

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO DESEMPENHO ENERGÉTICO
DE EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS COM O USO DE
SOMBREAMENTO INTERNO.**

JAVIER DÍAZ VALDIVIA

SÃO PAULO

2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO DESEMPENHO ENERGÉTICO
DE EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS COM O USO DE
SOMBREAMENTO INTERNO.**

**Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em Engenharia**

JAVIER DÍAZ VALDIVIA

Orientador: Alberto Hernandez Neto

Área de Concentração:

Engenharia Mecânica

SÃO PAULO

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Díaz Valdivia, Javier

Avaliação do impacto no desenvolvimento energético de edificações climatizadas com o uso de sombreamento interno / J.

Díaz Valdivia. – São Paulo, 2010.

50 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Energia térmica (Eficiência) 2. Edifícios comerciais (Simulação) 3. Fachadas I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

Resumo

O trabalho em questão tem com objetivo analisar o impacto proporcionado pela utilização de sombreamento nas fachadas de um edifício comercial, tal sombreamento é uma cortina interna, que é acionada quando a radiação solar que atinge a superfície externa do vidro ultrapassar um valor pré-estabelecido. Primeiramente foi analisado como diferentes valores para acionar a cortina afetam o consumo do sistema de climatização, depois foi analisado, para os mesmos parâmetros utilizados anteriormente, como se podia dimerizar a iluminação artificial do edifício através da entrada de luz natural. Com estas análises se obteve o ponto ótimo de acionamento das cortinas, proporcionando assim a melhor redução no consumo energético do edifício. Por ultimo se observou o comportamento do consumo do edifício para diferentes cidades do país.

Abstract

The work search analyze the impact provided by the use of shading on the facades of a commercial building, such shading is an indoor curtain, which is triggered when the solar radiation that reaches the outer surface of the glass exceeds a predetermined value. First will be examined how different values of control the curtain affect the consumption of the HVAC system, then will be analyzed for the same parameters used previously, as if he could reduce the consumption of artificial lighting of the building through the entry of natural light. With this analysis was obtained the optimum control the curtains, thus providing the best reduction in energy consumption of the building. Finally will be observed behavior of consumption of the building to different cities.

SUMÁRIO

1.	FICHA CATALOGRÁFICA	4
1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS.....	10
3.	METODOLOGIA	11
4.	RESULTADO DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	12
5.	PARÂMETROS DA EDIFICAÇÃO	18
5.1	ILUMINAÇÃO.....	18
5.2	PESSOAS	18
5.3	EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS.....	19
5.4	ENVOLTÓRIA DA EDIFICAÇÃO.....	19
5.5	GEOMETRIA DO EDIFÍCIO	20
5.6	SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO.....	21
6.	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	22
6.1	ANÁLISE PARAMÉTRICA.....	22
6.2	DETALHAMENTO DO CASO BASE.....	23
6.3	SIMULAÇÕES DO SOMBREAMENTO	26
6.4	SIMULAÇÕES DO SOMBREAMENTO COM DIMERIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO.	31
6.4.1	<i>Primeira opção de dimerização da iluminação.</i>	<i>32</i>
6.4.2	<i>Segunda opção de dimerização da iluminação.</i>	<i>35</i>
6.4.3	<i>Terceira opção de dimerização da iluminação.</i>	<i>39</i>
6.5	PONTO ÓTIMO	42
6.6	COMPARAÇÃO EM DIFERENTES CIDADES	44
7.	CONCLUSÕES.....	47
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variação anual do consumo do sistema de climatização em relação ao coeficiente de sombreamento.....	12
Figura 2. Consumo anual do sistema de climatização para coeficientes de sombreamento, 1 e 0,5.	13
Figura 3. Consumo anual do sistema de climatização para coeficientes de sombreamento, 1 e 0,35.	13
Figura 4. Carga de necessária para aquecimento e para resfriamento em Milão.	15
Figura 5. Carga de necessária para aquecimento e para resfriamento em Palermo. ..	15
Figura 6. Variação do coeficiente global de transferência de calor em função da emissividade do material para diferentes ângulos.	16
Figura 7. luminância em função a distância da janela.	17
Figura 8. Geometria do pavimento estudado.	21
Figura 9. Variação do consumo do sistema de climatização em função das cargas internas.....	22
Figura 10. Zonas térmicas do pavimento.	24
Figura 11. Distribuição da luminância em função da distância da janela.....	25
Figura 12. Consumo mensal do edifício para diferentes níveis de controle do sistema de sombreamento.	28
Figura 13. Consumo mensal do sistema de climatização.....	28
Figura 14. Redução no consumo mensal do sistema climatização.	29
Figura 15. Redução total no consumo anual do andar tipo.	30
Figura 16. Comportamento do consumo da edificação em relação ao controle de acionamento.	30
Figura 17. Condições da primeira opção de dimerização da iluminação.....	32
Figura 18. Redução percentual do sistema de climatização para da primeira opção de dimerização.....	32

Figura 19. Redução no consumo da iluminação para a primeira opção de dimerização.....	33
Figura 20. Redução mensal na edificação para a primeira opção de dimerização.....	34
Figura 21. Redução anual para a primeira opção de dimerização.....	35
Figura 22. Condições da segunda opção de dimerização.....	36
Figura 23. Redução no consumo mensal do sistema de climatização para a segunda opção de dimerização.....	36
Figura 24. Redução no consumo mensal da iluminação para a segunda opção de dimerização.....	37
Figura 25. Redução no consumo mensal do edifício para a segunda opção de dimerização.....	38
Figura 26. Redução anual para a segunda opção de dimerização.....	38
Figura 27. Redução no consumo mensal do sistema de climatização para a terceira opção de dimerização.....	39
Figura 28. Redução no consumo mensal da iluminação para a terceira opção de dimerização.....	40
Figura 29. Redução no consumo mensal da edificação para a terceira opção de dimerização.....	41
Figura 30. Redução anual para a terceira opção de dimerização.....	41
Figura 31. Consumo energético anual para a primeira opção de dimerização.....	42
Figura 32. Consumo energético anual para a segunda opção de dimerização.....	43
Figura 33. Consumo energético anual para a terceira opção de dimerização.....	44
Figura 34. Consumo energético anual para a cidade de Recife.....	45
Figura 35. Consumo energético anual para a cidade de Santa Maria.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variação do Coeficiente global de transferência de calor em função da distancia entre a persiana e o vidro.	16
Tabela 2. Valores densidade ocupacional.	18
Tabela 3. Valores de emissão de calor nos equipamento elétricos em função da ocupação.	19
Tabela 4. Valores de Coeficiente global de transferência de calor e SHGC para o vidro.	20
Tabela 5. Valores de Coeficiente global de transferência de calor e Resistência térmica dos materiais opacos.	20
Tabela 6. Localização e inclinação em relação ao norte.	26
Tabela 7. Parâmetros internos da edificação.	26
Tabela 8. Características do vidro.	26
Tabela 9. Características do tecido.	27
Tabela 10. Porcentagem de redução energética no consumo total da edificação no ponto ótimo.	44
Tabela 11. Comparação entre diferentes cidades.	46

1. INTRODUÇÃO

O consumo energético de edifícios vem sendo alvo de inúmeros estudos, que visam reduzir a energia gasta por estes, essas construções com melhor aproveitamento da energia ficaram conhecido como "edifícios verdes", pois apresentam um menor impacto ambiental. Como o custo da energia elétrica é responsável por uma parcela considerável dos gastos dos edifícios, é importante a sua redução.

Um dos principais motivos do gasto energético é proveniente do consumo do sistema de climatização, que tem que suprimir a carga térmica do edifício, por isso busca-se sempre reduzir as cargas térmicas, que em parte são produzidas no interior do edifício e em parte transferidas do meio externo para dentro do edifício.

Existem inúmeras formas de reduzir a carga térmica de um edifício, neste trabalho se procurará reduzi-la por meio da redução do ganho de calor, proveniente da área envidraçada do edifício. Fazendo uso de diferentes tipos de sombreamentos se reduzirá a radiação solar que entra pelas janelas, tanto a radiação direta como a difusa, diminuindo o ganho de calor proporcionado pelas janelas.

2. OBJETIVOS

O objetivo do projeto é analisar o impacto no desempenho energético, proporcionado pelo controle do acionamento de sombreamento nas janelas em função da radiação solar que atinge as fachadas do edifício para ambientes climatizados em edifícios comerciais.

Para se avaliar o impacto do uso de sombreamento no consumo energético de uma edificação comercial climatizada, será comparado o consumo energético de uma edificação padrão com o consumo desta mesma edificação com a utilização de sombreamento na sua fachada.

A partir da ASHRAE 90.1-2004 serão definidos os diversos parâmetros da edificação como: material das paredes e vidros, sistema de iluminação, equipamentos, a porcentagem de envidraçamento e concentração das pessoas.

Com todos os parâmetros definidos, se fará uma verificação da redução proporcionada no consumo do edifício pela utilização do sombreamento. Existem dois tipos parâmetros afetados na utilização do sombreamento, o primeiro é a entrada de calor no ambiente, o segundo é entrada de iluminação natural.

Em relação ao primeiro parâmetro, se verificará a redução de calor que deixa de ser transferida ao ambiente e quanto isso proporciona de economia na energia total do edifício.

Em relação ao segundo parâmetro, se verificará quanto se pode reduzir na utilização da iluminação artificial se for levada em consideração a iluminação natural que atravessa a janela, sendo que esta é diretamente afetada pelo acionamento da sombreamento que barra a entrada deste tipo de iluminação.

3. METODOLOGIA

Primeiramente foi feita uma pesquisa bibliográfica, a qual teve o intuito de tomar conhecimento do estado da arte sobre o assunto que esta sendo trabalhado no projeto. Com essa pesquisa tomou-se conhecimento da possível redução no consumo do sistema de climatização, que pode ser proporcionada com a utilização de sombreamento nas áreas envidraçadas da edificação.

Para a obtenção dos dados de redução no consumo do sistema de climatização, serão feitas simulações alterando parâmetros referentes ao sombreamento. Para fazer as simulações será utilizado o programa EnergyPlus, programa desenvolvido pelo Departamento de Energia do governo americano.

Para o desenvolvimento do projeto será definida uma estrutura de um edifício, que será tomada como padrão para todas as simulações. Esta estrutura terá os parâmetros definidos pelas normas da ASHRAE 90.1 de 2004 e pela norma ABNT NBR 16401.

Após a definição da estrutura padrão será simulado o modelo obtido e será verificada a redução do consumo do sistema de climatização para diversos valores do controle de acionamento das cortinas. Como além de afetar o ganho de calor, a persiana também afeta a entrada de luz natural, portanto também se fará a análise de como este acionamento pode ser utilizado para reduzir o consumo da iluminação artificial de um pavimento típico. Portanto se fará uma análise de como a variação do controle de acionamento das cortinas afeta o consumo do sistema de refrigeração e do sistema de iluminação artificial.

Por último, será analisado como o ganho proporcionado pela utilização de sombreamento nas fachadas varia em função da localização e do clima em que se encontra o edifício, ou seja, verificando o seu rendimento em diferentes cidades do país.

4. RESULTADO DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Como o trabalho em questão trata de avaliar o desempenho energético em edifícios climatizados com controle de acionamento do sombreamento da área envidraçada, foi feita uma pesquisa para demonstrar como este dispositivo afeta o sistema de climatização.

Enshem;Jinhua(2005) fizeram uma comparação na variação do aquecimento e no resfriamento provocadas pelo alteração no coeficiente de sombreamento, que é a relação entre o ganho de calor pelas janelas com sombreamento e o ganho de calor sem o sombreamento para várias cidades. Como o estudo em questão é referente ao impacto em sistemas de climatização, somente serão considerados os dados referentes ao resfriamento.

O estudo de Enshem;Jinhua(2005) demonstra que a medida que o coeficiente de sombreamento diminui, ou seja, se diminui o ganho de calor pela área envidraçada, o consumo do sistema de climatização é reduzido, conforme pode ser observar na figura abaixo.

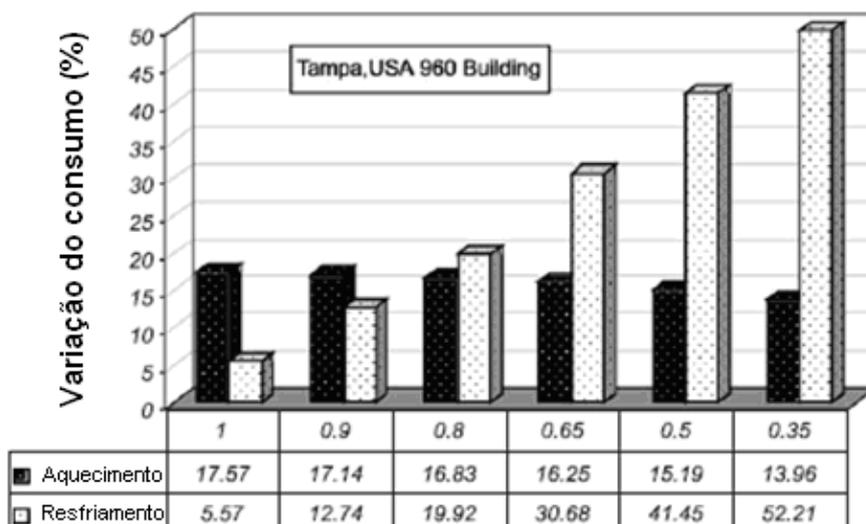


Figura 1. Variação anual do consumo do sistema de climatização em relação ao coeficiente de sombreamento.

A figura 1 mostra a porcentagem de energia reduzida em função do coeficiente de sombreamento, tanto para aquecimento como para resfriamento. Pode-se observar que à medida que o sombreamento se intensifica a redução no sistema de resfriamento vai aumentando. Conclusão semelhante foi verificada por

Enshem;Xixuan(2005). Que demonstram que o comportamento observado acima se repete em várias cidades da china e dos EUA, sempre reduzindo o consumo de energia utilizado para resfriar a edificação a medida que se aumentava o sombreamento sobre a área envidraçada.

Na figura 2 e 3 é demonstrado como o sombreamento afeta o consumo elétrico de uma edificação ao longo dos 12 meses do ano, observando-se que nos períodos de verão a redução no consumo do sistema de climatização é intensificada.

