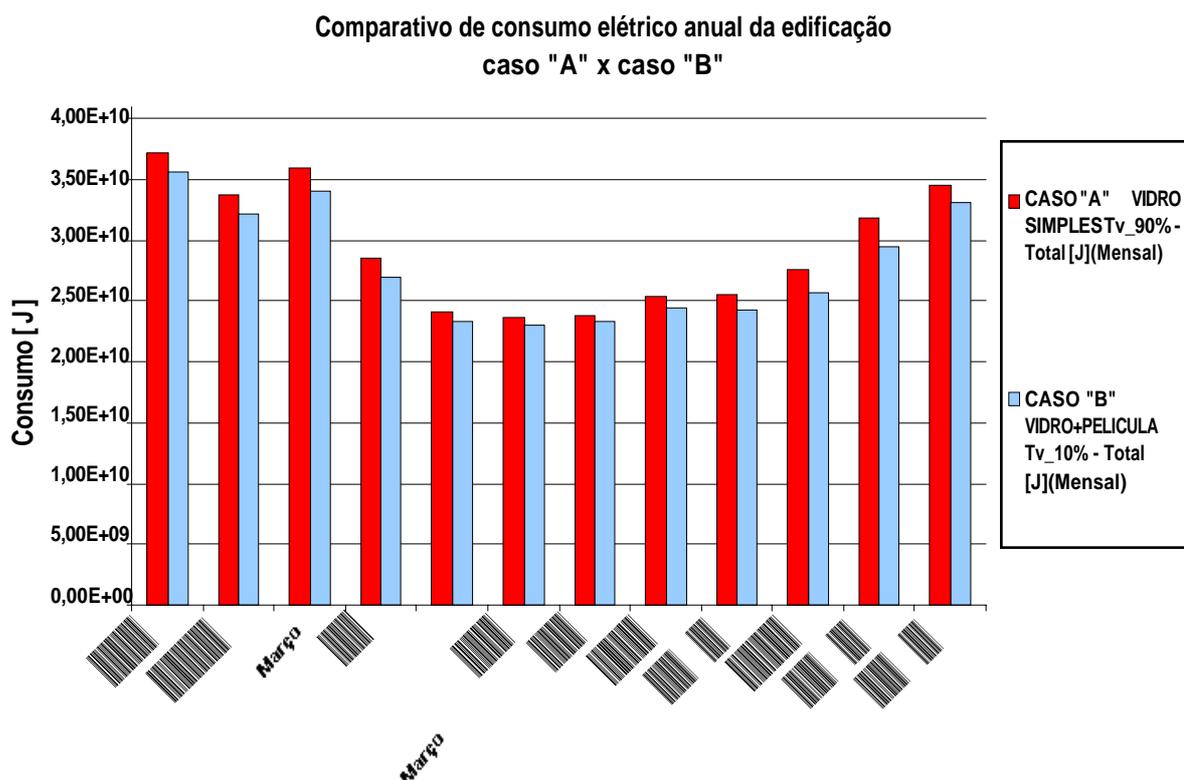


Figura 3 – Consumo elétrico mensal da edificação.

A figura 4 mostra o comparativo da demanda elétrica total dos dois modelos simulados.

