

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ESTUDO DE ÁTRIOS COMO ELEMENTOS CONDUTORES DE  
ILUMINAÇÃO NATURAL**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Angela Pogere

Florianópolis, Setembro de 2001.

**ESTUDO DE ÁTRIOS COMO ELEMENTOS CONDUTORES DE  
ILUMINAÇÃO NATURAL**

ANGELA POGERE

Esta Dissertação foi julgada para obtenção do título de

**MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Especialidade Ergonomia e aprovada em sua forma final  
Pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

---

Prof. Fernando Oscar R Pereira, PhD (UFSC) – Orientador

---

Prof. Ricardo Miranda Barcia - Coordenador do PPGEP

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Silvia Regina M. Corrêa (UFSC)

---

Prof. Dr. Wilson Jesus da Cunha Silveira (UFSC)

---

Prof. Dr. Anderson Claro (UFSC)

*A minha família,  
amigos e mestres pelo  
apoio e incentivo em todos os momentos.*

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	1
1.2 OBJETIVO GERAL.....	2
1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
1.4 HIPÓTESES .....	3
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 O USO DA LUZ NATURAL.....	5
2.2 O AMBIENTE NATURAL E O AMBIENTE CONSTRUÍDO.....	10
2.2.1 <i>O Ambiente Natural</i> .....	10
2.2.2 <i>O Ambiente Construído</i> .....	12
2.3 O CÁLCULO DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	14
2.3.1 <i>Fator de Luz do Dia</i> .....	15
2.3.2 <i>Diagrama de Waldram</i> .....	16
2.3.3 <i>Diagramas “Pepper Pot”</i> .....	16
2.3.4 <i>Transferidores de Iluminação Natural BRS</i> .....	17
2.3.5 <i>Método de DCRL (Diagramas de Contribuição Relativa de Luz)</i> .....	18
2.3.6 <i>Medição de Modelos Reais em Escala Reduzida</i> .....	19
2.3.7 <i>Simulação Numérica Através do Computador</i> .....	19
2.4 DEFINIÇÃO DE ÁTRIO.....	21
2.5 A LUZ NATURAL ATRAVÉS DO ÁTRIO.....	24
2.5.1 <i>A Geometria do Átrio</i> .....	25
2.5.2 <i>A Refletividade das Superfícies do Átrio</i> .....	26
2.5.3 <i>A Cobertura</i> .....	28
2.5.4 <i>Os Espaços Adjacentes</i> .....	29

2.6	CÓDIGO DE OBRAS – LEGISLAÇÃO.....	31
2.7	CONCLUSÃO.....	33
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA DE TRABALHO.....</b>	<b>34</b>
3.1	DEFINIÇÃO DA PESQUISA .....	34
3.2	ELABORAÇÃO DOS MODELOS .....	35
3.2.1	<i>O Modelo 1</i> .....	35
3.2.2	<i>O Modelo 2</i> .....	36
3.3	ESCOLHA DOS HORÁRIOS E DATAS.....	37
4.4	CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS DO CÉU.....	39
4.5	A MEDIÇÃO EM ESCALA REDUZIDA .....	39
4.5.1	<i>Resultados Obtidos com a Medição do Modelo em Escala Reduzida</i> .....	40
3.6	SIMULAÇÃO NO LIGHTSCAPE.....	42
3.6.1	<i>Leitura dos Resultados</i> .....	43
3.7	CONCLUSÃO.....	47
<b>4.</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1	CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NO ÁTRIO.....	48
4.2	ANÁLISE DO ÁTRIO.....	53
4.3	CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NAS SALAS ADJACENTES .....	55
4.4	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS .....	81
4.5	CONCLUSÃO.....	84
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>85</b>
5.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	88
5.2	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	89
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>90</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 9: Diagrama de Waldram – Fonte: Baker, 1993.....	16
Figura 10: Diagramas “Pepper Pot” para céu claro – Fonte: Moore, 1991 .....	17
Figura 11: Transferidor de Iluminação Natural BRS – Fonte: Moore, 1991. ....	17
Figura 12: DCRL para céu claro com altitude solar de 15° – Fonte: Souza, 1997.....	18
Figura 14 - Pátio .....	23
Figura 15 - Átrio .....	23
Figura 16 – Pátio de luz	23
Figura 17 – Átrio de luz.....	23
Figura 18 – Área de Topo igual ou maior que a área de Piso.....	25
Figura 20 – Cobertura oval.....	29
- Cobertura chanfrada.....	29
Figura 21 – Linha limite de visão do céu (Aizlewood, 1998).....	31
<b>Figura 22</b> – Desenho do modelo 1, executado no Autocad R14.....	36
<b>Figura 23</b> – Desenho do modelo 2, executado no Autocad R14	37
<b>Figura 24</b> – Carta Solar para Latitude 28 graus Sul, com trajetórias aparentes do sol. ....	38
<b>Figura 32:</b> Modelo 1 simulado em 21 de novembro, 10:00 h, sob céu claro. Fachadas Sul e Oeste.....	46
<b>Figura 33:</b> Modelo 1 simulado em 21 de novembro, 10:00 h, sob céu claro. Fachadas Norte e Leste.....	47

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre área de abertura x parede x nível do piso.....	30
Tabela 2 - Dimensões mínimas das secções horizontais dos prismas ao nível do último piso.....	32
<b>Tabela 3</b> – Coordenadas para a grade de valores das paredes do átrio, para o modelo1 e 2. ....	45
<b>Tabela 4</b> – Coordenadas para a grade de valores do piso 18x27m modelo 2. ....	45
<b>Tabela 5</b> – Coordenadas para a grade de valores do piso 9x9m, para o modelo1 e modelo 2.....	45

## RESUMO

O objetivo da pesquisa foi o estudo do aproveitamento de luz natural em ambientes construídos, através da análise do átrio e suas salas adjacentes como condutores e receptoras de iluminação, respectivamente. Com a ajuda da simulação computacional obteve-se os resultados que permitiram avaliar o comportamento dos modelos sugeridos, expostos a diferentes situações de meio ambiente natural.

A escolha do elemento átrio/pátio se deu por este ser um partido arquitetônico que atualmente vem sendo bastante utilizado como espaço organizador de circulações, mas que infelizmente tem tido o seu papel como condutor de iluminação para o interior das edificações bastante desconsiderado.

A ferramenta utilizada na pesquisa foi a simulação computacional, através do sistema de simulação de iluminação Lightscape. A pesquisa levou em consideração a geometria dos átrios, os tipos de céu, claro e encoberto, o horário, a época do ano e a orientação solar. A avaliação teve como base os valores de iluminâncias obtidos nos átrios e nas salas adjacentes.