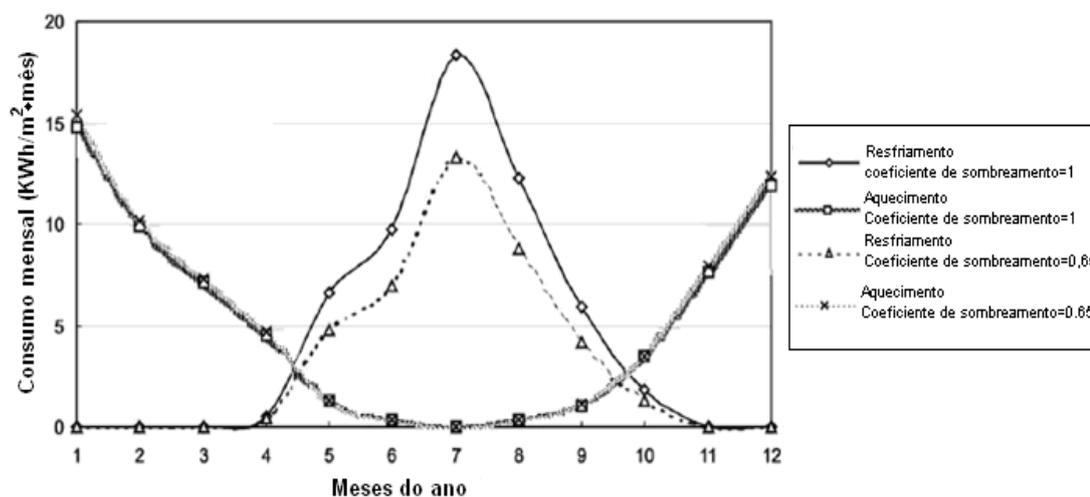


Figura 2. Consumo anual do sistema de climatização para coeficientes de sombreamento, 1 e 0,5.

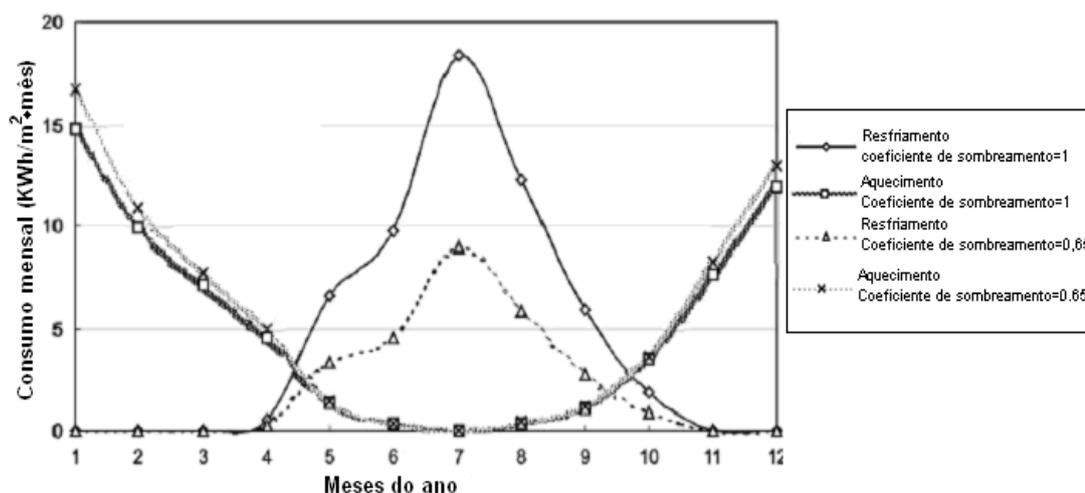


Figura 3. Consumo anual do sistema de climatização para coeficientes de sombreamento, 1 e 0,35.

As figuras 2 e 3 verificam que a intensidade do sombreamento reduz o consumo do sistema de climatização principalmente nos períodos mais quentes do ano, pois é nesses meses que a radiação solar atinge as superfícies externas com maior intensidade.

Enshem;Jie (2005) demonstram que, para períodos sem radiação solar, a utilização de algum tipo de sombreamento não provoca variação nem no aquecimento nem no resfriamento, como já era esperado. Também demonstra que, para períodos com radiação solar, a variação anual do aquecimento com o sombreamento é muito pequeno, e pode ser considerado insignificante. No entanto, para o caso do sistema de climatização a diminuição no consumo pode chegar até 50% para coeficiente de sombreamento igual a 0,35.

Datta (2001) mostra que a eficiência do sombreamento é dependente do clima no lugar da construção, pois segundo os dados obtidos pelo autor, a variação do consumo do sistema de climatização em climas que requisitam maior quantidade de resfriamento do que aquecimento apresentam uma redução maior, pois além da temperatura externa ser maior a radiação solar é mais intensa, condição em que se encontra o Brasil localizado na região de maior intensidade solar.

Nas figuras 4 e 5 são apresentadas as cargas de aquecimento e de resfriamento para duas zonas térmicas, sendo a zona 2 a única que possui sombreamento. Pode-se verificar que somente a zona 2 possui as maiores variações na sua carga.

As figuras 4 e 5 apresentam resultados para três tipos de sombreamento, os quais foram definidos por $h_1, h_2, h_0,92$, que são a relação da distância entre as laminas das persianas e a altura da cada lamina. A primeira opção h_1 representa que a distância entre as laminas é igual à altura delas, ocupando todo o espaço quando a persiana é fechada. A segunda opção h_2 representa que a distância entre as laminas é igual ao dobro da altura delas, ou seja, quando a persiana está totalmente fechada há ainda um espaço sem existência de sombreamento. A terceira opção $h_0,92$ representa que a distância entre as laminas é 0,92 da altura delas, ou seja, quando ocorre o fechamento total da persiana há uma sobreposição das laminas.

Nas figuras 4 e 5 também se demonstra a variação do consumo energético para 4 tipos de inclinação das laminas, que são 30,45,60 e 90.

Em Milão, onde a necessidade de aquecimento de ambientes predomina, a variação da carga de resfriamento é pequena, já em Palermo ocorre o contrário, causando uma redução visível na carga de resfriamento.

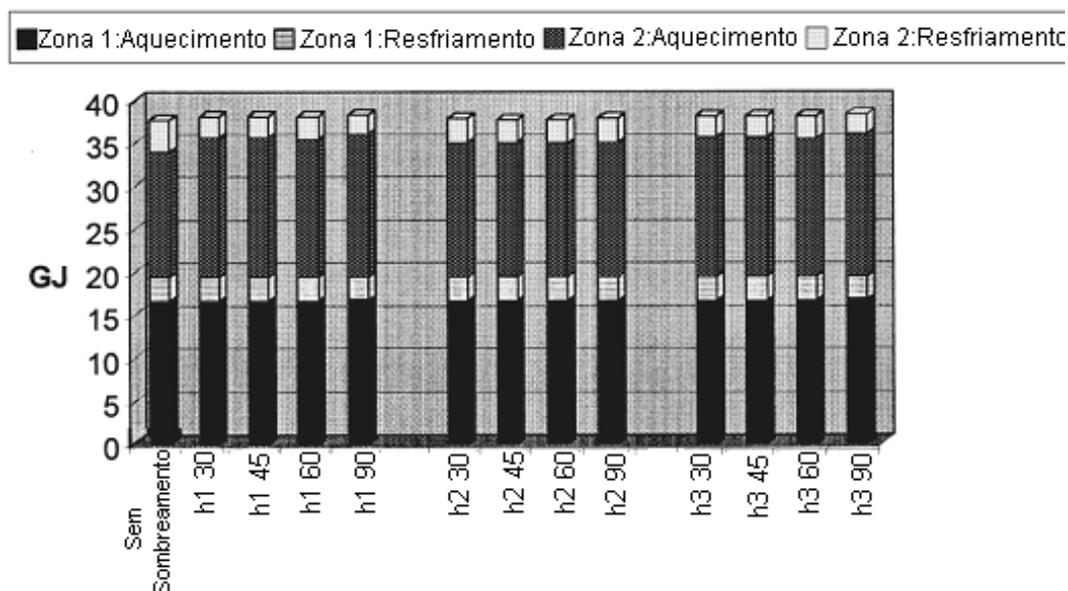


Figura 4. Carga de necessária para aquecimento e para resfriamento em Milão.

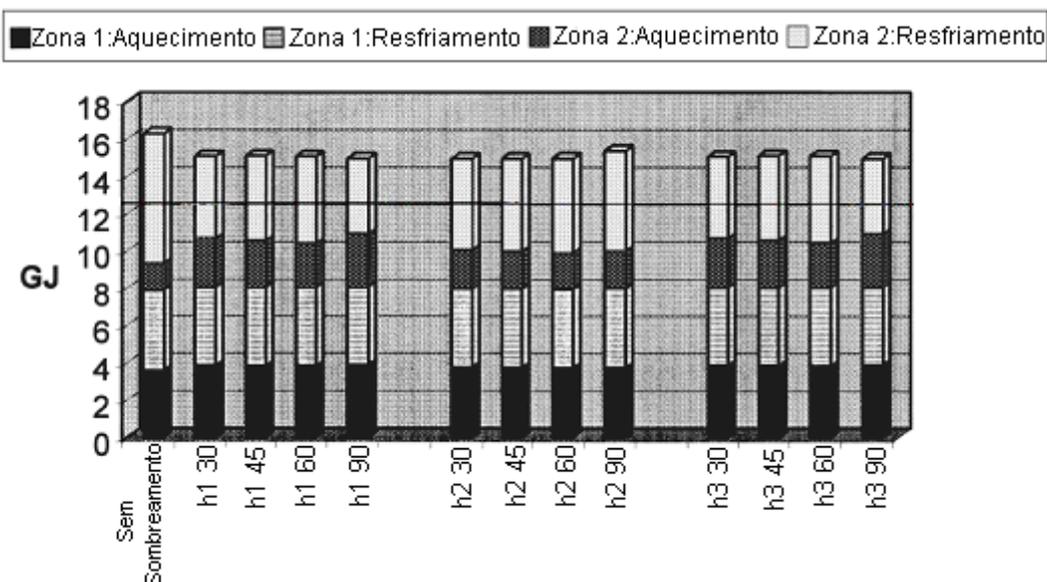


Figura 5. Carga de necessária para aquecimento e para resfriamento em Palermo.

Shahid;Naylor(2005) realizaram estudo de uma persiana interna, sendo que seu rendimento é afetado diretamente pela distância entre a persiana e o vidro, pelo ângulo de inclinação das suas lâminas e pela emissividade do material da persiana.

Neste estudo, verifica-se que há um aumento na eficiência das persianas para menores valores do coeficiente global de troca de calor do conjunto vidro-persiana. Pode-se observar na figura 6 que, ao aumentar o ângulo de inclinação das persianas o coeficiente global de transferência de calor diminui, principalmente para angulas das

lâminas maiores que 60 graus, a diminuição do coeficiente de transferência de calor também diminui ao se reduzir a emissividade (ϵ) do conjunto vidro-persiana.

A figura 6 analisa a variação do coeficiente e transferência de calor do conjunto vidro-persiana em relação ao a utilização somente do vidro, em que o coeficiente de transferência de calor do vidro é representado por “ U_{NB} ”, é o coeficiente do conjunto vidro-persiana é representado por “ U ”.

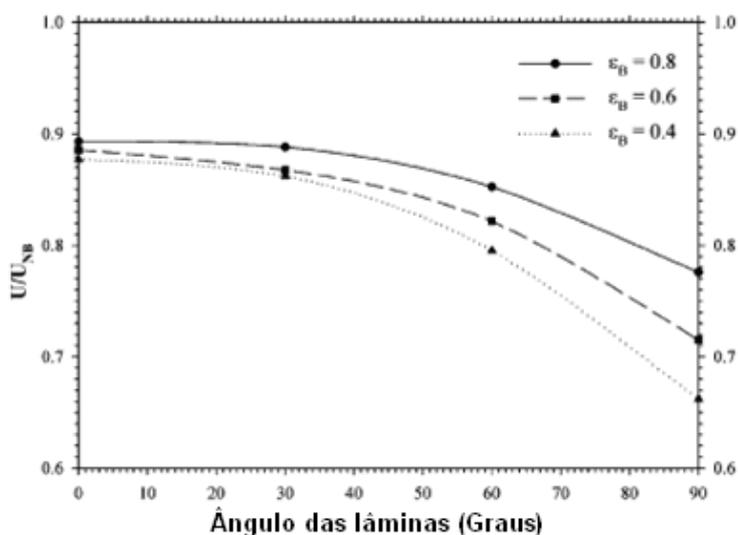


Figura 6. Variação do coeficiente global de transferência de calor em função da emissividade do material para diferentes ângulos.

Na figura 6 se observa que quanto menores os valores da emissividade menor será o coeficiente global de troca de calor, e verifica-se que sua redução é intensificada para ângulos superiores a 60°.

Conforme dito anteriormente o coeficiente global de troca de calor também é afetado pela distância entre a janela, conforme pode ser observado na tabela 1, que demonstra o coeficiente para duas distâncias.

Tabela 1. Variação do Coeficiente global de transferência de calor em função da distancia entre a persiana e o vidro.

Ângulo das lâminas	U/UNB	
	Distância (mm)	
	27,5	7,7
0	0,89	0,78
30	0,89	0,75
60	0,85	0,66
90	0,79	0,62

Aghemo;Pellegrino;Verso (2008) apresentam resultados obtidos para dois tipos de modelos de simuladores do sol no céu. No trabalho avalia-se a quantidade de iluminação natural no interior da construção, para diferentes níveis de sombreamento, conforme apresentado na figura 7.

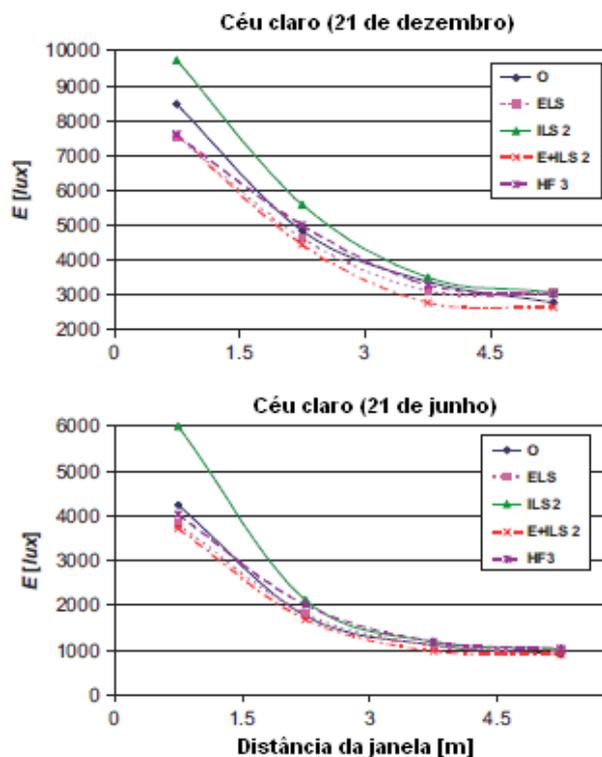


Figura 7. luminância em função a distância da janela.

Com estes dados pode-se observar que, a partir de certa profundidade no ambiente interno, a diferença da iluminação natural passa a ser muito pequena, e dessa forma não se torna mais necessário fazer um controle da iluminação natural em função do acionamento ou não do sombreamento, já que os níveis de iluminação tendem a estabilizar para valores maiores de 3 metros de profundidade.

Também se observa na figura que mesmo no verão, quando os níveis de iluminação são maiores, à distância de estabilização é igual ao inverno.