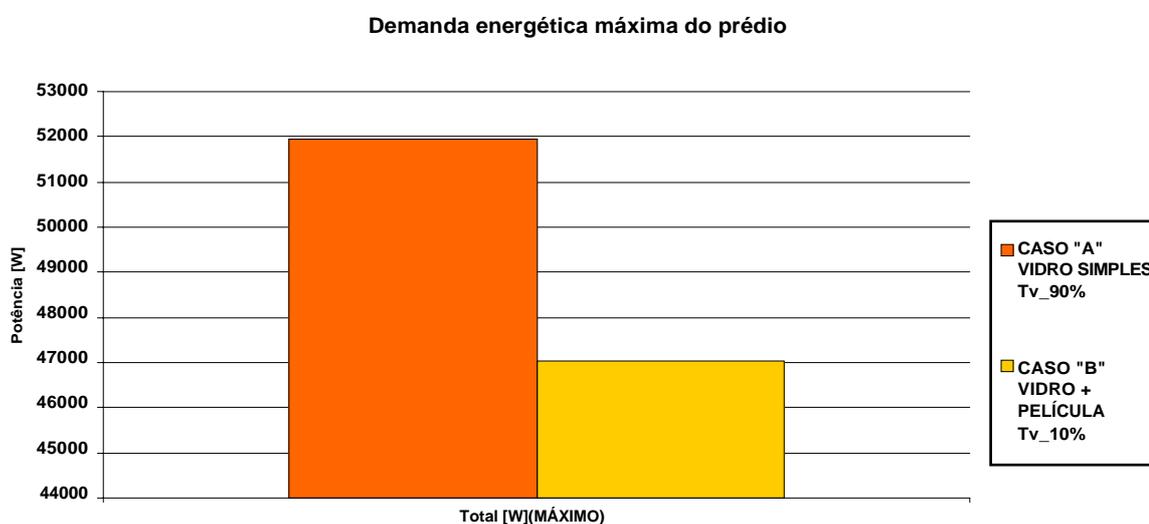


Figura 4 – Comparativo de demanda energética da edificação.

No ultimo gráfico, a figura 5 mostra a carga térmica de pico requerida pelos dois modelos.

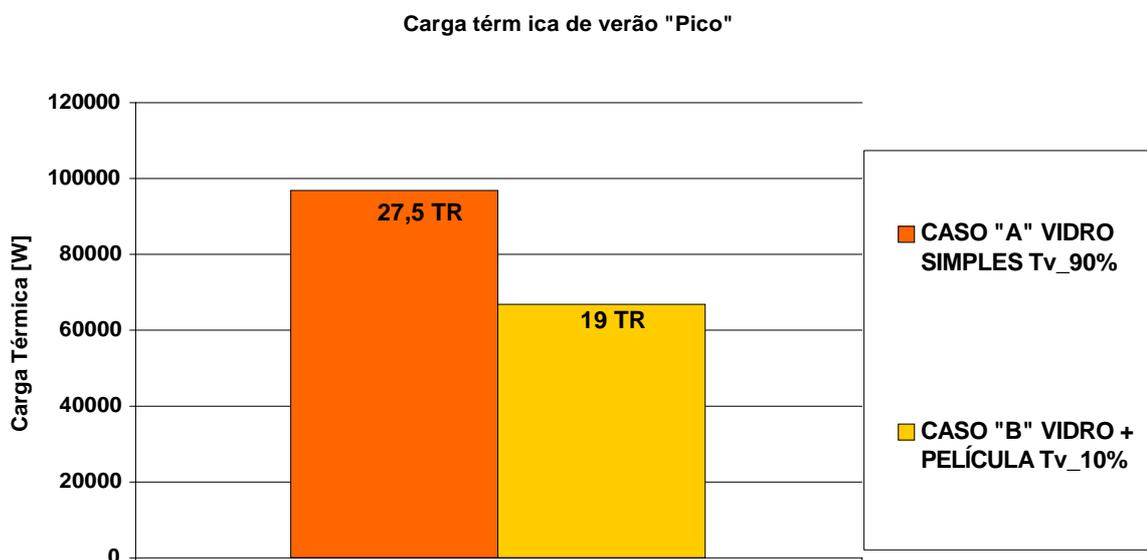


Figura 5 – Comparativo de carga térmica de pico da edificação.

No ultimo gráfico, é possível visualizar uma diferença de até 8,5 TR entre os dois casos simulados. Essa diferença se traduz em um sistema de climatização de menor capacidade, menor custo de manutenção e conseqüentemente um menor consumo de energia elétrica.

6. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Um bom projeto de engenharia é caracterizado por uma boa solução técnica a um dado problema e ainda mostrar-se viável economicamente para ser aceito.