Através dos resultado da pesquisa uma das observações mais relevantes foi que a presença do sol e sua reflexão pelas superfícies do átrio contribuem significativamente para o aumento nos níveis de iluminação no interior das salas adjacentes, comparando-se com os níveis de iluminação obtidos sob céu encoberto. Sob céu encoberto aos níveis de iluminação são baixos, mas ocorre pouca variação da iluminação no decorrer do dia e do ano, já com céu claro ocorrem grandes variações da iluminação no átrio e nas salas adjacentes, conforme a hora e época do ano.

O estudo da iluminação natural através de átrios/pátios é apenas uma parte das possibilidades que se tem de explorar elementos arquitetônicos para o aproveitamento de uma importante fonte de energia que é o sol.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was the study of the use of natural illumination in environments with construction, through the analysis of the atrium and its adjoining rooms as conductors and receivers of illumination, respectively. Assisted by computer simulation it was obtained the results that allowed the evaluation of the behavior in the suggested models, exposed to different situations of natural environment.

It was chosen the element atrium/courtyard due to the fact that it is an element that is currently being fairly used as a space organizer of circulation, however it has unfortunately been having the role of conductor of illumination to the inner parts of the constructions a lot unconsidered.

The tool used in the research was the computer simulation, through the lighting simulation system Lightscape. The research took into account the geometry of the atrium, the variations of sky, clear and cloudy, the time, the period of the year and the solar orientation. The evaluation was based on the values of illumination obtained in the atriums and its adjoining rooms

Through the results of the research one of the most relevant observations was that the presence of the sun and its reflection on the atrium surfaces contribute meaningfully for the increase in the levels of illumination in the interior of the adjoining rooms, comparing to the levels of illumination obtained under cloudy sky. Under cloudy sky the levels of illumination are low, but the variation along the day and the year is small; however with clear sky there are big variations in the illumination of the atrium and its adjoining rooms, according to the time and period of the year.

The study of the natural illumination through atriums/courtyards is only one of the possibilities to explore architectonic elements for the utilization of an important source of energy that the sun is.



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Utilizar a energia do Sol como uma das fontes naturais para abastecer as invenções e suprir as necessidades dos seres humanos desde o final do século vinte, tem sido um objetivo permanente dos pesquisadores na área de energia e conforto ambiental. A grande maioria das ferramentas de trabalho e lazer de nosso dia a dia, como computadores, televisão, semáforos, iluminação, são sustentadas pela energia proveniente principalmente das hidroelétricas que, apesar de não serem fontes poluentes, causam grande desequilíbrio dos ecossistemas existentes, nos locais onde são implantadas. Torna-se necessária a existência de outras fontes de energia, em setores que comportem uma substituição, para não evitar-se o risco de blecautes em que atividades importantes e totalmente dependentes de energia elétrica seriam as mais prejudicadas, a exemplo de hospitais, iluminação pública, agências bancárias.

A iluminação artificial em ambientes construídos é um dos setores de consumo de energia elétrica que pode ser, em grande parte, substituído pela luz natural proveniente do Sol. Além da economia proporcionada, a iluminação natural atende as necessidades físicas e psicológicas dos seres humanos. Em postos de trabalho por exemplo, a luz natural apresenta definições de cores muito mais reais que a luz artificial, e a visualização do meio externo, proporciona o conhecimento aproximado das horas do dia e das mudanças climáticas e atmosféricas. “O contato com os elementos da natureza, que compõem a paisagem exterior, influencia psicologicamente no bem estar do ser humano, pois o homem mesmo estando em um ambiente interno, deseja estar em contato com os elementos do universo do qual faz parte” (Corrêa, 1997).

Um dos elementos historicamente usado como um elemento condutor de luz para o centro de edifícios foi o átrio. Em residências era o local onde aconteciam as reuniões familiares, uma área privada da casa, mas aberta para o exterior em seu topo. Em edifícios comerciais e residenciais de antigamente, a maior função do átrio era levar um pouco do ambiente externo, através da iluminação natural para as áreas destinadas à circulação de pessoas. Hoje o elemento átrio faz parte de uma arquitetura típica de prédios comerciais, como por exemplo em centros de compras

e em recepções de hotéis, onde é geralmente climatizado e iluminado artificialmente. Sendo um elemento de grande impacto num edifício, tanto em termos de área como de conformação espacial, o átrio merece ter novamente somada às funções de circulação e convívio, a condição de levar a luz natural e o clima externo aos meios ambientes que o conformam.



**Figura 1: Centro de compras PASSEO ALCORTA  
Buenos Aires - Argentina**

Arqs Raul Lier e Alberto Tonconogy

Revista Projeto 160, Jan./Fev. 1993

Enquanto o perímetro externo do edifício está em contato direto com o meio ambiente e é afetado por todos os tipos de situações climáticas, sol, chuva, vento, barulho, poluição, o centro do edifício, o átrio, pode ser um ambiente protegido, uma transição entre o interior e o exterior que recebe somente o que se deseja, iluminação, sol, ventilação. É um elemento arquitetônico condutor de luz, que pode ser adotado para aumentar a área de luz natural no interior de um edifício. Mas no momento do projeto, deve-se pensar nas características que serão modificadas com a inclusão deste espaço: temperatura, acústica, iluminação, volume do edifício e o uso do átrio como uma área dentro do edifício (Robbins, 1986).

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a utilização de átrios como elementos arquitetônicos condutores de luz estudando a iluminação natural no átrio e em seus espaços adjacentes.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Utilizar a simulação computacional como ferramenta de avaliação de iluminação e análise dos resultados do trabalho.
- Comparar a performance de duas geometrias de átrio com volumes e formas diferentes, analisando a iluminação no espaço do átrio e nos espaços adjacentes
- Estudar as alterações provocadas no átrio e salas adjacentes decorrentes das diferentes situações de meio ambiente simuladas, tipo de céu, horário e época do ano.
- Utilizar a medição em modelos com escala reduzida na metodologia afim de entender outro tipo de método avaliação de iluminação além da simulação computacional.

### 1.4 HIPÓTESES

- As variáveis ambientais de hora do dia, época do ano e condição atmosférica, tem influência direta na performance do átrio como condutor de iluminação natural para os espaços adjacentes.
- A geometria é uma variável de projeto determinante no desempenho do átrio em iluminar os ambientes que o conformam.

### 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A tese estrutura-se em seis capítulos. O primeiro capítulo trata de introduzir o leitor ao tema do qual trata a dissertação através da justificativa, objetivos e hipóteses que levaram ao desenvolvimento da pesquisa.