5. PARÂMETROS DA EDIFICAÇÃO

5.1 Iluminação

Com base na norma ASHRAE 90.1 de 2004 [11] observa-se a existência de dois métodos para a definição da potência liberada pelas luminárias em diversos ambientes. O primeiro método é o “Space-by-Space Method” que define uma potência média liberada de 12W/m^2 para escritórios. O segundo método é o “Building Area Method” que define uma potência média liberada de 11 W/m^2 para escritório. Já a ABNT NBR 16401[10] define uma potencia média dissipada de 16W/m^2 para o mesmo tipo de ambiente.

Adotou-se o valor de 12W/m^2 segundo a norma ASHRAE 90.1 de 2004, para as simulações de análise do acionamento das persianas. Porém, será feita uma análise de sensibilidade do parâmetro de iluminação, observando como este afeta o consumo do sistema de climatização e da edificação. Para tal serão analisados três valores, que serão 12, 15 e 18 W/m^2 .

5.2 Pessoas

Quanto à relação de densidade ocupacional em escritórios a norma ABNT NBR 16401[10], apresenta os seguintes valores:

Tabela 2. Valores densidade ocupacional.

Região do prédio	Densidade (pessoas/100m ²)	Densidade (m ² /pessoas)
Hall	10	10
Escritório diretoria	6	16,5
Escritório baixa densidade	11	9
Escritório média densidade	14	7
Escritório alta densidade	20	5

Já com relação ao calor emitido pelas pessoas a ABNT NBR 16401[10] define como atividade moderada em escritórios o valor de 140 W/pessoa . Associando-se este dado com as densidades definidas na tabela 2 é possível obter a potência emitida pelas pessoas e que deve ser retirada pelo sistema de climatização.

Nas simulações a ocupação dos escritórios será variada em conjunto com a carga térmica dos equipamentos, como será detalhado no próximo tópico.

5.3 Equipamentos elétricos

Para o calor emitido pelos equipamentos elétricos, a norma ABNT NBR 16401[10], apresenta uma série de tabelas com diferentes equipamentos e suas respectivas potências. No estudo em questão adotaram-se os valores médios emitidos pelos equipamentos em um escritório, em função da ocupação, já que a maioria dos equipamentos depende do número de pessoas no escritório, valores estes apresentados na tabela 3:

Tabela 3. Valores de emissão de calor nos equipamento elétricos em função da ocupação.

Tipo de Carga	Densidade (W/m ²)	Ocupação (m ² por posto de trabalho)
Leve	5,4	15,5
Média	10,7	11,6
Média/Alta	16,2	9,3
Alta	21,5	7,7

Também será feita uma análise de como estes fatores, equipamentos e ocupação, afetam o consumo do sistema de climatização. Para tal análise serão simuladas edificações com os quatro níveis descritos na tabela 3.

5.4 Envoltória da edificação

Para definir a envoltória do edifício, que é a interface com o meio externo, se utilizou à norma ASHRAE 90.1-2004[11].

A norma estabelece que a área máxima que pode ser ocupada pelo envidraçamento, não deve superar 50% da área lateral do edifício, levando isso em consideração será utilizado no trabalho a porcentagem de 45% da área lateral para envidraçamento.

As análises de eficiência energéticas serão realizadas na cidade de São Paulo, de acordo com a metodologia adotada para avaliação da envoltória. São Paulo esta alocado na zona climática 2. Dessa forma são apresentados os valores dos parâmetros da envoltória definidos na tabela 5.5-2 para esta zona climática.

Para o valor de envidraçamento de 45%, têm-se os seguintes valores retirados da ASHRAE 90.1 de 2004.

Tabela 4. Valores de Coeficiente global de transferência de calor e SHGC para o vidro.

Coeficiente Global de transferência de calor		SHGC	
Fixo	Operável	Todas as Orientações	Orientação-Norte
6,93	7,21	0.25	0.61

Para o caso das propriedades dos materiais opacos, segue abaixo os valores retirados da tabela.

Tabela 5. Valores de Coeficiente global de transferência de calor e Resistência térmica dos materiais opacos.

Elemento	Coeficiente global de transferência de calor	Resistência térmica.
Teto	0.36	2,6
Parede	0,705	2,3
Piso	0.296	3.3

5.5 Geometria do edifício

A edificação a ser estudada terá a forma de um paralelepípedo, os seus cantos cortados formando mais quatro superfícies, obtendo assim um andar com a área em formato de octógono (vide figura 8).

Os lados do andar tipo têm o comprimento de 45m por 35m, com os cantos cortados em 45 graus a 7 metros do canto. O pé direito será de 3,9 m, sendo 1,1 m para o forro e 0,15m para o piso elevado, sendo que estes dois últimos não serão climatizadas. O envidraçamento, que ocupara 40% da área externa do andar, será composto por vidros de altura de 2,3 metros de altura.

Também existe uma área interna ao andar, que não será climatizada e estará localizada no meio do andar, possuindo as dimensões de 21m por 15m, esta área representa o espaço ocupado pelas escadas, elevadores, banheiros, copas e outros ambientes que não possuem climatização.

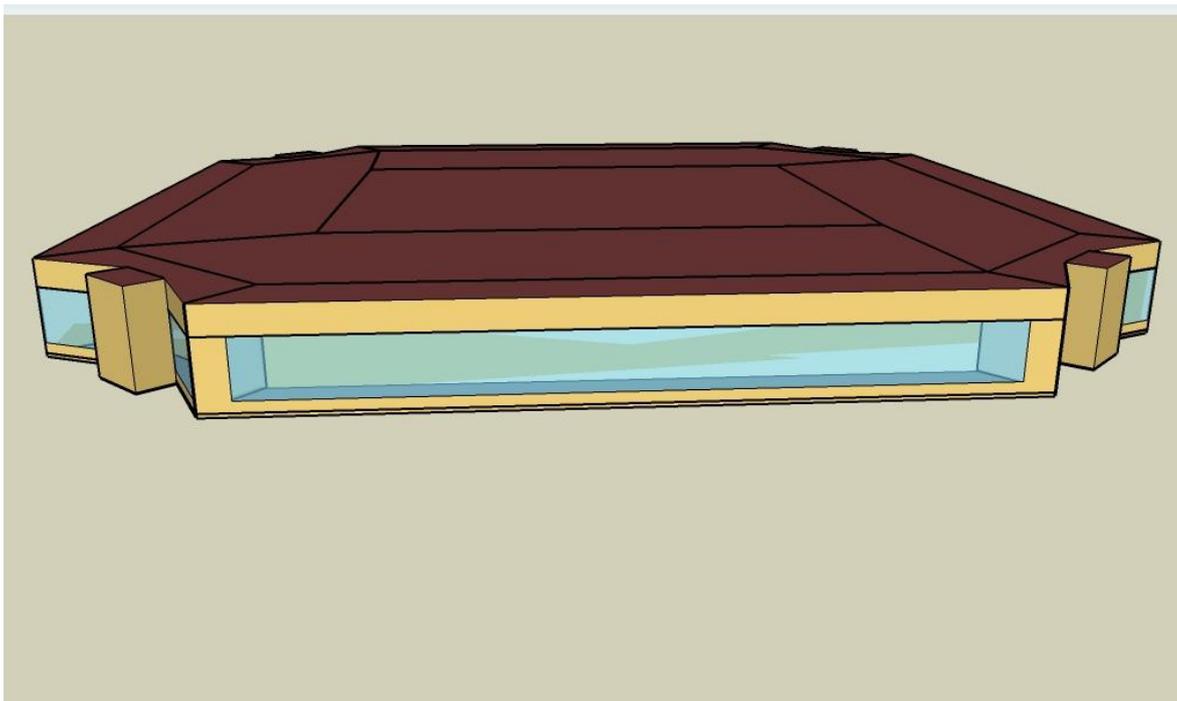


Figura 8. Geometria do pavimento estudado.

5.6 Sistema de climatização

O sistema de climatização utilizado no andar tipo é um sistema de vários split, onde cada zona térmica possui o seu sistema independente. O objetivo é superar as cargas térmicas espaços menores. Estes equipamentos ocupam pouco espaço, o que permite que seja instalado no próprio andar.

O equipamento é composto por um condensador e um evaporador. O condensador fica localizado em contato com o ar externo, o que permite que faça as trocas de calor com o meio externo. Já o evaporador se encontra no interior, resfriando o ar interno.

6. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Para o cálculo do consumo energético do edifício será utilizado o programa de simulação EnergyPlus, programa este desenvolvido pelo Departamento de Energia do governo americano.

Todos os resultados apresentados neste trabalho serão dados obtidos por meio de simulação no EnergyPlus.

6.1 Análise Paramétrica

As primeiras simulações têm como objetivo fazer uma análise paramétrica, para avaliar como as cargas internas afetam o consumo energético do sistema de climatização, foram variados os valores da densidade da iluminação, equipamentos e ocupação. Cujos resultados destas variações podem ser observados na figura 9.

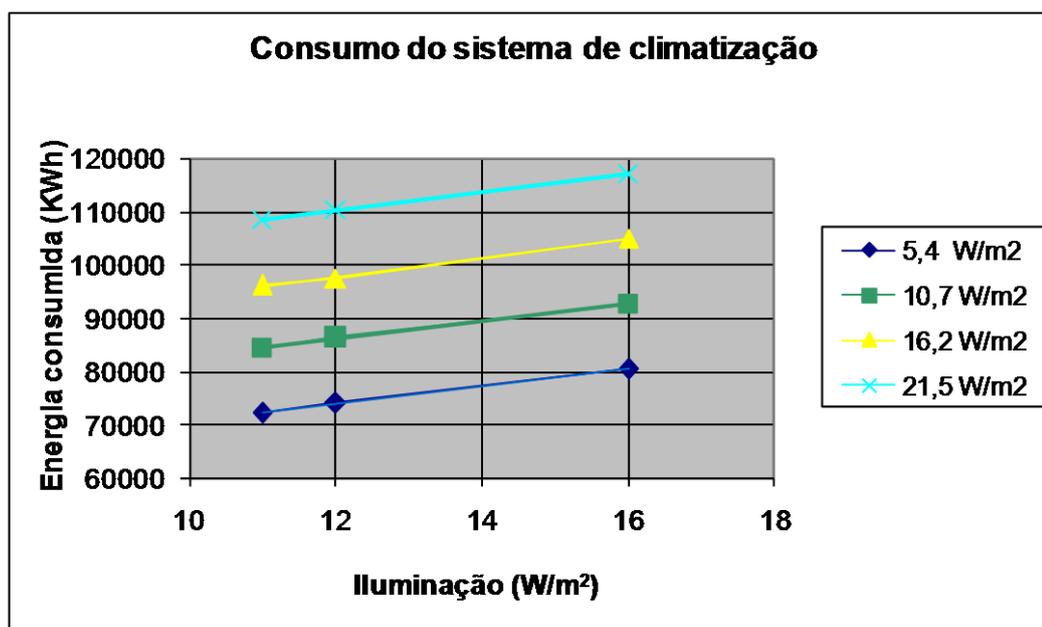


Figura 9. Variação do consumo do sistema de climatização em função das cargas internas.

Como pode ser observado na figura 9, tanto o aumento da densidade de potência de iluminação como o aumento da densidade de potência dos equipamentos proporcionam um aumento significativo no consumo do sistema de climatização. Pode-se perceber que para os parâmetros analisados, a densidade de potência dos equipamentos promove uma maior variação no consumo do sistema de climatização. Isso se deve ao fato que este parâmetro apresentar uma maior amplitude de variação

(mínimo $5,4\text{W/m}^2$ e máxima de $21,5\text{w/m}^2$). Além disso, o aumento da densidade de potência dos equipamentos está vinculado a um aumento da densidade de ocupação de pessoas, que contribui para o aumento da carga térmica devido a fontes internas no ambiente climatizado.

Como estes fatores afetam consideravelmente o consumo do sistema de climatização, para as comparações com acionamento das persianas, estes valores serão mantidos constantes.

6.2 Detalhamento do Caso Base

O caso base é o modelo da edificação com valores a serem definidos, que servirá de comparação para as demais simulações, este modelo tem como base o projeto de uma construção de um prédio na cidade de São Paulo, que possui a geometria da figura 10.

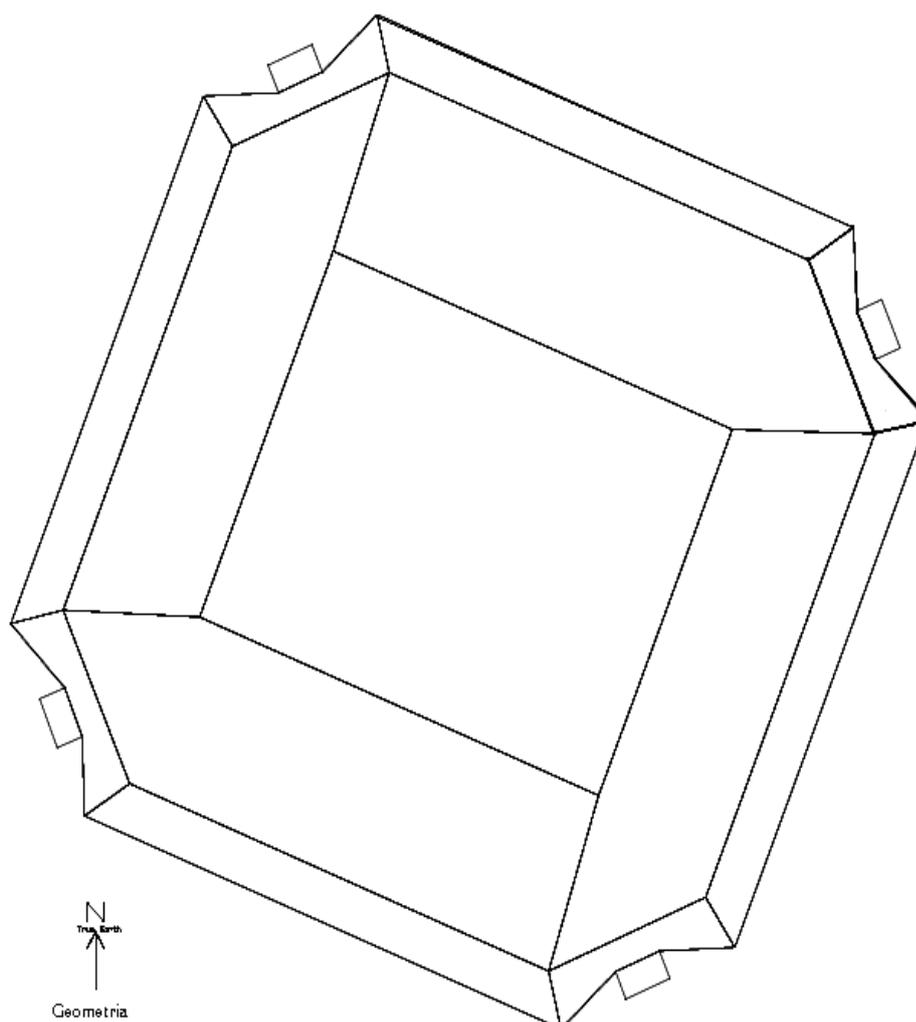


Figura 10. Zonas térmicas do pavimento.