Tratando da análise da viabilidade econômica da utilização de película de controle solar foi utilizado o método do Valor Presente Líquido (VPL). O VPL da proposta é igual ao valor presente de suas entradas de caixa menos o valor presente de suas saídas de caixa. Para o cálculo do valor presente das entradas e saídas de caixa é utilizada a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como taxa de desconto.

A TMA é uma taxa específica de cada empresa que representa a taxa de retorno que ela está disposta a aceitar em um investimento de risco para abrir mão de um retorno certo num investimento sem risco no mercado financeiro. Sua determinação é complexa e depende de uma série de fatores, entre os quais a taxa de juros dos bancos comerciais, dos bancos de investimento, valorização dos títulos públicos, valorização dos estoques, rentabilidade da empresa, entre outros (CASAROTTO, 1992).

Calculando o VPL de um projeto de investimento, pode-se ter as seguintes hipóteses:

- VPL menor que zero, indica que o investimento não é economicamente atrativo porque o valor presente das entradas de caixa é menor do que o valor presente das saídas de caixa.
- VPL igual a zero, significa que o investimento é indiferente, pois o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas de caixa;
- VPL maior que zero, significa que o investimento é economicamente atrativo, pois o valor presente das entradas de caixa é maior do que o valor presente das saídas de caixa.

Como se tem a liberdade de escolha das taxas de investimentos, opto-use por trabalhar com a taxa Overnight / Selic é a média dos juros que o Governo Brasileiro paga aos bancos que lhes emprestaram dinheiro. Refere-se à média do mês e serve de referência para outras taxas de juros do país. A taxa Selic é a taxa básica de juros da economia. No mês presente, novembro de 2004, quem fizer investimentos nesse tipo de aplicação receberá uma remuneração de 17,25% ao ano. Assim foi adotado no presente estudo $i=0,1725$. Além disso, foi aplicada uma taxa de inflação estimada de 8% ao ano, a fim de se corrigir os valores do fluxo de caixa e tornar assim tornar a análise mais segura.

Para calcular o VPL em cada ano, a equação utilizada é (CASAROTTO, 1992):

$$VPL = P + A * \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) \quad (1)$$

Onde A é o fluxo de caixa em R\$ no período n e P é o valor do investimento em R\$.

Nesse estudo comparativo procura-se fornecer subsídios para a tomada de decisão caso se queira avaliar a construção de uma nova edificação e se tenha a opção de se colocar ou não a película nos vidros da edificação. Como os dois casos estudados são semelhantes no que se referem aos investimentos, é usual avaliar apenas as diferenças entre eles.

Na tabela 2 os valores do custo dos equipamentos, custo da película, custo de manutenção do sistema de climatização, foram obtidos com empresas que atuam nesses ramos de atividade. O valor da tarifa de energia elétrica foi referenciado na metodologia e saiu da tabela da companhia CEEE listado no ANEXO A. No momento inicial, tem-se uma saída de caixa de R\$ 8.378,00 referente ao custo da película a ser aplicada nos 118 m² de vidros da fachada da edificação bem como uma entrada de caixa no valor de R\$ 21.300,00 referente à economia no valor do equipamento de climatização pois com utilização da película há uma redução da potência de refrigeração a ser instalada como demonstram os gráficos anteriores. A soma da entrada e saída no momento inicial fornece um saldo positivo de R\$ 12.822,00. Isso demonstra que já no momento inicial o Caso "B", com a película, mostra-se financeiramente mais vantajoso em comparação ao Caso "A", apenas com o vidro simples.

Tabela 2. Comparativo de investimentos iniciais dos dois casos.

	UNITÁRIO	CASO "A" VIDRO SIMPLES Tv_ 90%		CASO "B" VIDRO+PELICULA Tv_ 10%		SALDO
		quantidades	total	quantidades	total	ENTRADA INICIAL
CUSTO DOS EQUIPAMENTOS (R\$/TR) "INICIAL"	R\$ 2.500,00	27,5	TR 68.750,00	19,02	R\$ 47.550,00	21.200,00
CUSTO DA PELÍCULA (m2) "INICIAL"	R\$ 71,00	0	R\$ 0	118 m2	R\$ 8.378,00	(8.378,00)
				TOTAL ENTRADA INICIAL		12.822,00
						ENTRADAS ANUAIS
CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA(kWh) ANO	R\$ 0,303910	36252,85 kWh	R\$ 11.017,60	30520,24 kWh	R\$ 9.275,41	R\$ 1.742,20
CUSTO MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO (R\$/TR) ANO	R\$ 100,00	27,5	TR 2.750,00	19,02	R\$ 1.902,00	R\$ 848,00
				TOTAL ENTRADAS ANUAIS		R\$ 2.590,20