O segundo capítulo é reservado a revisão bibliográfica, onde buscou-se unir estudos já comprovados e consolidados, com as pesquisas mais recentes sobre o assunto e com artigos que expressam as ramificações que estão surgindo a partir do tema. O capítulo três trata sobre metodologia de trabalho, a definição dos modelos a serem pesquisados, suas características

físicas, as características ambientais e a maneira de trabalhá-los com a modelagem computacional. No quarto capítulo desenvolve-se a análise dos resultados através de gráficos comparativos, de acordo com os objetivos. O quinto capítulo descreve as conclusões sobre o estudo do átrio, a comprovação ou não das hipóteses e uma breve conclusão, sobre a utilização de ferramentas de simulação computacional em projetos de iluminação. O sexto capítulo apresenta a bibliografia consultada para a realização da pesquisa.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

*“Com a chegada do século XXI, é interessante observar quantos arquitetos e engenheiros, exploram luz e sombra para elaborar projetos cheios de significados e substâncias arquitetônicas. Através da história da luz na arquitetura, faz-se possível uma reinvestigação do elemento Átrio, como uma ferramenta expressiva e representativa para iluminação em ambientes construídos.”* (Mascaro', 1998).

Historicamente a luz do dia teve muita importância na concepção da arquitetura, por não haver outra fonte de luz tão abundante e acessível. Com a popularização da energia elétrica a iluminação natural foi dando espaço para a lâmpada. Atualmente, com a necessidade de racionar energia elétrica e por uma melhor qualidade de vida, a luz natural dentro de ambientes construídos volta a ter destaque. A utilização da iluminação natural em qualquer ambiente, requer o conhecimento do tipo de clima em que se está trabalhando e dos métodos de previsão de quantidade de luz que se pode obter em um projeto de edificação. Além disso, se faz necessário também o conhecimento dos elementos arquitetônicos apropriados para diferentes objetivos de utilização da iluminação natural, como átrios, janelas, zenitais, brises, entre outros.

### 2.1 O USO DA LUZ NATURAL

A luz, é uma das fontes de energia mais importantes para o homem desenvolver suas atividades de trabalho e de lazer, pois é ela que proporciona a visão nítida do mundo. É por esta razão que desde muito cedo, o homem sempre procurou ter mais tempo de luz do que o tempo limitado pelo ciclo do dia. Começou com as fogueiras e tochas. Depois vieram as velas e lampiões a gás e querosene. A invenção do vidro proporcionou as primeiras manifestações de extensão do mundo exterior para os ambientes internos, ao mesmo tempo que os protegia do clima adverso. A partir deste momento da história, a evolução do uso da luz natural segue paralela a evolução das propriedades e da utilização do vidro.

Uma limitação inicial do uso da iluminação natural foi quanto a quantidade de luz que se conseguia obter, por ser o vidro um material frágil e as construções serem de paredes estruturais, a área envidraçada ficava muito limitada. A Revolução Industrial possibilitou uma maior

liberdade de criação, colaborando com a descoberta da estrutura metálica deixando as paredes livres de sua função estrutural, promovendo mudanças quanto ao tamanho, a modulação e a qualidade dos painéis de vidro.

Na metade do século XIX, na Inglaterra, foi construído a primeira edificação em ferro fundido e vidro, denominada Palácio de Cristal (Joseph Paxton 1850 – 1851). Esta evolução possibilitou uma maior ousadia nos projetos que visavam o uso da luz natural, inclusive o desenvolvimento de coberturas envidraçadas, como cúpulas e domos transparentes.

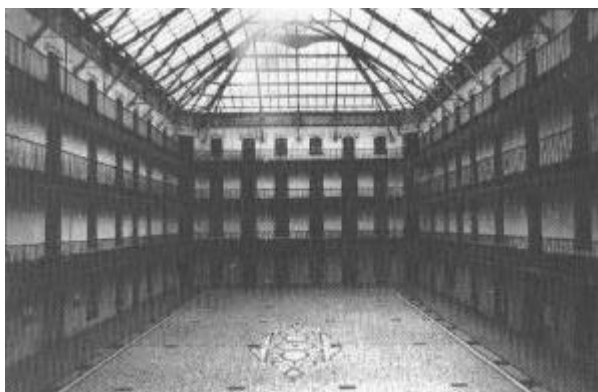


Figura 2 FAMILISTERE

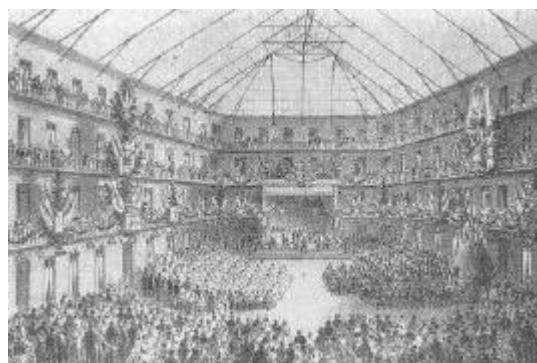


Figura 3: FAMILISTERE

Guise, França (1859-83)

Hertzberger, 1996 (pg 60)

As figuras 2 e 3 mostram um exemplo do uso do vidro em grandes vãos. A Familistere, constitui um conjunto de moradias construído pela fábrica de fogões Godin. Apesar da forma, com as portas ao longo da galeria lembrarem um presídio, este bloco de apartamentos é ainda um forte exemplo de como rua e moradia podem ser complementares.

As figuras a seguir mostram alguns exemplos onde a utilização da iluminação natural influencia no funcionamento das construções, as galerias comerciais quando cobertas com vidro ou outro material transparente, tornam-se uma extensão das lojas e bares, onde as pessoas se sentem no exterior mas protegidas das intempéries.



Figura 4 – GALERIE VIVIENNE, Paris  
Hertzberger, 1996 (pg. 77)



Figura 5 – GALERIE STTUBERT, Bruxelas  
Hertzberger, 1996 (pg. 75)

As galerias comerciais européias do século XIX (**figuras 4 e 5**), , são as primeiras manifestações arquitetônicas comerciais que, utilizando-se da iluminação natural através de suas coberturas de vidro, levaram a rua para dentro dos prédios. O seu objetivo era proporcionar aos clientes segurança e ao mesmo tempo contato com o meio externo. (Hertzberger, 1996)

A **figura 6**, também do século XIX em Paris, mostra um prédio residencial no qual os espaços de circulação entre os apartamentos e os andares, foram projetados para receber o máximo de luz natural do exterior. As escadas são como ruas com telhados de vidro, que podem ser avistadas da cozinha. (Hertzberger, 1996)



Figura 6: RESIDÊNCIA DOCUMENTA URBANA  
Hertzberger, 1996 (pg. 68)

O início do século XX foi marcado pelas possibilidades construtivas do vidro, do metal e do concreto armado, sendo que este último reforçava a liberdade entre paredes e estrutura. Também nesta época surge uma das escolas mais famosas de arquitetura, a Bauhaus, fundada pelo arquiteto Walter Gropius. As décadas de 1920 e 1930 foram o auge do Modernismo com sua arquitetura Funcional e de Estilo Internacional. Entre os arquitetos que fizeram história nesta primeira metade do século XX, três se destacaram com obras que demonstravam sua sensibilidade na utilização da luz natural, Frank L. Wright, no Estados Unidos, Le Corbusier na França e Alvar Aalto na Finlândia. (Lynton, 1979).