A geometria estudada terá uma zona térmica próxima às fachadas, na qual se estudará a influência da iluminação natural que penetra no ambiente pela área envidraçada. Esta zona térmica possui dois sensores que calcularão a quantidade de lux à altura de uma mesa de trabalho (0,9 metros), conforme se pode visualizar na figura 10.

Para definir qual será o tamanho da zona térmica próxima as fachadas foi analisado a distribuição da luminância dentro do edifício, do qual se obteve a figura 11, na qual se observa a maior luminância obtida dentro do edifício para cada orientação.

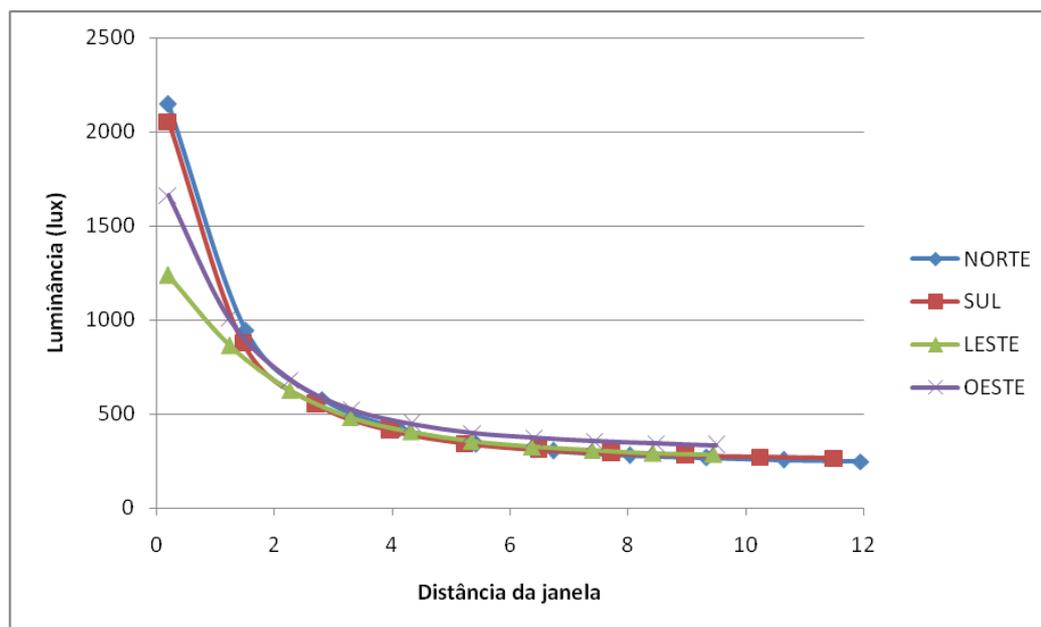


Figura 11. Distribuição da luminância em função da distância da janela.

Observando-se a figura 11 percebe-se que a luminosidade se torna inferior a 500 lux a partir dos 3 metros de distância da fachada, por isso será assumido que a distância das zonas térmicas próximas a fachada terão um comprimento de 3 metros, já que a partir deste distância a luminosidade obtido se torna baixa comparada ao obtido mais próxima da fachada, trazendo dessa forma pouco benefício ao nosso estudo.

Na figura 10 se observa que a geometria apresenta uma inclinação em relação ao norte terrestre, inclinação esta definida na pela posição na qual o edifício será construído. Nela também pode se visualizar que os quatro cantos apresentam uma área que se destaca do andar. Este espaço é utilizado para instalar as unidades condensadoras do sistema de climatização.

Para os parâmetros do caso base da edificação serão assumidos os valores descritos na tabela 7, os quais serão separados em localização, fatores internos e tipo de matérias da envoltória.

O edifício se localiza na cidade de São Paulo, cujos parâmetros de posicionamento estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Localização e inclinação em relação ao norte.

Cidade de São Paulo	
Latitude	23,6
Longitude	46,6
Altitude (m)	803
Inclinação em relação ao norte	
22 graus	

Quanto aos parâmetros internos, serão considerados os seguintes dados:

Tabela 7. Parâmetros internos da edificação.

Ocupação	
Pessoas	9,3 m ² /pessoa
Equipamentos	16,2 W/m ²
Iluminação	12 W/m ²
Temperatura interna	24°C

A parte opaca da estrutura que está em constante troca de calor com o meio externo é composta de três camadas, sendo a camada externa de granito, no meio há uma placa de concreto, e do lado interno da parede o revestimento é feito de gesso. A área envidraçada do andar é constituída de um vidro simples de 10 mm de espessura que possui 2,25 metros de altura e reveste o pavimento inteiro totalizando 45% da área externa, sendo que suas características estão descritas na tabela 8.

Tabela 8. Características do vidro.

Propriedades do vidro	
Espessura (mm)	10
Transmissão de Energia	0,15
Reflexão de Energia	0,36
Absorção de Energia	0,49
Transmissão Luminosa	0,31
Reflexão luminosa Interna	0,1
Reflexão luminosa Externa	0,17
Fator Solar (SHGC)	0,28
Valor U (W/m ² *C)	5,7

6.3 Simulações do sombreamento

Para a simulação do modelo com sombreamento interno, se considerará a iluminação como sendo 12 W/m². Os equipamento e ocupação, de acordo com a

norma ABNT NBR 16401, terão carga Média/Alta, ou seja, $16,2 \text{ W/m}^2$ de equipamentos e uma ocupação de $9,3 \text{ m}^2$ por pessoas.

O objetivo desta simulação é de verificar o impacto provocado pela implantação de um sistema de acionamento das persianas. Este acionamento propicia o fechamento das persianas quando a transmissão de calor pelas janelas ultrapassa um valor pré-determinado. Como o tempo que as persianas ficam fechadas afeta diretamente a entrada de calor pela área envidraçada, será feita uma análise para verificar como a variação do valor de controle de acionamento do fechamento das cortinas, afeta o consumo do sistema de refrigeração.

Para o estudo será utilizada nas simulações uma cortina de alta eficiência refletiva, a qual possui uma película de alumínio na sua fase externa, refletindo com melhor eficiência a radiação solar, cujas características da cortina são apresentadas na tabela 9.

Tabela 9. Características do tecido.

Propriedades do Tecido	
Espessura (mm)	0,5
Transmissão à radiação solar	0,06
Refletância à radiação solar	0,77
Transmissão Luminosa	0,06
Reflexão luminosa	0,76
Condutividade ($\text{W/m}^*\text{K}$)	0,2

Serão analisados cinco valores diferentes para o controle das persianas, o primeiro será a situação em que não existe acionamento, que é o caso base que mantém as persianas abertas o tempo todo, essa situação representa a máxima transmissão de calor, sendo assim a condição de máximo consumo do sistema de climatização. Para as demais situações, as persianas serão acionadas quando a incidência solar na parte externa do vidro ultrapassar o valor definido para o controle. Para o estudo em questão serão analisados os valores de 50, 100, 150 e 200 W/m^2 , para estas variações foram obtidos o consumo total do edifício e o consumo do sistema de climatização ao longo dos 12 meses de um ano típico para a cidade de São Paulo (vide figura 12).

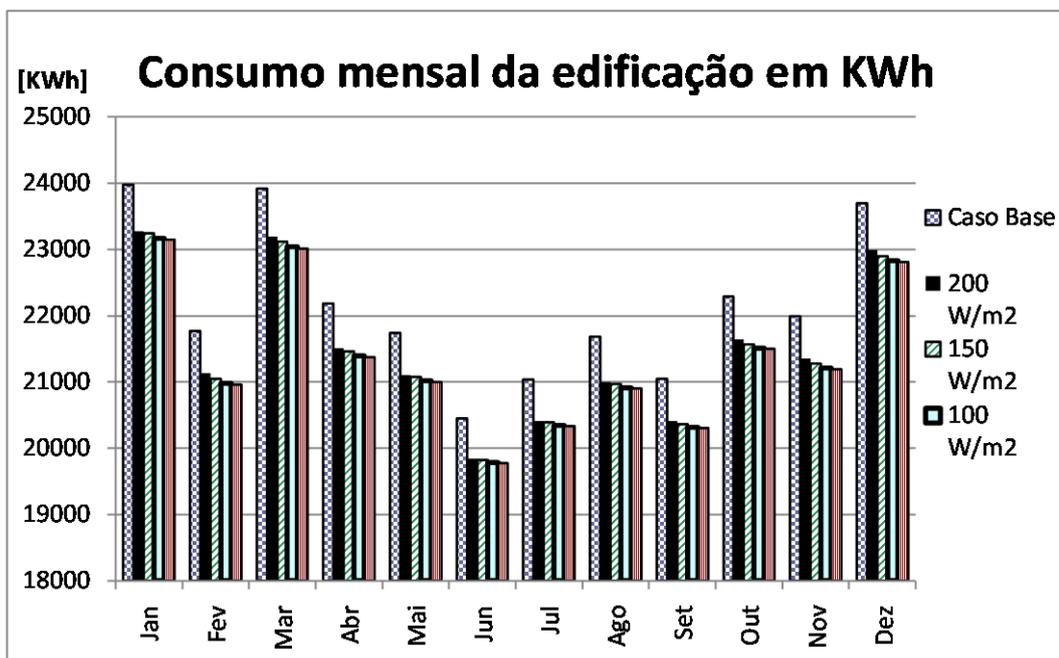


Figura 12. Consumo mensal do edifício para diferentes níveis de controle do sistema de sombreamento.

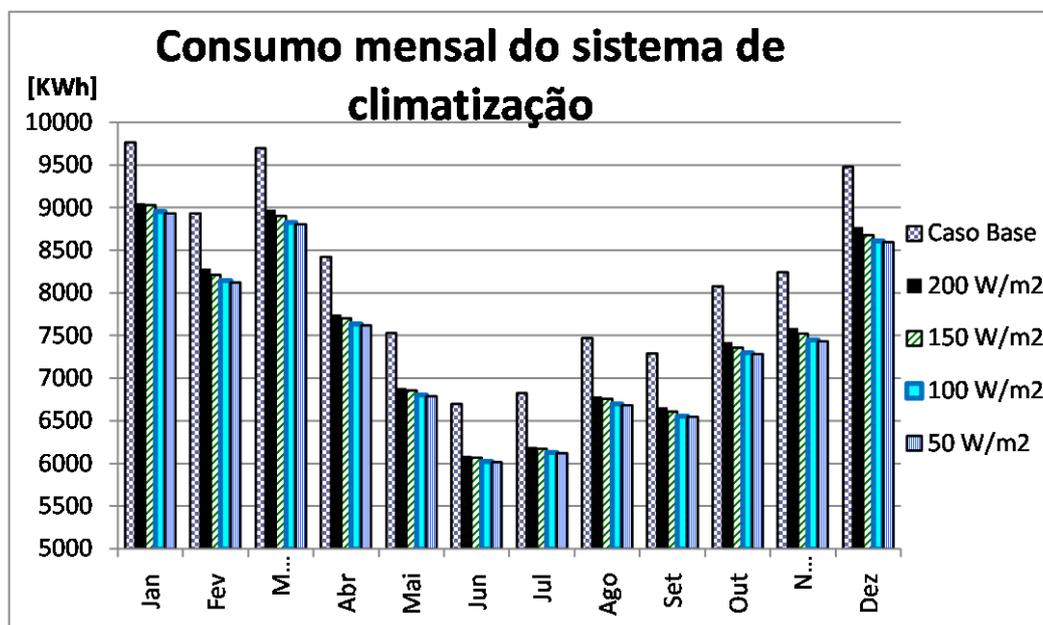


Figura 13. Consumo mensal do sistema de climatização.

As figuras 12 e 13 apresentam o consumo da energia elétrica do edifício padrão, sendo que o consumo do sistema de climatização representa aproximadamente 35-40% do consumo total do edifício. Observa-se também que no inverno o consumo do sistema de climatização se torna menor como já era esperado. Essa redução no inverno é de aproximadamente 30% no consumo do sistema de climatização em relação ao período do verão.

O ganho obtido com o sombreamento das janelas pode ser observado na figura 14, no qual esta a porcentagem reduzida no consumo do sistema de climatização para todos os meses do ano.

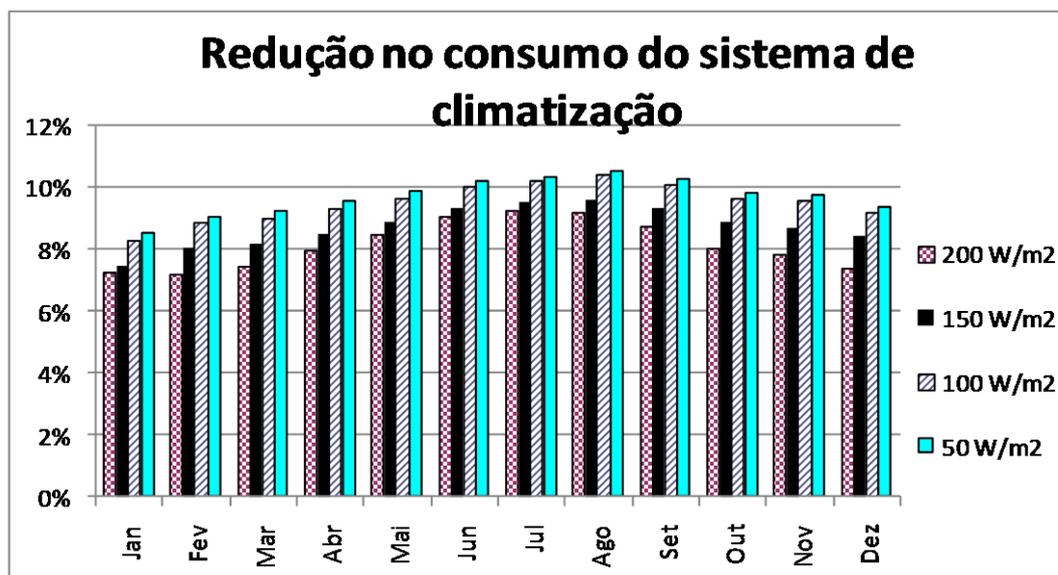


Figura 14. Redução no consumo mensal do sistema climatização.

A redução no consumo da energia elétrica é de aproximadamente de 7 a 10,6% do consumo no sistema de climatização, e de 3,0 a 3,5% na redução do consumo total do edifício, também se verifica que quanto maior for o valor do “setpoint” de acionamento das cortinas, menor será o benefício proporcionado por este, já que permitirá a entrada de maior radiação na edificação.

Pode-se observar que no inverno a redução provocada no sistema de climatização é maior do que no verão, no entanto, deve se lembrar que no inverno o consumo é menor, ou seja, mesmo proporcionando uma porcentagem maior de redução a redução absoluta no sistema de climatização é inferior ao obtido nos meses mais quentes do ano.