O comparativo anterior serve apenas na tomada de decisão quando ainda não se tem o prédio construído e vai se fazer o estudo da melhor solução.

Quanto já se tem um prédio construído com vidros simples e com um sistema de climatização instalado e está cogitando-se a aplicação de película nos vidros da fachada como opção de redução do consumo elétrico, é necessário fazer um estudo mais detalhado para se saber quando é que vai se ter o retorno do investimento. Para tanto é necessário compor um fluxo de caixa com o custo inicial da colocação da película nos vidros da edificação. No momento inicial se tem uma saída de caixa de R\$ 8.378,00, referente à aplicação da película nas janelas da edificação. E decorrer dos anos seguintes à colocação da película, tem-se a entrada de caixa no valor de R\$ 1.742,00 anuais referentes à economia de energia elétrica do sistema de climatização.

A tabela 3 mostra os valores de VPL calculados para os 20 anos, tempo de vida útil dos sistemas de climatização e da película de controle solar. As colunas mostram os valores de entrada e saída de caixa, bem como o fluxo de caixa. A última coluna, VPL, mostra o valor presente líquido referente ao ano em questão.

Tabela 3. Valores de Fluxo de Caixa e VPL

VALOR PRESENTE DAS APLICAÇÕES				
Taxa TMA =	17,25%			
Taxa de Inflação =	8,0%			
Anos	Saídas – Investimento em película	Entrada - Economia Energia	Fluxo de caixa	VPL
0	8378	0	8378	8378
1		1742	1742	6895
2		1882	1882	5532
3		2032	2032	4280
4		2195	2195	3128
5		2370	2370	2070
6		2560	2560	1097
7		2765	2765	203
8		2986	2986	618
9		3225	3225	1374
10		3483	3483	2068
11		3761	3761	2706
12		4062	4062	3293
13		4387	4387	3832
14		4738	4738	4327
15		5117	5117	4783
16		5527	5527	5202
17		5969	5969	5586
18		6446	6446	5940
19		6962	6962	6265
20		7519	7519	6564

Na tabela acima apresentada, os caracteres de cor vermelha demonstram valores negativos do fluxo e caixa onde é possível observar que o VPL se torna positivo a partir do oitavo ano após os investimentos terem sido realizados. Esse ponto é o momento em que o investimento inicial foi totalmente pago.

7. CONCLUSÕES

Analisando os dados de potência de refrigeração, consumo elétrico e demanda elétrica dos dois casos estudados é possível notar uma expressiva diferença a favor da solução que utiliza películas nas janelas. Pode-se verificar que é possível alcançar uma redução da ordem de 31% na potência de refrigeração, 10% na demanda energética do sistema de climatização e por consequência desses índices, uma redução de até 16% no consumo elétrico para o modelo de edificação simulado. No entanto, não é possível generalizar esses números para qualquer caso em virtude de que diferenças como localização geográfica, tipo de construção, orientação geográfica e área de janela podem trazer resultados imprevisíveis e que só podem ser conhecidos com precisão através de uma nova simulação.

É importante salientar que a utilização de películas com baixos índices de transmitância visível, como a utilizada no presente trabalho, trazem como efeito colateral uma maior necessidade de iluminação artificial nos ambientes construídos. O estudo desse efeito já está sendo pesquisado no LAFRIG e logo se terão publicações mostrando esses resultados.

A análise econômica entre o caso “A” e o caso “B” mostra que analisando apenas os investimentos iniciais, o caso “B” se mostrou economicamente mais vantajoso com um saldo positivo de R\$ 12.822,00, pois a economia gerada em termos de potência de refrigeração paga com folga os investimentos relativos à colocação da película nas janelas da edificação.