Frank Lloyd Wright através de suas obras demonstrou ter conhecimento sobre os benefícios do uso do clima natural em seus projetos, deixando claro que a arquitetura é o conjunto de entendimento sobre clima, vento, sol e orientação, inclusive em uma mesma construção. Era um arquiteto regionalista.

Le Corbusier é o precursor do uso do sombreador solar (*brise-soleil*) para aberturas verticais. Mesmo que em seus manifestos arquitetônicos não desse muita ênfase ao clima e ao sol, seus projetos mostravam esta preocupação. Foi um dos símbolos do Modernismo.



Alvar Aalto usava elementos arquitetônicos para trabalhar a luz de forma diferenciada em cada obra que realizava, demonstrando sua preocupação com a incidência da luz do sol e da iluminação natural, afim de criar ambientes saudáveis e cheios de vida. (Watson, 1998).

A energia elétrica mais abrangente a partir da segunda metade do século XX reforça o estilo internacional na arquitetura, (a mesma concepção arquitetônica pode ser usada em países de climas diferentes), devido as facilidades alcançadas na climatização de ambientes internos, pela qual a iluminação necessária poderia ser alcançada através de fontes artificiais e a temperatura controlada através de aparelhos de ar condicionado. A partir desta época a luz de fonte artificial passa a ser um dos principais métodos usados em iluminação de ambientes internos. A iluminação natural não deixa de ser usada, mas diminui de importância como componente de projeto (Pereira, 1995). As grandes fachadas de vidro em evidência neste momento, tem uma função muito mais estética que funcional, do ponto de vista do conforto ambiental.

No final deste século, algumas falhas nas redes de distribuição de energia elétrica, como por exemplo o blecaute ocorrido na região Sudeste do Brasil em onze de março de 1999, que deixou a capital São Paulo quatro horas sem luz durante o período da noite, mostraram como o dia a dia do ser humano tornou-se dependente da energia elétrica. Estas falhas podem ocorrer por erro técnico, acidentes com a rede de distribuição e até em virtude de causas naturais, como por exemplo em uma estação do ano mais seca, pode ocorrer uma diminuição do volume de água nas represas das hidroelétricas, sendo necessário o racionamento de energia.

Diante deste quadro, uma das alternativas é retorno ao regionalismo, ou seja, projetar de acordo com o clima local, lançando mão dos recursos naturais possíveis para climatizar a edificação. Na iluminação artificial, a fonte de luz esta sob controle do projetista (ou do usuário). Na iluminação natural, a fonte é independente e de intensidade variável (Sol e céu), por isso, se necessitar de controle este deve ser feito em sua transmissão e distribuição. A iluminação artificial é praticamente independente do local, clima e também do tipo de obra; sem dúvida, a iluminação natural depende muito das condições externas (clima e condições atmosféricas), e seu controle só é possível através do próprio edifício (Koenigsberger, 1973).

Na entrada do século vinte e um, as pesquisas sobre o uso efetivo da iluminação natural voltam a ter destaque. Muitas pessoas buscam os benefícios de se usar os recursos naturais não esgotáveis,

procurando atender aos fatores econômicos e humanos, (físicos e psicológicos), no lugar dos recursos esgotáveis ou poluentes. É claro que nem sempre será possível contar apenas com o recurso da iluminação natural, neste caso lança-se mão do uso integrado entre fontes naturais e artificiais, projetando-se edificações que otimizem ao máximo o uso das fontes de energia naturais, complementando-se as exigências de conforto através de fontes artificiais.

## 2.2 O AMBIENTE NATURAL E O AMBIENTE CONSTRUÍDO

“O envoltório de um edifício é um limite entre as condições ambientais internas e as externas que deve ser tratado como uma barreira seletiva, um filtro, que exclui as influências externas indesejáveis e admite aquelas que trazem benefícios” (Koenigsberger, 1973).

### 2.2.1 O Ambiente Natural

A luz natural é proporcionada pelo Sol porém, sua aparência, distribuição e quantificação estão condicionadas a predominância da constituição atmosférica da abóboda celeste, que pode variar de clara a encoberta. O clima de cada lugar é o principal fator externo ao projeto de arquitetura que condiciona a utilização da iluminação natural. Há diferentes tipos de climas na Terra e, para cada um há uma predominância típica de condições atmosféricas da abóboda celeste. (Koeningsberger,1973)

Para se poder prever e calcular o aproveitamento da iluminação natural em um projeto, é necessário conhecer-se o comportamento da fonte luminosa, o Sol e o céu. Em geral, três variações de céu real são considerados: abóboda celeste encoberta, clara e parcialmente encoberta.

O céu encoberto caracteriza-se por esconder o sol e difundir a luz proveniente dele, através das nuvens. A abóboda apresenta-se como uma fonte de iluminação, na cor cinza claro e brilhante. A intensidade de luz é três vezes maior na área do Zênite (posição relativa do sol em um dado momento), em relação a área do horizonte. Esta distribuição permanece constante ao longo do dia, porém a iluminância absoluta do céu varia com a altitude do Sol, (o céu encoberto é mais brilhante ao meio-dia) (Moore, 1991).

O céu é considerado claro quando a abóboda celeste apresenta-se azul e sem nuvens. O dia apresenta-se com muitos contrastes de luz e sombra. A presença pontual da luz do Sol faz com que a iluminação ao longo do dia seja variável, tanto na distribuição quanto na intensidade. Sob estas condições as superfícies que refletem a luz do Sol tornam-se importantes fontes secundárias de luz natural, já que a luz do Sol é muito forte para ser usada diretamente sobre uma área de trabalho (Moore, 1991).

A abóboda parcialmente nublada é uma combinação de céu claro, de fundo, com nuvens sobrepostas nele. A dificuldade neste tipo de céu, é padronizar a intensidade de sua luminância, pois esta varia ao longo das horas e, pode apresentar-se muito diferente de um dia para o outro, dependendo da quantidade de nuvens formadas na atmosfera (Moore, 1991).