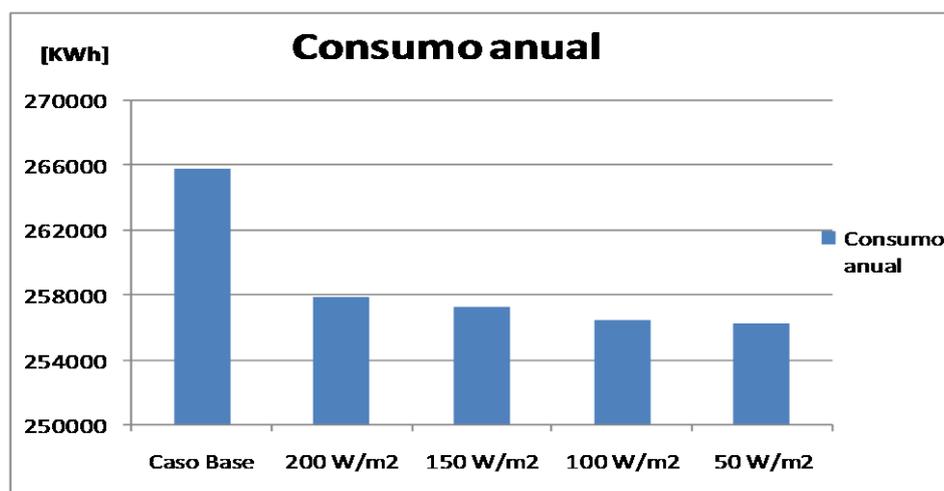


Figura 15. Redução total no consumo anual do andar tipo.

Para o caso anual a redução obtida no consumo para o “setpoint” de acionamento igual a 200, 150, 100 e 50 W/m² foi respectivamente de 8,1%, 9,5%, 10,4% e 10,7% para o consumo do sistema de climatização, e de 3,0%, 3,3%, 3,6% e 3,7% para a redução do consumo total do edifício.

Com o intuito de verificar o comportamento da edificação em relação ao controle de acionamento das cortinas, e avaliar para qual valor da variável de controle das cortinas, atinge-se o menor consumo energético do edifício, simulou-se a comportamento da edificação para inúmeros valores de controle, com os quais se obteve a figura 16.

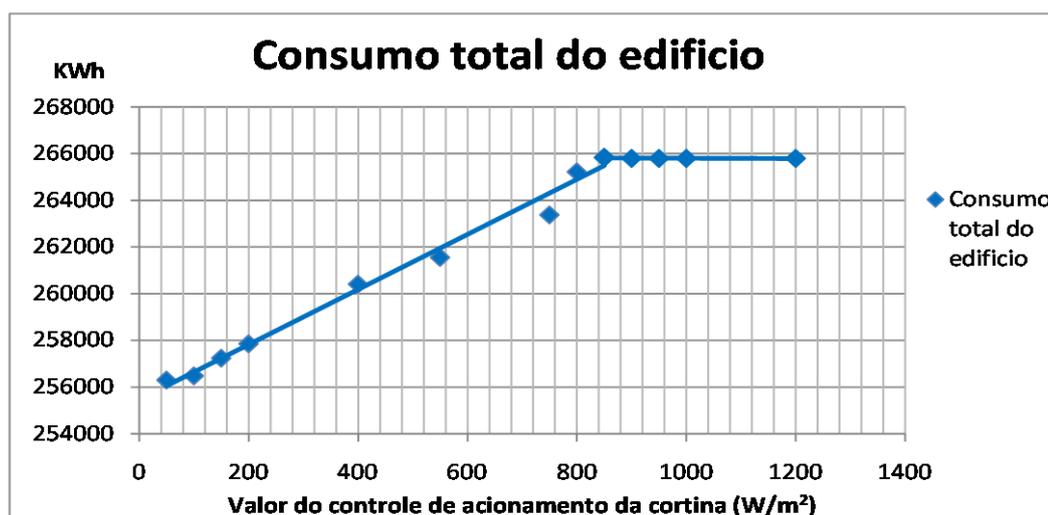


Figura 16. Comportamento do consumo da edificação em relação ao controle de acionamento.

Na figura 16 verifica-se que o consumo energético total do edifício apresenta uma relação praticamente linear com o valor do controle de acionamento das

cortinas. Essa relação se mantém até o valor de aproximadamente 880 W/m^2 , que é o valor máximo da radiação solar na cidade de São Paulo, por isso para valores superiores a 880 W/m^2 as cortinas deixam ser acionadas ou serão muito pouco utilizadas, o que se iguala ao caso base que não possui acionamento das cortinas.

Portanto como a relação de consumo é praticamente linear em relação ao valor do controle de acionamento das cortinas, se deve procurar sempre manter o mínimo valor no controle das cortinas.

6.4 Simulações do sombreamento com dimerização da iluminação.

Como o acionamento das cortinas afeta a entrada da luz natural, realizou-se uma análise da implantação do sistema de acionamento das cortinas e do sistema de dimerização da iluminação artificial, em relação ao de um edifício que não possua estes sistemas.

O programa utilizado para simulação possui a opção de fazer a dimerização por três métodos diferentes. A primeira é uma dimerização linear com um ponto mínimo de parada, que determina o ângulo de inclinação da dimerização, nesta opção utilizará o ponto de parada como sendo 30% do consumo de eletricidade da iluminação total, e 20% da capacidade de iluminação. A segunda opção faz a dimerização da iluminação por etapas, sendo o número de etapas pré-determinado até que a iluminação seja totalmente dimerizada, ou seja, desligando a iluminação, para este estudo serão utilizados três níveis de dimerização. A terceira opção faz a dimerização linearmente até atingir o desligamento total da iluminação.

Por motivos de salubridade em ambientes de trabalho em edifícios comerciais uma luminância de 500 lux no ambiente de trabalho. Dessa forma, define-se este valor para o controle da dimerização, ou seja, a iluminação artificial terá a função de complementar à iluminação natural até que os 500lux sejam atingidos. Quando a iluminação natural for superar os 500 lux a iluminação artificial estará no seu menor consumo.

A distância das fachadas, em que o sistema de dimerização da iluminação é utilizado, varia entre edifícios. Neste estudo, será considerada uma distância das fachadas da atuação do sistema de dimerização de 2,5 metros.

6.4.1 Primeira opção de dimerização da iluminação.

A primeira opção irá dimerizar a iluminação linearmente até o mínimo de 30% do seu consumo, mantendo 20% da sua capacidade de iluminação, para a área definida por uma distância de 2,5 m das fachadas. Também será feita a análise de como o sistema de dimerização é afetado pelo controle das cortinas, conforme mostra a figura 17.

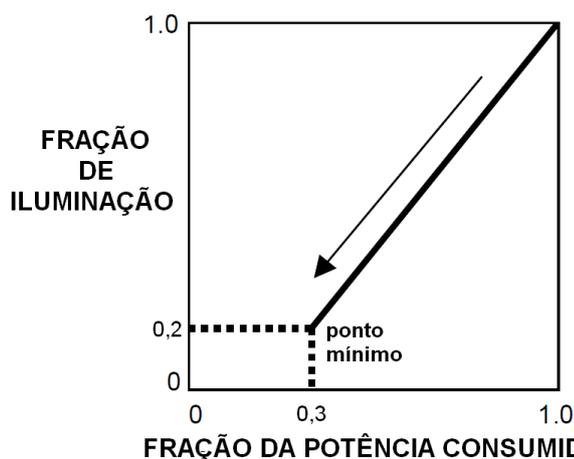


Figura 17. Condições da primeira opção de dimerização da iluminação.

A redução mensal para cada “setpoint” de acionamento das cortinas pode ser observada nas figuras 18 e 19.

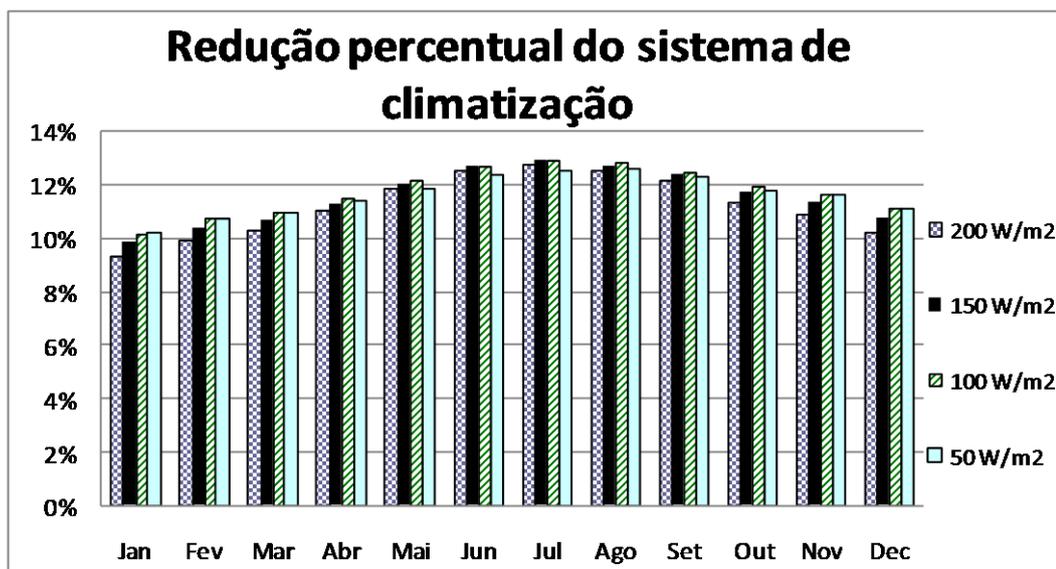


Figura 18. Redução percentual do sistema de climatização para da primeira opção de dimerização.

Analisando os resultados apresentados na figura 18, se verifica que a distribuição mensal ao longo do ano do consumo do sistema de climatização é semelhante ao observado sem a dimerização luminosa. No entanto, se observa um

aumento na redução do consumo do sistema de climatização, que é proporcionada pela diminuição da radiação proveniente da iluminação artificial, o que diminui a carga térmica interna. Isso gera reduções no consumo do sistema de climatização entre 9% a 13%.

Conforme analisado na figura 14, quando se reduz o “setpoint” de acionamento das cortinas a porcentagem de redução do consumo em relação ao caso base aumenta. Esse comportamento continua ocorrendo para o “setpoint” de 150 e 200 W/m², no entanto, para o “setpoint” de 50 e 100 ocorre uma alteração no comportamento esperado. Nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro o comportamento é como esperado, ou seja, a redução obtida pelo “setpoint” de 50W/m² é superior ao “setpoint” de 100W/m², mas para o restante do ano essa situação se inverte. Esse comportamento inesperado nos meses de março a novembro, que são os meses de menor consumo do sistema de climatização, é explicado porque a redução proporcionada pela redução do calor emitido pelo sistema de iluminação artificial é maior que a redução do calor que atravessa as janelas.

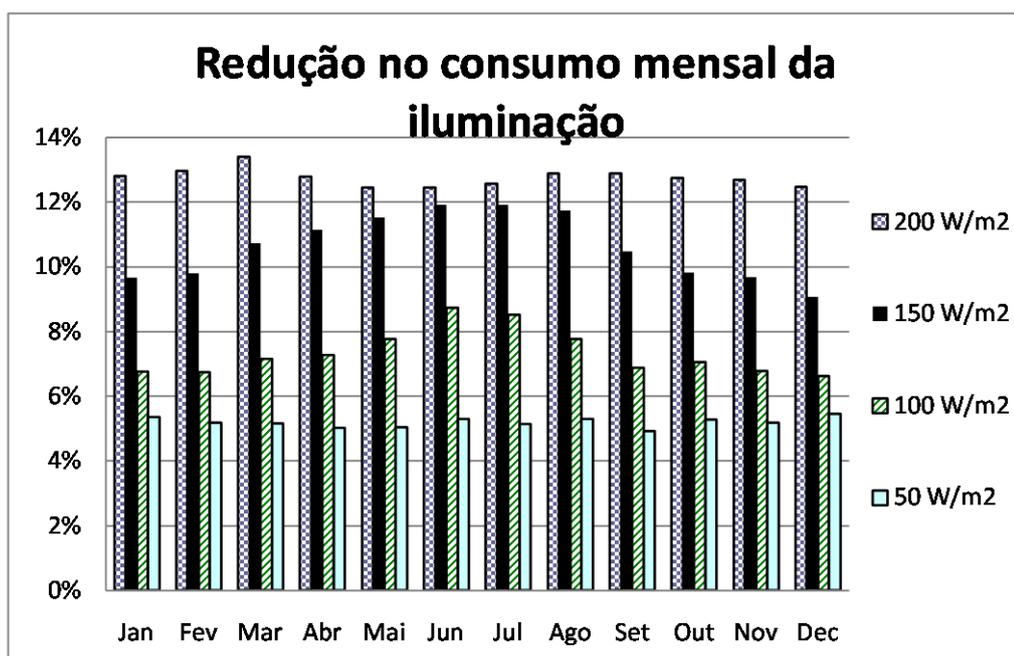


Figura 19. Redução no consumo da iluminação para a primeira opção de dimerização.

Quanto à iluminação (figura 19), se observa que quanto maior for o valor de controle do acionamento das cortinas menor é o consumo da iluminação,

contrariamente ao que acontece com o consumo do sistema de climatização. A redução no consumo energético da iluminação artificial se deve a que quanto mais tempo a persiana permanecer levantada maior será a entrada da luz natural, ou seja, para maiores valores do “setpoint” de acionamento das cortinas mais tempo a cortinas ficará aberta o que diminui o consumo em iluminação artificial.

Observa-se que para os “setpoint” de 50, 100, 150 W/m² a redução percentual da iluminação artificial aumenta nos períodos de inverno. Esse fato é provocado porque no inverno a radiação solar é menos intensa, o que faz com que as cortinas permaneçam abertas por um período maior, o que aumenta o período de incidência da luz natural no andar tipo. Para o caso do “setpoint” de 200 W/m² a redução se torna aproximadamente constante em todos os meses.

A redução no consumo da iluminação artificial varia entre 4,8% e 13,5%, valores inferiores a redução do sistema de climatização. No entanto, a redução da iluminação artificial apresenta maior amplitude que a do sistema de climatização, ou seja, a variação em relação ao caso base é maior para o sistema de climatização, mas a variação entre os diferentes “setpoint” é maior para o sistema de iluminação artificial. Para verificar como o consumo total varia, se obteve figura 20.