Também com a aplicação do método do VPL, para avaliação da viabilidade econômica, o caso “B” demonstrou que o retorno do investimento se dá a partir do oitavo ano.

Assim, é possível demonstrar que os simuladores termo energéticos são uma boa ferramenta de análise de eficiência energética, e que o seu uso poderia ser mais difundido entre os engenheiros e projetistas como forma de melhor avaliar o desempenho das edificações ainda na sua fase de projeto. Isso trás um ganho significativo na medida que o projetista pode testar muitas combinações de parâmetros físicos e assim optar pela que melhor lhe convier tanto em termos de custos, consumo energético como ainda em termos de conforto térmico dos ocupantes.

Como sugestão para continuação deste trabalho, sugere-se fazer a avaliação termo energética com o módulo de avaliação econômica que a última versão, recentemente lançada, do simulador *EnergyPlus* traz incorporado.

8. REFERÊNCIAS

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução 176 da Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1.998.

CASAROTTO, F., N, Kopittke, B. H., 1992, **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão**, Vértice 5ª Edição, São Paulo.

CÓTICA, M. S., 2003. **Análise do Impacto da Retirada da Proteção Externa na Carga Térmica e no Consumo de Energia Elétrica de uma Edificação**. 2003. 23f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EnergyPlus Manual, September, 2003. Version 1.1.1, The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California, USA.

PEREIRA, F. L., 2002. **Avaliação da influência termo-energética do tipo de vidro utilizado na envoltória de edificações**, 2002. 25f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WINKELMANN, F. C., 2001. Modeling Windows in EnergyPlus, **Seventh International IBPSA Conference**, Rio de Janeiro.

9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASHRAE Handbook of Fundamentals, 2001. **Chapter 27 – Climatic Design Information**, ASHRAE Publications, USA.

BEYER, P. O., 2002. **Apostila da disciplina de Climatização**, Departamento de Engenharia Mecânica/UFRGS, Porto Alegre.

EnergyPlus Manual, September, 2003. Version 1.1.1, The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California, USA.

INCROPERA, F. P., DE WITT, D. P., 1998. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, 4ª Edição, LTC Editora, Rio de Janeiro.

MASCARÓ, J. L., MASCARÓ, L., 1992. **Incidência das Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios**, 2ª edição, Sagra-DC Luzato, Porto Alegre.

ANEXOS

ANEXO A – TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA OBTIDAS JUNTO A EMPRESA CEEE
 Fonte : <http://www.cee.com.br/centraldeinfo/tarifas.asp?x=3>

CEEE/AD/DIV. COM/DCM

RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA ANEEL Nº 242 DE 18/10/2004 - APLICAÇÃO: 25/10/2004 - DATA REAJUSTE ANTERIOR: 25/10/2003

OBSERVE ATENTAMENTE A FÓRMULA DE CÁLCULO, BEM COMO OS DESCONTOS, INCLUÍDOS AO FINAL DA TABELA.

BAIXA TENSÃO	CONSUMO
	R\$/kWh
SUBGRUPO B1-CLASSE RESIDENCIAL	
CONSUMO MENSAL ATÉ 30 kWh	0,106500
CONSUMO MENSAL DE 31 A 100 kWh	0,182610
CONSUMO MENSAL DE 101 A 160 kWh	0,273940
CONSUMO MENSAL SUPERIOR A 160 kWh	0,303500
CONSUMO MENSAL RESIDENCIAL	0,304360
SUBGRUPO B2-CLASSE RURAL	
RURAL	0,209100
COOP.ELETRIFICAÇÃO RURAL	0,142110
SUBGRUPO B3-DEMAIS CLASSES	
INDUSTRIAL	0,303910
COMERCIAL E OUTROS	0,303910
PODERES PÚBLICOS	0,303910
SERVIÇOS PÚBLICOS DE TRAÇÃO FERROV.	0,303910
SERVIÇOS PÚBLICOS DE TRAÇÃO URBANA	0,303910
SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA, ESG. E SANEAM.	0,258324
PANIFICADORAS	0,303910
SUBGRUPO B4-CLASSE ILUMINAÇÃO PÚBLICA	
B4a	0,156570