Alguns exemplos de cidades com climas típicos demonstram a relação do tipo de céu com a temperatura e as características arquitetônicas do local:

Em climas moderados de latitudes altas o céu é tipicamente encoberto. A abóboda apresenta-se em cinza claro, brilhante. A luz do sol é difundida quando passa através das nuvens, em poucas ocasiões incide diretamente. Os níveis externos de iluminação não são muito altos. Exemplo: Londres - latitude 52° – Iluminância típica do céu 5000 lux. (Koeningsberger,1973)

Em climas quentes e secos de baixas latitudes o céu é tipicamente claro. A abóboda apresenta-se azul. O Sol incide diretamente sobre as superfícies da terra e através das aberturas das edificações com pouca vegetação para filtrar os raios solares, sendo necessário o sombreamento através da construção. Os níveis externos de iluminação são muito altos.

Exemplo: Nairobi – latitude 1° – Iluminância típica do céu 18000 lux. (Koeningsberger,1973)

Já em climas quentes e úmidos, regiões próximas a Linha do Equador, o céu passa de claro a nublado com chuva em curtos intervalos. Deve-se dar muita atenção a ventilação e proteção da chuva. Os níveis externos de iluminação são altos, mas amenizados devido a estas regiões serem tipicamente arborizadas. As figuras 7 e 8 mostram dois exemplos de construções para este tipo de clima.

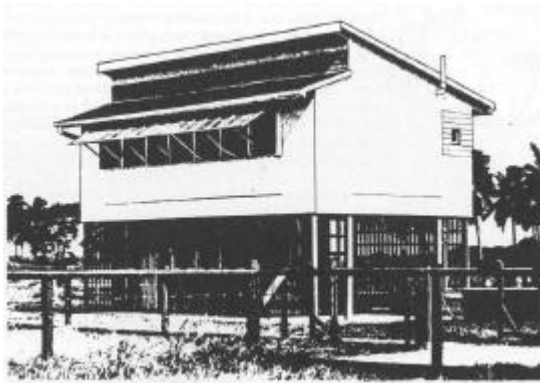


Figura 7: CASA NA GUYANA  
Koenigsberger, 1973 (pg. 217)



Figura 8: CASA NA TAILÂNDIA  
Koenigsberger, 1973 (pg. 220)

Em climas compostos, com estações quentes e frias, há ocorrência tanto de céu encoberto como de céu claro, além das variações de céu parcialmente encoberto. Os níveis externos de iluminação são bem variáveis durante as épocas do ano e também, as vezes, no decorrer do dia.

Exemplo: Sidney – latitude  $33^{\circ}$  – Iluminância típica do céu 8000 lux.

Brisbane – latitude  $27^{\circ}$  – Iluminância típica do céu 10000 lux. (Koenigsberger, 1973)

Florianópolis – latitude  $27^{\circ}$  Salvador –  $13^{\circ}$

O Brasil apresenta três dos quatro climas aqui apresentados, quente e úmido, nos Estados do Norte, quente e seco no Sertão Nordestino e composto nos Estados do Sul. As coordenadas do local simulado pertencem a Florianópolis, onde o clima composto requer proteção das chuvas, proteção do sol no verão e a presença deste no inverno. Os dias em geral apresentam-se muito claros, próprios para aproveitar-se a luz do dia para o interior de edificações.

### 2.2.2 O Ambiente Construído

A luz natural proveniente do sol é um elemento climático que precisa ser trabalhada através de soluções arquitetônicas do edifício, para que sua presença no interior deste não se torne incômoda. Componentes de condução, componentes de passagem e elementos de proteção, são as três classes de soluções construtivas básicas para se trabalhar com iluminação natural. A

utilização ou não destes componentes e das combinações entre eles em edificações, deve estar de acordo com o clima local, dimensão e função da edificação.

### **Componentes de Condução:**

São espaços intermediários, pelos quais a luz passa antes de atingir os ambientes internos. Os exemplos mais utilizados são, galerias, estufas, pátios, átrios e dutos de luz (Baker,1993).

O uso de espaços abertos intermediários em climas quentes e temperados, possibilita a climatização natural no interior dos ambientes, além da relação visual. Em climas frios, o aproveitamento fica um pouco restrito a relação visual entre o dentro e o fora. Pode-se tirar melhor proveito de espaços abertos e intermediários, destinados a edifícios de atividades sedentárias, ( escritórios, moradia, lojas...) tomando-se medidas de proteção de acordo com as características microclimáticas de sua localização (Schiller, 1998).

### **Componentes de Passagem:**

A luz natural passa do meio externo para dentro do edifício através de aberturas laterais e zenitais. Os componentes de passagem da luz lateral são: janelas, porta janelas em terraços, paredes translúcidas e cortinas de vidro. A passagem da luz através da cobertura é caracterizada como iluminação zenital e pode ser feita através de aberturas como: janelas de cobertura, lanternim, dente de serra, cobertura translúcida e domos (Baker, 1993).

Os componentes de passagem podem ter contato direto com o exterior ou abrirem-se para os espaços formados pelos componentes de condução. Também podem ser protegidos por algum elemento de controle.

### **Elementos de Controle:**

Nem toda luz natural que incide na edificação deve passar para o meio interno. Os elementos de controle são geralmente adicionados aos componentes de passagem ou de condução. Funcionam como filtros e barreiras que protegem os ambientes internos do meio externo.

O controle pode ser feito através de separadores convencionais, (vidros e policarbonatos, transparentes ou translúcidos), toldos, cortinas, marquises, prateleiras de luz, brises, elementos vazados, venezianas, persianas internas e fechamento tampão (Pereira, 1995). Devido a fatores climáticos alguns elementos são usados juntos numa mesma abertura.

### 2.3 O CÁLCULO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

A fonte essencial de luz natural é o Sol, porém a luz que chega à Terra se difunde parcialmente na atmosfera e as condições atmosféricas do local determinarão a quantidade de luz que chega a um edifício. Ao considerar-se um ponto dentro do edifício, a luz procedente do Sol chega através das seguintes maneiras:

CC – Componente Celeste: fonte de luz proveniente diretamente do céu sobre o ponto estudado.

CRE – Componente Refletida Externa: fonte de luz que atinge um ponto do ambiente interno após ter refletido em uma superfície externa, (parede de um edifício, muro, plantas).

CRI – Componente Refletida Interna: luz que atinge um ponto do ambiente interno após ter refletido nas superfícies deste ambiente (Koenigsberger, 1993).

Luz solar direta: a luz proveniente do Sol segue uma trajetória reta e incide sobre o ponto considerado.

A análise da contribuição de iluminação dentro de um ambiente, em termos de quantidade e distribuição, pode ser feita através da utilização de métodos de cálculo gráficos, simulações com modelo em escala reduzida e através de simulação computacional.