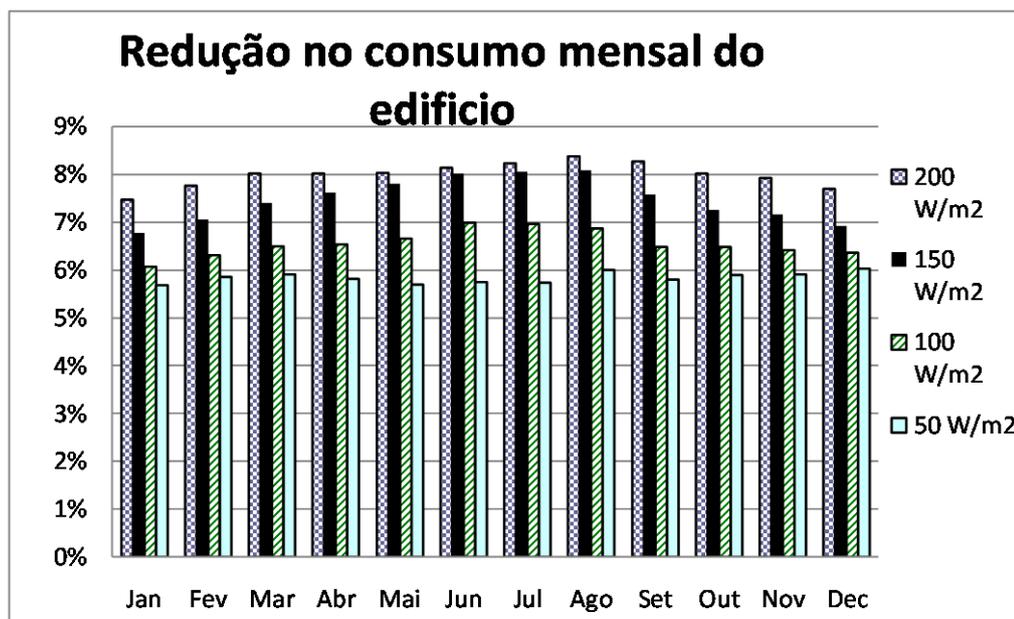


Figura 20. Redução mensal na edificação para a primeira opção de dimerização.

Observando a redução total, se verifica que a redução no consumo diminui quando se reduz os valores de controle do acionamento das cortinas. O motivo disso

foi mostrado anteriormente, a variação da redução proporcionada na iluminação artificial é maior que a variação da redução provocada no sistema de climatização, dessa forma à medida que os valores de controle diminuem a redução no consumo também diminui, provocando uma redução entre 5,7% e 8,4% no consumo total do andar tipo.

Percebe-se que para o caso com dimerização da iluminação, não se percebe mais uma diferença no consumo total do andar tipo entre o inverno e o verão, isso se deve ao fato da redução no consumo do sistema de climatização ser maior no verão do que no inverno, mas no caso da redução no consumo da iluminação ocorre o inverso, a redução do consumo é maior no inverno do que no verão. Essa diferença no comportamento dos sistemas estudado faz com que a redução no consumo do andar tipo, se mantenha relativamente contínuo ao longo do ano todo.

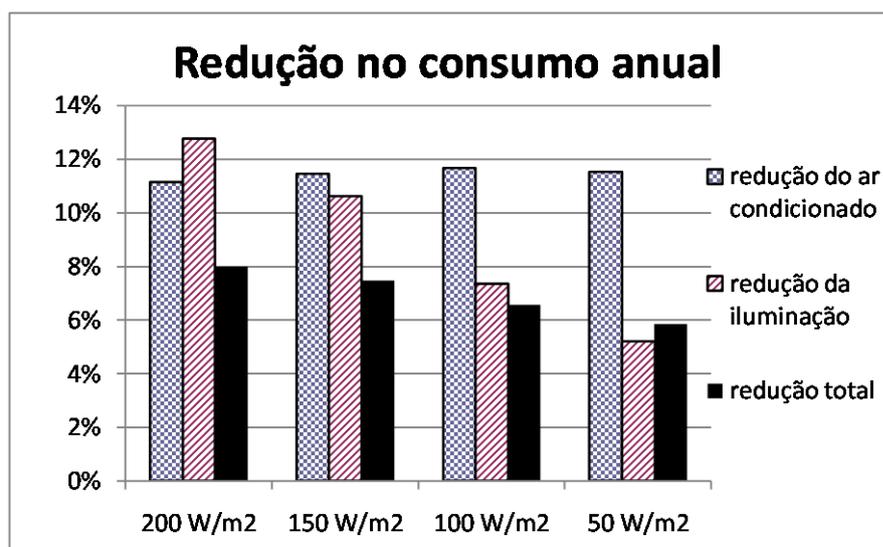


Figura 21. Redução anual para a primeira opção de dimerização.

A redução anual do andar tipo é de 8,0%, 7,5%, 6,6% e 5,9% respectivamente da esquerda para direita na figura 21.

6.4.2 Segunda opção de dimerização da iluminação.

A segunda opção da dimerização faz a dimerização por etapas, e no caso em questão serão utilizadas três etapas, em que as se a luminância no ambiente estiver entre 0 e 166,7 lux não haverá dimerização da iluminação, ou seja, funcionará com a capacidade máxima da iluminação, já quando a luminância estiver entre 166,7 e

333,3 lux será utilizado dois terço da capacidade do sistema de iluminação, quando a luminância atingir valores entre 333,3 e 500 lux o sistema de iluminação operará em um terço de sua capacidade, e quando a luminância ultrapassar o valor de 500 lux a iluminação será desligada.



Figura 22. Condições da segunda opção de dimerização.

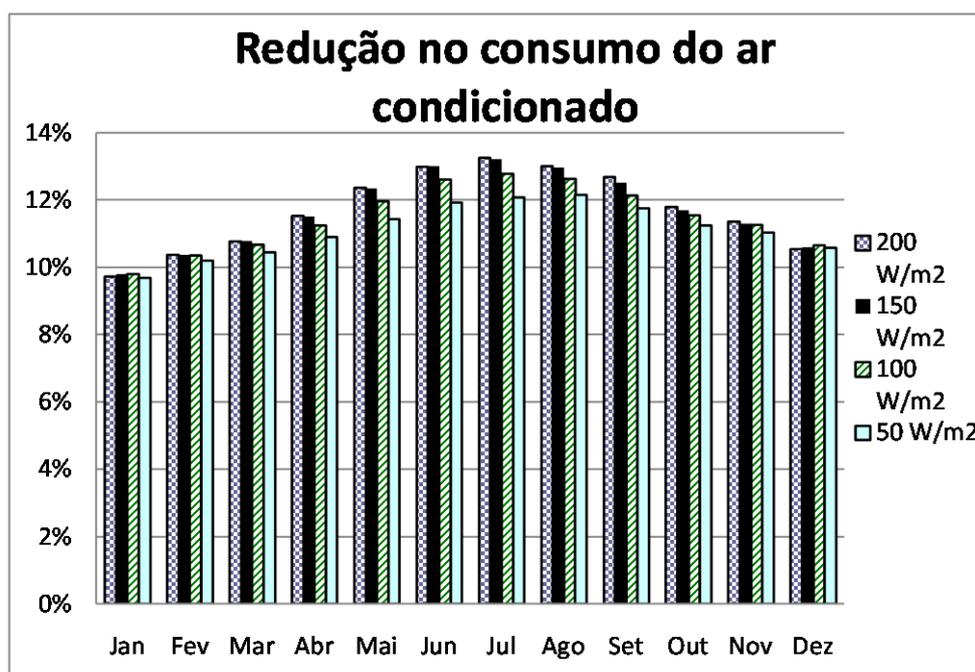


Figura 23. Redução no consumo mensal do sistema de climatização para a segunda opção de dimerização.

A redução do sistema de climatização é semelhante ao que aconteceu com a redução do sistema de climatização da primeira opção de dimerização, sendo esta redução também superior ao controle das cortinas sem dimerização da iluminação pelas razões apresentadas anteriormente.

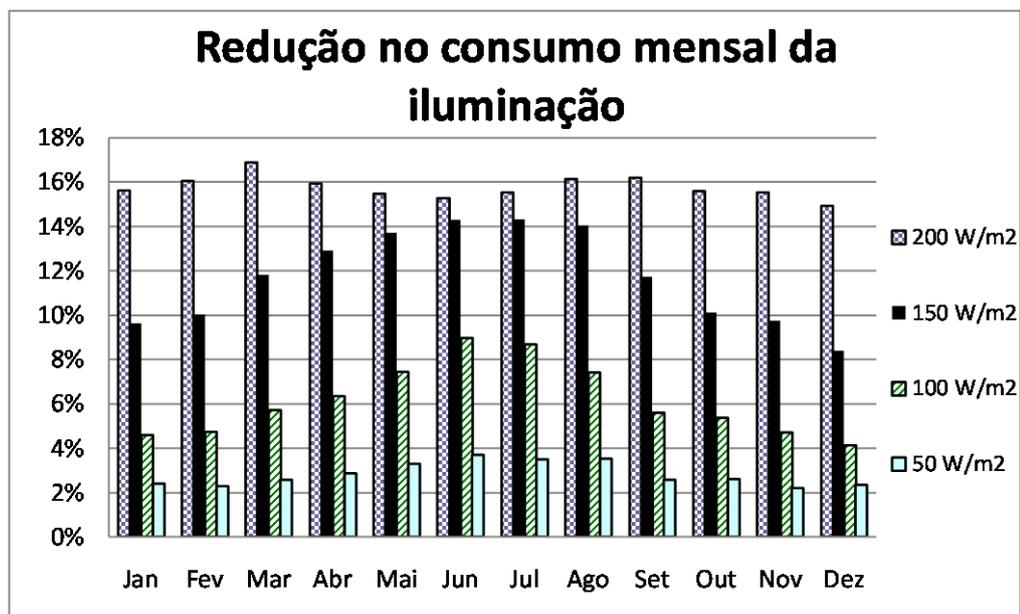


Figura 24. Redução no consumo mensal da iluminação para a segunda opção de dimerização.

Com relação à iluminação, percebe-se que o comportamento é semelhante ao apresentado na primeira opção de dimerização, no entanto se observa que a redução obtida para os controles das cortinas em 200 e 150 W/m² aumentou, o que pode ser explicado pelo fato de neste caso a iluminação pode ser desligada se a luminância proporcionada pela luz natural ultrapassar os 500 lux, o que torna o consumo mínimo mais baixo do que na opção anterior.

No entanto para o caso do controle das cortinas em 100 W/m² não são observadas diferenças entre as duas opções analisadas, já para o controle em 50 W/m² observa-se que a redução proporcionada com a segunda opção de dimerização é inferior a obtida com a primeira opção de dimerização. Este fato se deve a que como as cortinas são fechadas rapidamente a luz natural não supera os 500 lux por muito tempo, então o sistema opera a maior parte do tempo em alguma etapa intermediária, não atingindo o desligamento total da iluminação artificial, o que mantém um consumo de iluminação maior do que se fosse um controle linear. Estas variações fazem a redução da iluminação variar entre 2,2% e 16,2%.

Com essas mudanças se obtém a redução total do andar tipo conforme apresentado na figura 25.

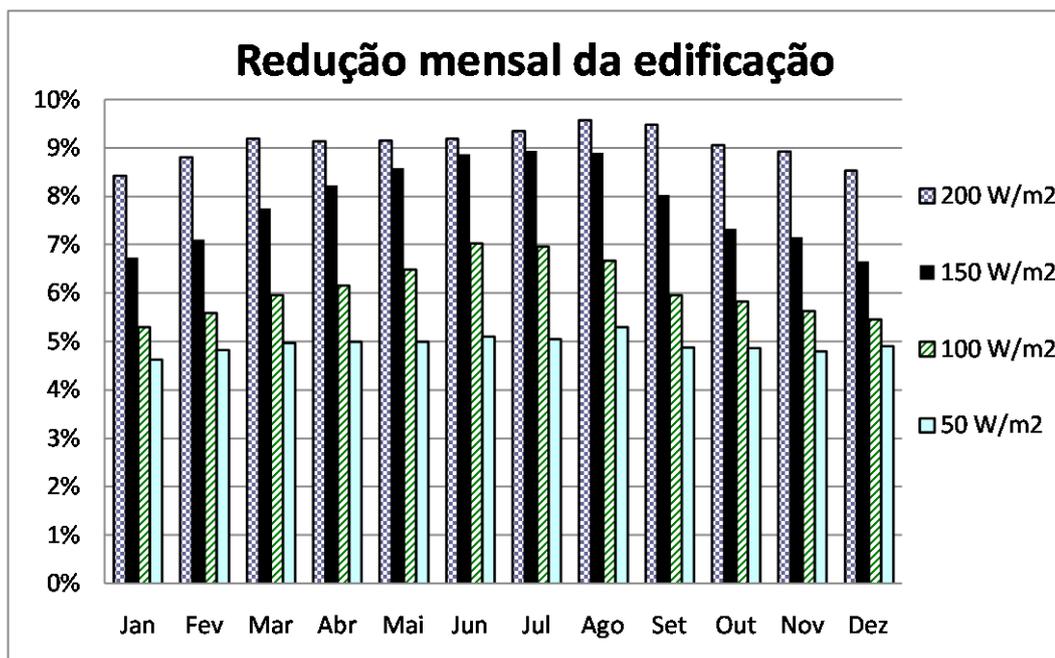


Figura 25. Redução no consumo mensal do edifício para a segunda opção de dimerização.

Devido ao fato do sistema de sistema de climatização não ter sofrido mudanças consideráveis, a redução total do andar tipo apresenta as mesmas mudanças apresentadas no estudo da iluminação. Com essas mudanças há uma variação entre 4,8% e 9,7% do consumo total do andar tipo.

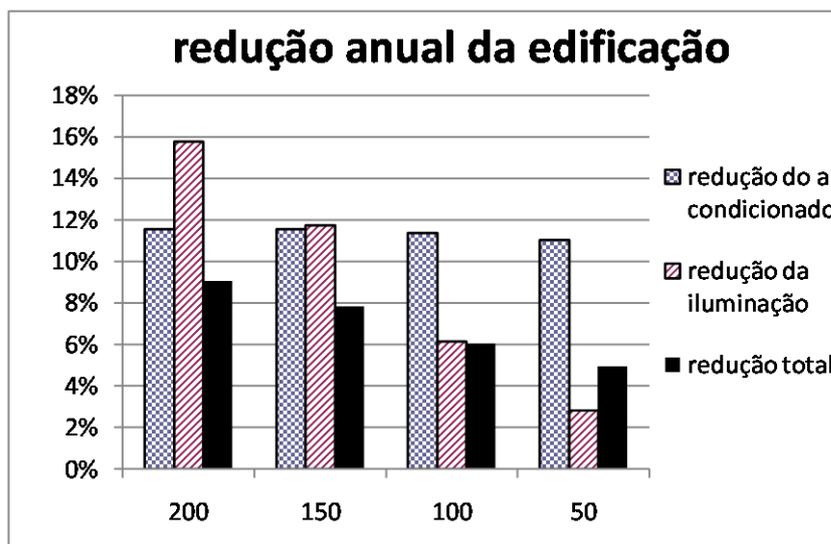


Figura 26. Redução anual para a segunda opção de dimerização.