DESCONTOS PERCENTUAIS APLICADOS NAS TABELAS A e B

SUBGRUPOS A4, AS e B3	CONSUMO	DEMANDA
RURAL GRUPO A	10,00%	10,00%
SERV. PÚBL. DE ÁGUA, ESG. E SANEAM. GRUPO A	15,00%	15,00%
SERV..PÚBL. ÁGUA, ESG. E SANEAM. GRUPO B3	15,00%	

Comparação entre a tarifa aplicada para consumo superior a 160 kWh e as demais faixas de consumo residencial. **REDUÇÃO**

CONSUMO MENSAL DE 30 kWh	64,91%
CONSUMO MENSAL DE 31 E 100 kWh	39,83%
CONSUMO MENSAL DE 101 E 160 kWh	9,74%
CONSUMO MENSAL SUPERIOR A 160 kWh	0,28%

Consumo mensal superior a 160 kWh - Tarifa plena sobre o total de kWh consumido.

DESCONTO PORTARIA DNAEE Nº105 DE 03/04/92

As tarifas utilizadas para fornecimento de Energia Elétrica destinada a irrigação, classe rural segmento horário 21:30 às 06:00 hs para as unidades consumidoras que preenchem as condições estabelecidas na portaria sofrerão os seguintes descontos:

CONSUMO (kWh) :	GRUPO A: 70%
CONSUMO (kWh) :	GRUPO B: 60%

OBSERVE ATENTAMENTE A FÓRMULA DE CÁLCULO, BEM COMO OS DESCONTOS, INCLuíDOS AO FINAL DA TABELA.

ALTA TENSÃO

	DEMANDA R\$/kW	CONSUMO R\$/kWh	DEMANDA ULTRAPASSAGEM R\$/kWh
SUBGRUPO A4 (2,3 kV A 25 kV)			
RESIDENCIAL	15,140000	0,161110	45,420000
INDUSTRIAL	15,140000	0,161110	45,420000
COMERCIAL E OUTROS	15,140000	0,161110	45,420000
PODERES PÚBLICOS	15,140000	0,161110	45,420000

SERVS.PÚBL.TRAÇÃO FERROV.	15,140000	0,161110	45,420000
SERVS.PÚBL.TRAÇÃO URBANA .	15,140000	0,161110	45,420000
SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA, ESG. E SANEAM.	12,869000	0,136944	45,420000
RURAL	13,626000	0,144999	45,420000
COOP.ELETRIF. RURAL TIPO 1	4,430000	0,064610	13,290000
COOP.ELETRIF. RURAL TIPO 2	3,510000	0,050990	10,530000
COOP.ELETRIF. RURAL TIPO 3	2,330000	0,034070	6,990000
SUBGRUPO AS (SUBTERRÂNEO)		DEMANDA	CONSUMO
		R\$/kW	R\$/kWh
INDUSTRIAL	22,290000	0,168580	66,870000
COMERCIAL E OUTROS	22,290000	0,168580	66,870000
PODERES PÚBLICOS	22,290000	0,168580	66,870000

OBS.: AS TARIFAS CONSTANTES DA PRESENTE TABELA NÃO INCLUEM ICMS.

ALÍQUOTAS DE ICMS	CLASSES
25%	RESIDENCIAL (+ DE 50 kWh, COMERCIAL P. PÚBLIC, SERVS. PÚBLICO)
20%	ILUMINAÇÃO PÚBLICA
17%	INDUSTRIAL
12%	RESIDENCIAL ATÉ 50 kWh
25%	RURAL SEM CPR

DIFERIDO ICMS RURAL E COOP. ELETRIFICAÇÃO RURAL

PREÇO FINAL = TARIFA / (1 - ALÍQUOTA)

OBS.:TARIFAS EM REAIS (R\$)