Além de considerar as diferentes fontes de luz, os métodos de avaliação de níveis de iluminação natural devem considerar os Fatores de Correção (FC) para a transmissão de luz através de superfícies transparentes, (vidro e policarbonato). Os fatores de correção são utilizados para três condicionantes:

1. Transmissividade do vidro – depende do tipo de vidro utilizado como fechamento, pode ser ou comum ou fumê ou verde, por exemplo.

2. Manutenção do vidro – considera as condições freqüentes de limpeza do vidro. O vidro de uma abertura vertical é mantido limpo mais facilmente que o vidro de uma abertura horizontal.
3. Esquadria – considera a área de entrada de luz bloqueada pela esquadria utilizada na fixação do vidro da abertura. (Girardin, 1994)

### 2.3.1 Fator de Luz do Dia

Devido a variabilidade dos níveis exteriores de iluminação é difícil calcular-se a iluminação interior em função da iluminância fotométrica. No entanto, em determinado ponto de um edifício, pode-se considerar constante a relação entre sua luminância e a luminância exterior simultânea. Esta relação constante, expressada em porcentagem, é o Fator de Luz do Dia – DF, (daylight factor – DF).

$$\%DF = (E_i / E_o) \times 100$$

$E_i$  = iluminância interior em um ponto considerado.

$E_o$  = iluminância exterior procedente de um céu sem obstruções.

O conceito de fator de luz do dia é válido somente para condições de céu encoberto, quando não há incidência de luz solar direta. É constituído pela contribuição das três componentes de iluminação:

CC – Componente Celeste.

CRE – Componente Refletida Externa.

CRI – Componente Refletida Interna.

$$DF = (CC+CRE+CRI) \times FC$$

O conceito de **fator de luz do dia, (DF)**, foi um dos primeiros métodos utilizados para a indicação de luz natural dentro de edificações. Foi desenvolvido em 1895 e abriu caminhos para o desenvolvimento de outros métodos de cálculo de luz natural. O DF expressa a quantidade de luz natural em um ambiente interno, relacionada com a quantidade de luz percebida em um ambiente externo, sem obstruções. Em geral o **fator de luz do dia (DF)** é determinado para um

plano de trabalho afastado do piso, que considera a altura de uma mesa, expressando a eficiência de um ambiente e seu sistema de aberturas determinado para receber a iluminação natural (Souza, 1997); (Koenigsberger, 1993).

### 2.3.2 Diagrama de Waldram

Este método gráfico é utilizado para janelas verticais e céu encoberto uniforme, padrão C.I.E. O diagrama representa metade da abóboda celeste. A interseção das linhas verticais com as linhas horizontais forma áreas que possuem a mesma equivalência de luz natural, ou seja, cada unidade da malha quadrangular representa 0,1% da CC, figura 9. (Baker, 1993); (Souza, 1997).

Figura 9: Diagrama de Waldram – Fonte: Baker, 1993

### 2.3.3 Diagramas “Pepper Pot”

Os diagramas “Pepper Pot” podem estimar a componente celeste, CC, tanto para céu encoberto como para céu claro. A luminância do céu é representada pelos pontos distribuídos no diagrama, figura 10. Quanto maior a quantidade de pontos em determinada área maior a luminância do céu nesta área, pois cada ponto representa a mesma intensidade luminosa. Para abóboda celeste clara são consideradas diferentes altitudes solares. (Moore, 1991)



Figura 10: Diagramas “Pepper Pot” para céu claro – **Fonte: Moore, 1991**

#### 2.3.4 Transferidores de Iluminação Natural BRS

São destinados a avaliação de abóbadas celestes encobertas. Podem ser utilizado em aberturas envidraçadas verticais, inclinadas a trinta e sessenta graus e horizontais e também em aberturas não envidraçadas. Podem ser aplicados no interior e exterior do modelo.

Figura 11: Transferidor de Iluminação Natural BRS – **Fonte: Moore, 1991.**

### 2.3.5 Método de DCRL (Diagramas de Contribuição Relativa de Luz)

São diagramas solares que podem ser utilizados em céu claro e encoberto. A abóbada celeste é dividida em áreas que através do cálculo dos fatores de forma de cada uma recebem um valor que determina sua luminância. A quantidade de iluminação em um ambiente é conseguida através da confecção da máscara de sua abertura, colocando-a na posição correta sobre o DCRL para o céu e horário desejado. A somatória dos valores obtidos para a componente celeste CC, a componente refletida CRE e a componente refletida interna CRI, multiplicados pelos fatores de correção considerados, irá fornecer a contribuição de iluminação natural relativa a um ponto situado no plano horizontal. A figura 12 mostra um dos diagramas. (Souza, 1997)

Figura 12: DCRL para céu claro com altitude solar de  $15^\circ$  – **Fonte: Souza, 1997.**

### 2.3.6 Medição de Modelos Reais em Escala Reduzida

A avaliação da iluminação natural através de modelos em escala reduzida é amplamente utilizada, pois suporta a investigação de sistemas de aberturas complexas e apresenta resultados confiáveis na determinação de níveis de iluminação. As maiores dificuldades são a grande demanda de tempo para ser realizada e a exigência de uma boa instrumentação fotométrica. (Souza, 1997)

Os projetistas de antigamente, (arquitetos e engenheiros), utilizavam-se de maquetes em escala reduzida de seus projetos para testar, entre outros fatores, os efeitos da iluminação natural no interior dos modelos. Para avaliar quantitativamente a iluminação natural dentro de modelos em escala reduzida, são necessários alguns cuidados como:

Compatibilidade de dimensões – a escala da maquete deve ser coerente com o tamanho da fotocélula de medição. Modelos muito reduzidos não são aconselháveis para este tipo de avaliação. Em geral utilizam-se escalas em torno de 1:25.

Condições de céu ideais – no caso de a avaliação exigir uma situação determinada de céu, sob céu real é necessário esperar pelo dia ideal. Outra opção é a utilização do céu artificial, quando for possível o acesso a um, que possui a limitação de simular apenas o céu encoberto padrão C.I.E.

Utilização dos sensores – em primeiro lugar, os sensores fotométricos devem estar sempre bem calibradas para evitar distorção dos valores medidos. A colocação do sensor na maquete também requer um cuidado especial para que fique nivelado com a superfície a ser medida, pois pequenos erros de angulação podem resultar em grandes erros de medição. (Moore, 1991)

### 2.3.7 Simulação Numérica Através do Computador

A modelagem e simulação por computador é flexível e rápida, (depois que o modelo estiver pronto), permitindo avaliações paramétricas extensas. Admite desenvolver simultaneamente avaliações térmicas e conectar-se com programas de consumo de energia. As maiores limitações neste caso são a necessidade de equipamento computacional adequado e as suposições teóricas

normalmente assumidas em algoritmos de programas que simulam o meio ambiente real (Pereira, 1995).