Na figura 26 se pode observar que a redução total proporcionada pelos “setpoint” 200 W/m², 150 W/m², 100 W/m² e 50 W/m² é respectivamente 9,1%, 7,8%, 6,1% e 5% do consumo total da edificação.

6.4.3 Terceira opção de dimerização da iluminação.

A terceira opção de dimerização faz a dimerização da iluminação artificial linearmente até o desligamento total desta, ou seja, a terceira opção de dimerização se comporta semelhante à primeira opção de dimerização só que apresenta o ponto mínimo com sendo a origem, sendo assim o ponto mínimo faz o desligamento total da iluminação artificial, tendo uma potência de consumo e uma iluminação nula quando a luminância dentro do edifício ultrapassa os 500 lux.

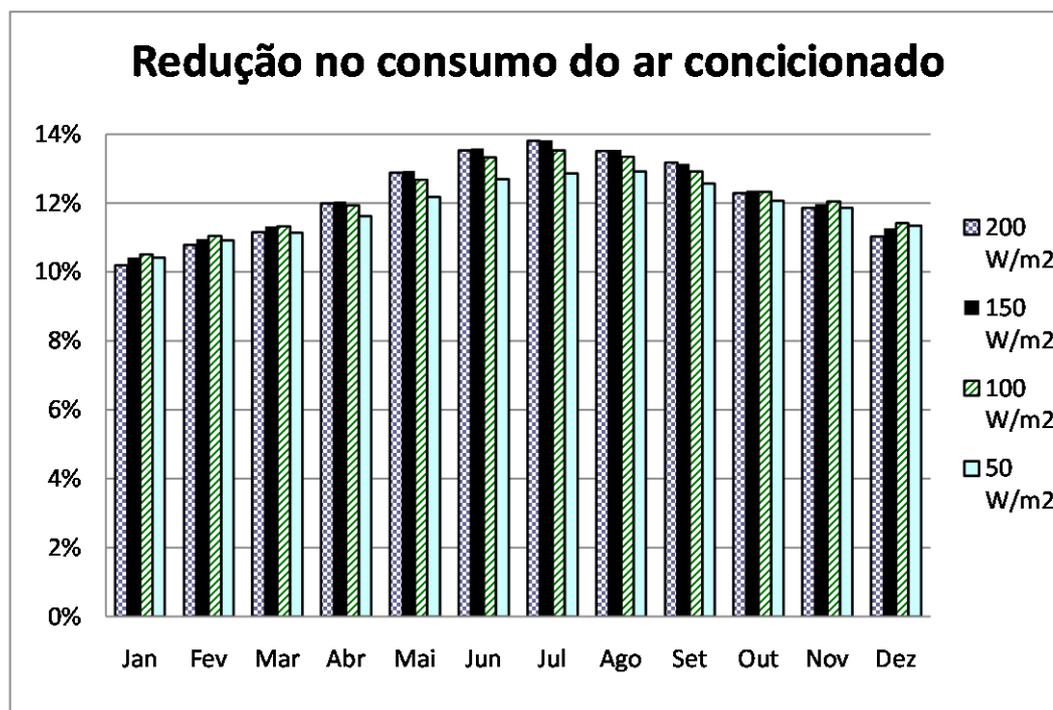


Figura 27. Redução no consumo mensal do sistema de climatização para a terceira opção de dimerização.

A redução do sistema de climatização é semelhante ao que acontece com a redução do sistema de climatização na primeira e segunda opção de dimerização, no entanto esta é um pouco superior e apresenta variações entre 10,0% e 14% do consumo do sistema de climatização.

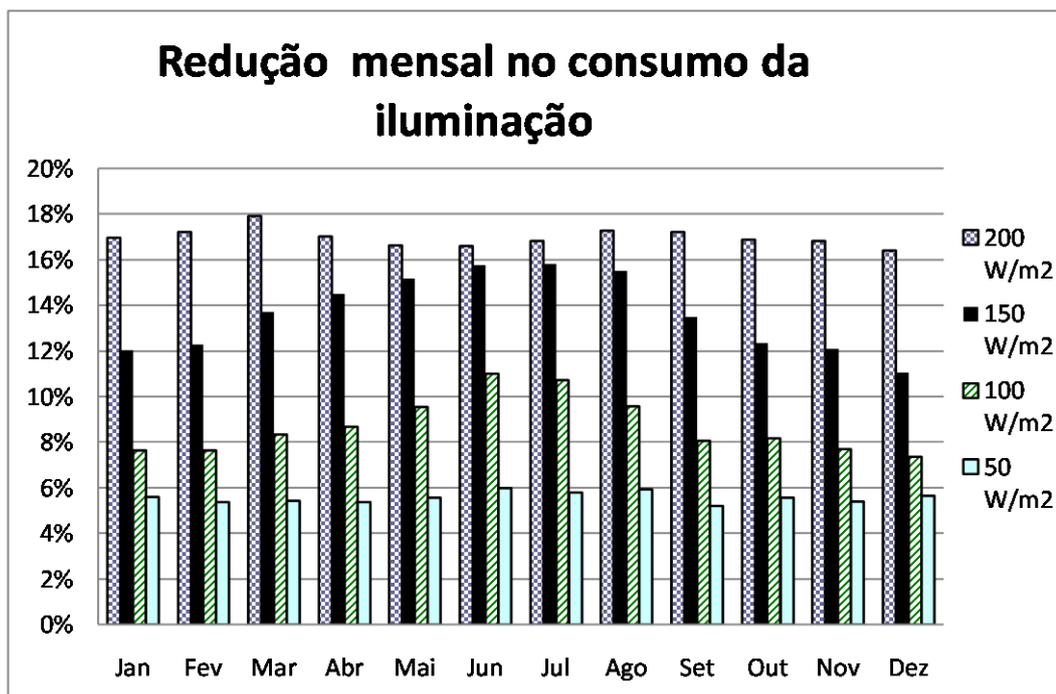


Figura 28. Redução no consumo mensal da iluminação para a terceira opção de dimerização.

Neste caso, a redução da iluminação artificial apresentou melhores resultados do que as outras duas opções de dimerização para os quatro distintos tipos de controle de acionamento das cortinas, o que demonstra que a dimerização linear é melhor do que utilizar a dimerização por etapas. Percebe-se que houve melhora de rendimento também para o “sepoint” de 50W/m^2 , isso demonstra que de fato a piora deste parâmetro de controle no segundo tipo de dimerização, se deve ao fato de que a iluminação trabalha em alguma das etapas intermediárias, não no desligamento total da iluminação artificial, o que mantém o consumo elevado quando a cortina é fechada muito rapidamente.

Juntando-se a melhora nos dois sistemas estudados o benefício obtido é uma melhora na redução total do edifício, que pode ser observada na figura 29, e que apresentada uma redução total no andar tipo ficar entre 4,8% e 10%.

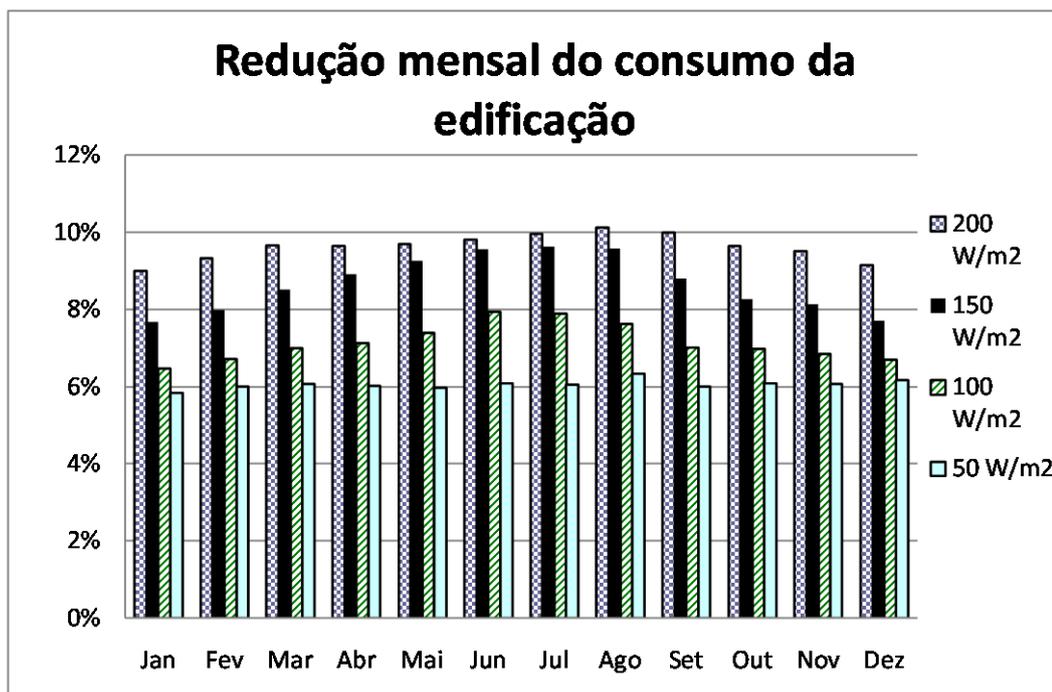


Figura 29. Redução no consumo mensal da edificação para a terceira opção de dimerização.

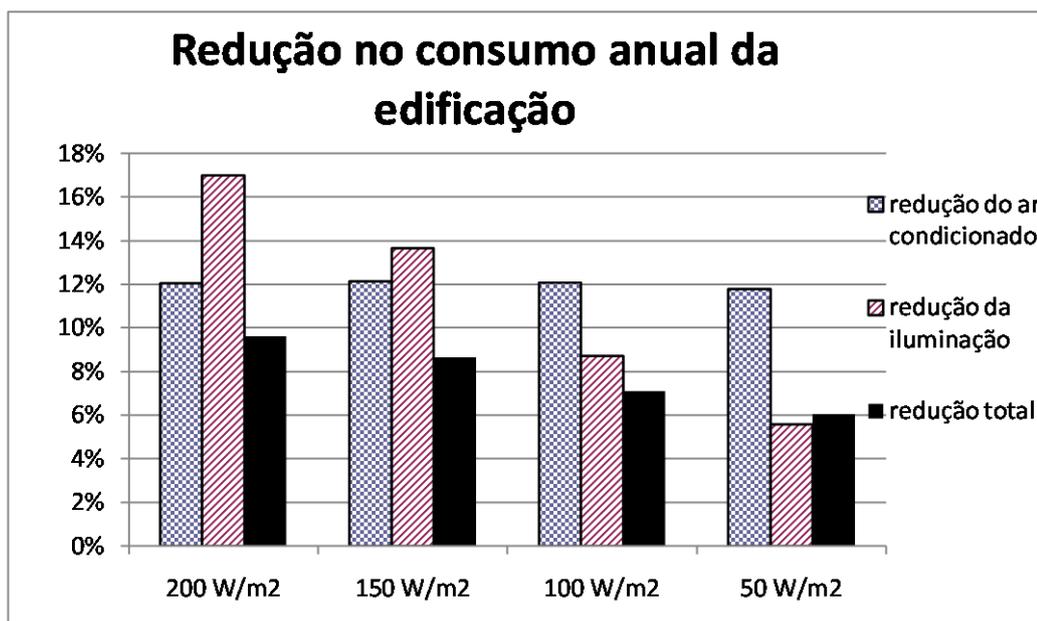


Figura 30. Redução anual para a terceira opção de dimerização.

Na figura 30 se observa a redução anual para a terceira opção de dimerização da iluminação artificial, nela se percebe uma melhor eficiência, que proporciona uma redução de 9,6%, 8,7%, 7,1% e 6,1% respectivamente da direita do gráfico para a esquerda deste.

6.5 Ponto ótimo

Ao se analisar como cada parâmetro estudado interfere no consumo de energia da edificação, percebe-se que ao acionar as cortinas se reduz a entrada de radiação solar, diminuindo o consumo do sistema de climatização da edificação, no entanto também se reduz a parcela de iluminação natural que entre no ambiente, aumentando o consumo da iluminação artificial. Portanto quando acionamos as cortinas reduzimos o consumo do sistema de refrigeração, mas deixamos de economizar na iluminação artificial.

Levando-se em consideração que há um conflito de ganhos ao se acionar a cortina, se buscará encontrar neste tópico o ponto de equilíbrio entre o consumo do sistema de refrigeração e o consumo com iluminação, para tanto se simulará a edificação para vários valores do controle de acionamento entre 50 W/m² e 900 W/m², que conforme definido na Figura 16 é a partir dos 900 W/m² que o acionamento das cortinas deixa de apresentar resultados, portanto não interfere mais no consumo energético da edificação.

Para a primeira opção de dimerização obteve-se o resultado apresentado na figura 31.

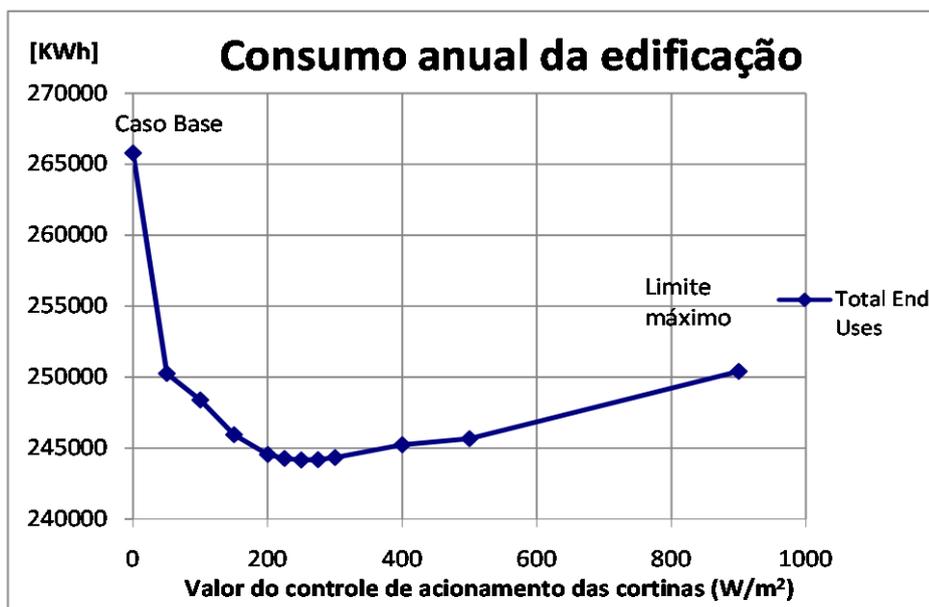


Figura 31. Consumo energético anual para a primeira opção de dimerização.

O primeiro valor apresentado no gráfico é o valor do caso base, ou seja, é um valor de consumo que não apresenta nem acionamento das cortinas nem redução da

iluminação artificial, o último valor representa o máximo valor de controle de acionamento das persianas, ou seja, representa o pavimento típico sem o acionamento das cortinas, tendo assim a máxima redução na iluminação artificial.