Um dos primeiros algoritmos de iluminação global desenvolvido é conhecido como *ray tracing* (pode ser traduzido como “perseguição ao raio”). O *ray tracing* é um algoritmo muito versátil, através dele pode-se considerar com bastante precisão as características de iluminação direta, sombras, reflexões especulares e refração através de materiais transparentes. Uma desvantagem deste algoritmo é que ele não considera as inter reflexões difusas entre as superfícies iluminadas.

O algoritmo da *radiosidade* foi desenvolvido após o *ray tracing* a partir de pontos não resolvidos deste. Basicamente a *radiosidade* calcula a intensidade luminosa para pontos discretos do ambiente, ou seja, a luz é distribuída a partir de uma ou mais fontes para todas as superfícies do ambiente. Dependendo das características da superfície, parte da energia pode ser absorvida por ela, enquanto a energia remanescente é refletida para o ambiente. Após a distribuição da energia da fonte de luz primária, o algoritmo da *radiosidade* continua checando todas as superfícies e determinando quais têm energia para ser refletida. O processo continua até a simulação atingir o estado de convergência pelo equilíbrio de energia luminosa. Uma das desvantagens deste método é que ele não considera os efeitos de transparência e as reflexões especulares (L.T.O.).

Nem a *radiosidade* nem o *ray tracing* oferecem uma completa solução para a simulação dos efeitos de iluminação global. A *radiosidade* resolve o problema das interreflexões difusas entre as superfícies na renderização. O *ray tracing* resolve as reflexões especulares. Os programas de simulação computacional têm com base um dos dois algoritmos. O Lightscape por exemplo, utiliza o algoritmo da *radiosidade* para o cálculo dos níveis de iluminação e o *ray tracing*, após a finalização do cálculo para tornar a visualização da imagem mais realística (Houser, 1999).

O Lightscape Visualization System da Lightscape Technologies, o Genesys da Genlyte, o Lumen Micro da Lighting Technologies, o Lightworks da Lightwork Design Limited, o Moonlite da Martini e o Radiance da Lawrence Berkeley Laboratories, são exemplos de programas que apresentam em suas funções tanto a renderização com capacidade fotorrealística como ferramentas para a análise de iluminação para propósitos de engenharia (CGW, 1996).

## 2.4 DEFINIÇÃO DE ÁTRIO

Quando fala-se em átrio, normalmente lembra-se de pátio interno. Como diferenciar um átrio de um pátio? Normalmente estas duas designações de elementos de transição entre interior e exterior confundem no que diz respeito as suas características. Mesmo porque historicamente as diferentes nomenclaturas, átrio e pátio eram muito mais relacionadas à cultura que à função.

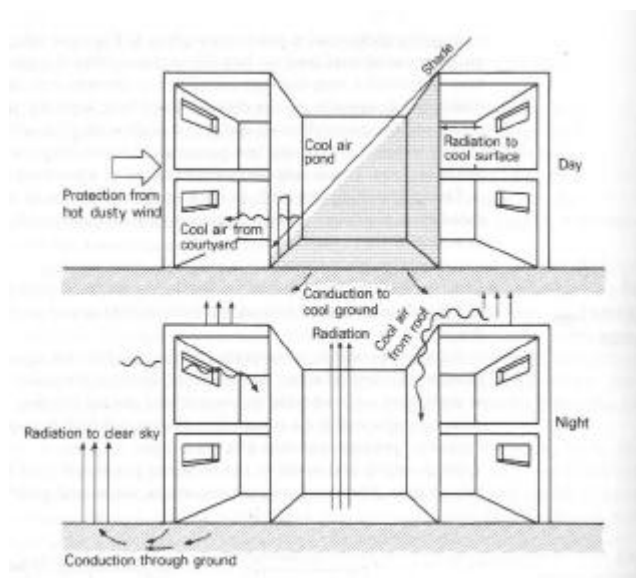
O uso de espaços intermediários entre interior e exterior é uma característica arquitetônica que já vem de vários séculos. Na civilização grega, as primeiras manifestações de espaços ao ar livre, e cercados, foram a *arena*, (espaço central de anfiteatros, área para jogos ao ar livre – estádio) e a *ágora*, (espaço rodeado por prédios, usado para assembleias públicas e comércio) (Schiller, 1998). As residências, inicialmente, tinham o pátio na parte frontal, delimitado nas laterais por muros, e na frente por um pórtico que era o acesso à rua. Por influência oriental, a casa no auge da civilização grega, passou a ter seus cômodos de estar abrindo-se todos para um pátio central, que também tinha função de circulação para o pavimento superior e para a rua.

Na cultura etrusca, a parte central da casa era ocupada pelo átrio, um espaço semi coberto, pois todas as águas do telhado convergiam nele. Destinado a exaustão da fumaça, coleta de água e iluminação de todos os ambientes da casa. Também presente em templos e igrejas, porém neste caso, era um espaço frontal, as vezes contornado por colunas, destinado a reuniões de todos os tipos.

A cultura romana incorporou os dois elementos, átrio etrusco e pátio grego. Nos palácios, eram tratados de forma distinta, o pátio era mais aberto, cercado de construções de um pavimento, esquentava mais, por isso usado nas épocas de frio. O átrio era mais estreito, com paredes mais altas que o sombreavam, com isso tinha temperaturas mais amenas, desejadas na época de verão. A comunicação entre os dois, permitia a ventilação e o arejamento.

Para os chineses, o pátio simbolizava elementos da natureza, como a água, a vegetação, as montanhas. O pátio era o núcleo de uma célula familiar que poderia ir se multiplicando, assim uma casa poderia ser formada de vários pátios, interligados ou não, cada um contendo uma família em torno de si. (Stahl, 1994)

Em habitações típicas de clima quente e seco, como na cultura árabe por exemplo, o átrio (ou pátio), era usado com área de afazeres domésticos durante o dia, proporcionava iluminação e proteção do calor do sol. A noite, período em que a temperatura do ar baixava, funcionava como um retentor de calor (**fig. 13**). (Koenigsberger, 1973)



**Figura 13: Sistema térmico de um pátio durante o dia e a noite em uma casa de dois andares.**

Koenigsberger, 1973 (pg. 217)

Conforme Baker, 1993, o átrio é um espaço envolto lateralmente por um edifício e coberto com materiais que permitem a passagem de luz natural. Difere do pátio por este ser um espaço cercado pelas paredes de um ou mais edifícios e aberto para o exterior através de seu topo e algumas vezes por uma das laterais.