Observando a curva acima se nota que o ponto de mínimo consumo encontra-se entre 250 e 275 W/m^2 , ou seja, para se obter o melhor rendimento do controle de acionamento se deve manter o controle dentro deste intervalo.

Para a segunda opção de dimerização obteve-se a seguinte curva.

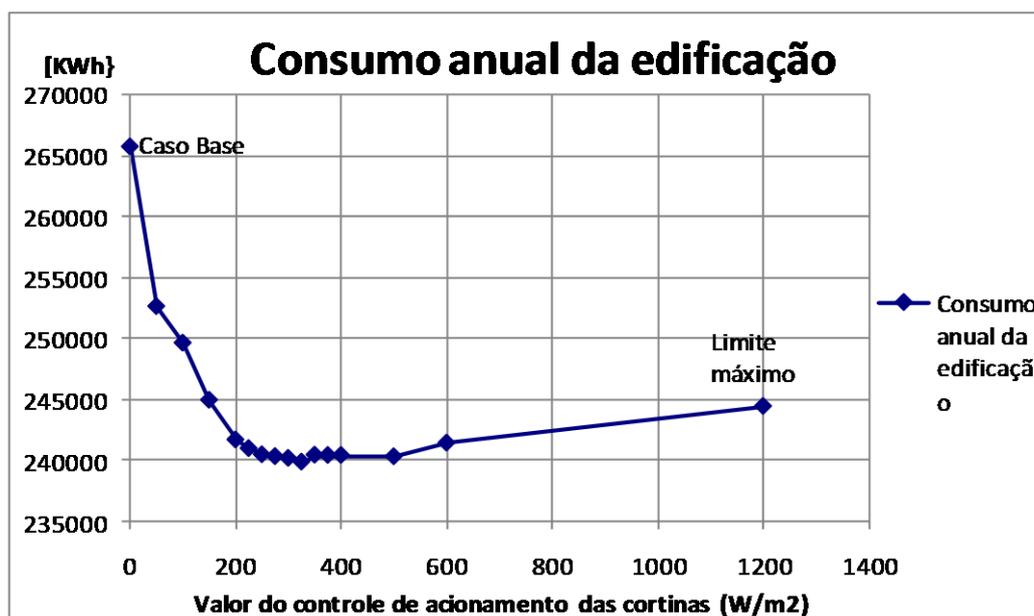


Figura 32. Consumo energético anual para a segunda opção de dimerização.

Observando a curva para a segunda opção de dimerização se nota que o ponto de mínimo consumo encontra-se entre 300 e 325 W/m^2 , que é um pouco superior ao encontrado no caso de dimerização segundo a primeira opção.

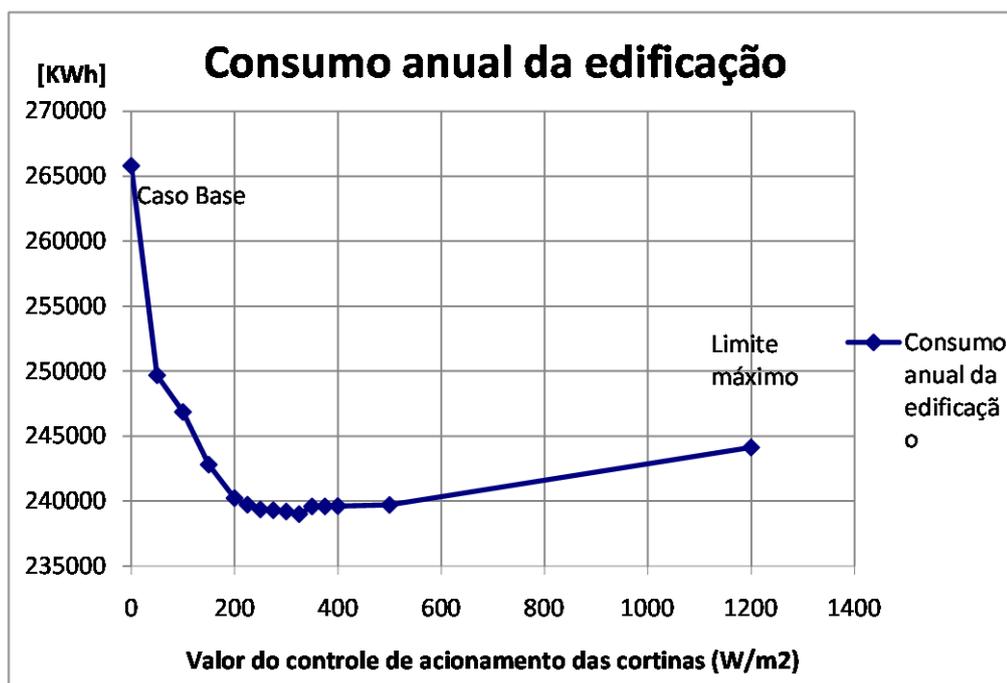


Figura 33. Consumo energético anual para a terceira opção de dimerização.

Observando-se a curva para a terceira opção de dimerização se nota que o ponto de mínimo consumo encontra-se entre 325 e 350 W/m².

Analisando-se os três gráficos percebe-se que o ponto ótimo para o controle de acionamento das cortinas se encontra entre 200 e 300 W/m², sendo que este ponto ótimo proporciona reduções máximas no consumo energético da edificação conforme a tabela abaixo.

Tabela 10. Porcentagem de redução energética no consumo total da edificação no ponto ótimo.

Tipo de redução na iluminação artificial	Porcentagem máxima de redução energética.
Primeira opção	8,1 %
Segunda opção	9,7 %
Terceira opção	10,1%

6.6 Comparação em diferentes cidades

Foram realizadas duas simulações em duas cidades para observar-se como o clima interfere na eficiência do controle de acionamento das cortinas, as duas cidades escolhidas foram Recife, no nordeste brasileiro, e Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, as simulações foram feitas para a edificação sombreada e para a

terceira opção de dimerização da iluminação artificial, pois foi esta a opção que forneceu a maior redução de consumo total, como mostra a tabela 10.

O objetivo é observar como o sistema é afetado por um clima mais quente, que é o caso de Recife em Pernambuco, e como este sistema é afetado por um clima mais frio, que seria o caso de Santa Maria no Rio Grande do Sul.

Primeiramente serão apresentados os resultados para a cidade de Recife, valores estes que podem ser visualizados na figura 34.

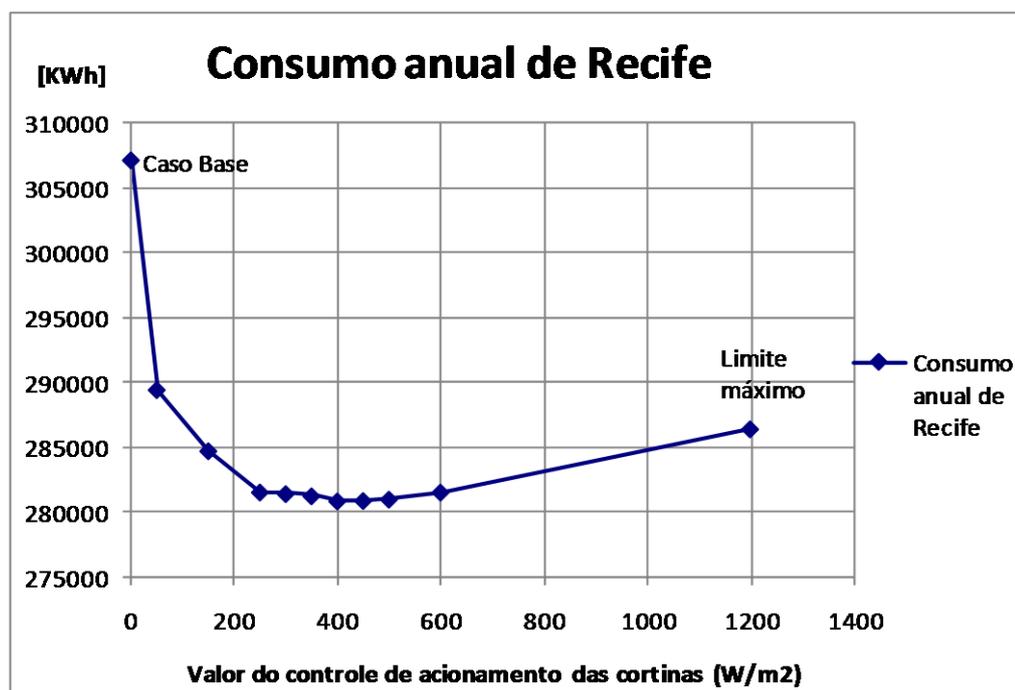


Figura 34. Consumo energético anual para a cidade de Recife.

Na figura 34 se pode observar que a redução obtida em Recife é maior que a obtida em São Paulo, no entanto, a porcentagem reduzida do ponto ótimo é 8,6%, que é inferior à obtida em São Paulo. Portanto uma parcela maior de radiação é refletida devida a maior intensidade de radiação solar nesta cidade, mas como a cidade também é mais quente há também um aumento do calor transferido ao meio por condução, que não é alterado pela utilização do sombreamento. Portanto para cidades quentes há um aumento tanto de radiação com de condução, que afeta a eficiência do sombreamento na edificação.

A segunda cidade teve os seguintes resultados.

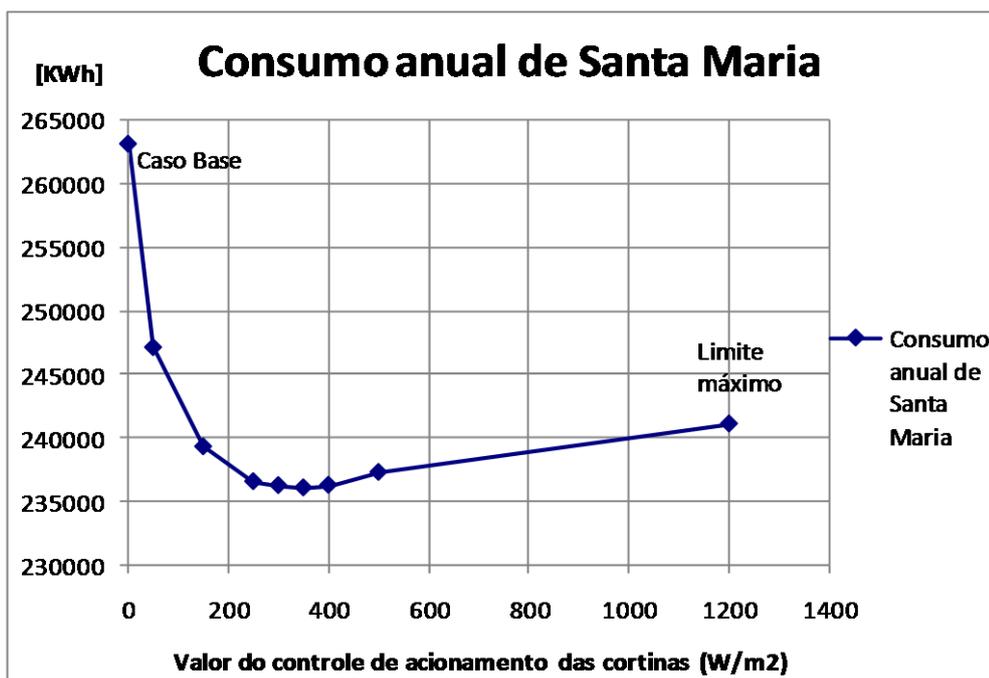


Figura 35. Consumo energético anual para a cidade de Santa Maria.

Na figura 35 se observam valores muito próximos aos obtidos em São Paulo, mas observa-se uma porcentagem na redução superior, que no caso do ponto ótimo é de 10,3%. Essa leve melhora nos resultados se deve ao fato de que nas cidades de maior latitude a radiação é menor, o que proporciona um consumo do sistema de refrigeração levemente inferior ao consumido em São Paulo, mas a melhora se deve ao fato de que como a radiação é menor há um período maior de entrada da iluminação natural que penetra no ambiente, o que dimeriza a iluminação artificial, que possui a mesma potência de projeto para ambas as simulações.

Também se percebe que para Recife o ponto ótimo de acionamento das cortinas é 400W/m^2 , superior ao encontrado em São Paulo. Já para Santa Maria o ponto ótimo de acionamento das cortinas é 350W/m^2 , muito próximo dos 325W/m^2 encontrados em São Paulo.

A comparação para as três cidades pode ser observada na tabela 11.

Tabela 11. Comparação entre diferentes cidades.

Cidade	Valor do controle	Redução
São Paulo	325	10,1%
Santa Maria	350	10,3%
Recife	400	8,6%

7. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos nas simulações, percebe-se que a utilização do sombreamento, proporciona uma redução no consumo do andar tipo na ordem de 3,5%, já quando é incrementado a dimerização da iluminação artificial, esta redução aumenta para aproximadamente 7,5%, podendo atingir até 10% do consumo total. Isso demonstra que a utilização conjunta do sistema de sombreamento com o sistema de dimerização da iluminação artificial proporciona melhores resultados.

Percebe-se que a utilização do sistema de acionamento das cortinas proporciona dois tipos de benefícios, que variam inversamente em função da intensidade do controle de acionamento das cortinas. O primeiro benefício é o sombreamento, que reduz o consumo do sistema de climatização quanto maior for o tempo que as cortinas permanecerem fechadas. O segundo benefício é a utilização da iluminação natural que penetra no ambiente através dos vidros, que reduz o consumo da iluminação artificial quanto menor for o tempo que as cortinas permanecerem fechadas.

Observando as opções de dimerização, fica evidente que a melhor opção de dimerização da iluminação artificial é fazer a dimerização linearmente até o desligamento total do sistema, desde que a luz natural proporcione a luminância mínima necessária.

Também se conclui que a melhor opção de controle das cortinas é utilizar uma “setpoint” entre 300 W/m^2 e 400 W/m^2 , dependendo da localização do edifício, pois cidades muito mais quentes apresentam uma maior entrada de luz natural do que cidades mais frias, que se localizam em maiores latitudes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]Aghemo,C.,Pellegrino,A.,LoVerso,V.R.M. the approach to daylighting by scale models and sun and sky simulators: A case study for different shading systems,2008 : 917-927
- [2]Datta, Gouri. effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS simulation,2001 : 497-507.
- [3]Enshem, L.,Jinhua,C Are the annual relative variation rates of energy consumption approximate in different cities with the same shading coefficient,2005 : 507-515
- [4]Enshem,L.,Jie,Shou Classified identifications: the annual relative variation rate (RVRs) of energy consumption are approximate in different cities with the same shading coefficient,2005 : 517-528.
- [5]Enshem,L.,Zixuan,Z. Hourly classified identifications: the annual relative variation rates (RVRs) are approximate in different cities for the same building with the same shading coefficient,2005 : 529-536.
- [6]Shahid,H.,Naylor,D. Energy performance assessment of a window with a horizontal Venetian blind,2005 : 836-843
- [7]ABNT NBR 16401-2008, “Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários”
- [8]ASHRAE STANDARD 90.1-2004, “Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Building”