Lam, 1980, classifica dois tipos de átrios e de pátios:

**Pátio** – espaço aberto para o céu, cercado de prédios ou muros. Normalmente um local público onde as pessoas circulam livremente. O pátio pode ser cercado por vários volumes pertencentes a um condomínio ou por edifícios independentes dispostos em torno dele (Fig. 14).

**Átrio** – sala central de um edifício, aberta para o céu no seu topo. Com característica de ser de uso mais voltado para as funções do edifício (Fig. 15).

Figura 14 - Pátio

Figura 15 - Átrio

Pátio de luz – um pátio aberto projetado para otimizar a luz do sol para os prédios que o cercam. (Fig. 16)

Átrio de luz – um átrio que é projetado para otimizar a luz do sol nos espaços adjacentes a ele (Fig. 17).

Figura 16 – Pátio de luz

Figura 17 – Átrio de luz

Em seu dicionário, Ching, 1999, define átrio e pátio da seguinte maneira:

**Pátio** – Área a céu aberto, cercada em sua maior parte ou na totalidade por paredes ou edifícios; área adjacente a um edifício ou no interior deste cercada pelos quatro lados.

**Pátio interno** – Área de uma casa delimitada por construções baixas arcadas ou paredes.

**Átrio** – Pátio central iluminado por luz natural em uma construção, por exemplo um grande espaço interno com telhado de vidro e cercado por vários pavimentos de galerias; pátio aberto iluminado por luz natural, a cuja volta se ergue uma casa ou edifício.

Nesta pesquisa o átrio é definido como um espaço interno a um edifício, iluminado naturalmente pela área do teto, podendo ser coberto, com materiais que transmitam a iluminação natural ou aberto, em contato direto com o meio externo através do seu topo.

## 2.5 A LUZ NATURAL ATRAVÉS DO ÁTRIO

O átrio ideal seria aquele em que toda, ou pelo menos a maior parte da luz natural conduzida por ele fosse aproveitada e o excedente bloqueado, controlando desta maneira também o aquecimento gerado pela luz do sol. Existe uma tendência em minimizar o ganho de luz natural por causa do calor associado a ela, para diminuir o uso de ar condicionado, necessitando-se assim do uso constante da luz artificial que apresenta uma eficácia luminosa, em geral, menor que a luz natural (Lam, 1980).

O objetivo de conduzir a iluminação, através do átrio para os espaços adjacentes, é a possibilidade que se tem de controlá-la antes que incida nos elementos de passagem de luz, as janelas. Para isto, devem ser levadas em consideração quatro variáveis, independentes entre si, que exercem influência nos níveis finais de iluminação dos espaços adjacentes:

- A geometria do átrio. A forma da abertura e o volume do espaço do átrio definem a quantidade e a distribuição da luz natural captada e distribuída para os espaços adjacentes.
- A refletividade das superfícies do átrio. A refletância das cores, conjuntamente com as superfícies transparentes (janelas) e opacas (paredes e piso) determinam a refletividade do átrio (componente refletida externa), ou seja, a quantidade final de iluminação que este consegue conduzir aos espaços adjacentes.
- A transmitância da cobertura. Se houver um elemento de separação cobrindo o átrio, a iluminação natural sofrerá alterações ao ser transmitida para o interior. Estas



alterações ocorrem em função do tipo de elemento usado como cobertura, e de sua estrutura.

- As características dos espaços adjacentes. Para a avaliação destes ambientes, são consideradas, as fontes de iluminação, (componente refletida externa, componente celeste e o sol), a orientação da fachada e o nível de cada sala em relação ao piso do átrio. (Aizlewood, 1997). A resultante de luz que entra nas salas sofre alterações em função das características das superfícies internas, que determinam a componente refletida interna, e das características dos componentes verticais de passagem (janelas).

### 2.5.1 A Geometria do Átrio

A quantidade de luz natural que entra em um átrio, depende primeiramente da área da sua cobertura e a boa performance em iluminar os espaços adjacentes mais profundos exige uma proporção adequada entre área e altura do átrio. Além disso, para produzir menos sombras e abrir espaço para o sol, o átrio deve ter uma forma geométrica onde a área do topo é igual ou maior a área do piso (fig.18), (Lam, 1980).

Figura 18 – Área de Topo igual ou maior que a área de Piso

Em suas pesquisas sobre desempenho de iluminação natural em átrios Aizlewood, (1996) e Baker, (1993) utilizam-se do Índice de Profundidade para classificar geometricamente os átrios. O Índice de Profundidade (IP), é dado pela fórmula:

$$IP = \frac{\text{altura} \times (\text{largura} + \text{comprimento})}{2 \times \text{largura} \times \text{comprimento}}$$

Este índice é a relação entre a altura do átrio e a sua área de admissão de luz. Por exemplo, um átrio de índice 2, significa um átrio mais alto do que aberto, no caso de uma planta quadrada, significa que a altura é o dobro da largura. Átrios com os mesmos índices de profundidade (IP) podem ter áreas de admissão de luz diferentes.

Baker, (1993), compara três tipos de áreas de átrio com o mesmo IP. O átrio quadrado apresenta níveis de iluminação no centro de seu piso 10% maiores comparando-se com átrios retangulares e triangulares.

Quanto ao volume do átrio, quanto menor o IP, maior o nível de iluminação no piso do átrio. Valores de IP maiores que 2 podem resultar em átrios muito estreitos ou profundos, o que dificulta a obtenção de bons níveis de iluminação natural nas salas adjacentes localizadas nos pisos mais baixos do átrio (Stahl, 1994).

### 2.5.2 A Refletividade das Superfícies do Átrio

A contribuição de iluminação natural de um átrio para os espaços que o cercam, sofre influência da luminância produzida pela reflexão da luz do sol e da abóbada celeste, em suas superfícies. Um átrio terá no mínimo três tipos de superfícies a serem analisadas, as paredes, as aberturas e o piso. Cada uma delas terá suas características de transmissão e reflexão da luz, determinantes diretas na contribuição de iluminação pela componente refletida (CR).

As paredes e o piso são geralmente constituídos de materiais *opacos*, que *bloqueiam a passagem da luz, refletindo-a*. Os materiais opacos refletem a luz de quatro formas básicas: reflexão especular, espalhada, difusa e semi-difusa figura 19 (Koenigsberger, 1973). Além do tipo de reflexão do material, as superfícies possuem índices de reflexão variáveis de acordo com a sua cor. Superfícies de cores escuras refletem menos luz que superfícies mais próximas ao branco (Koenigsberger, 1973).

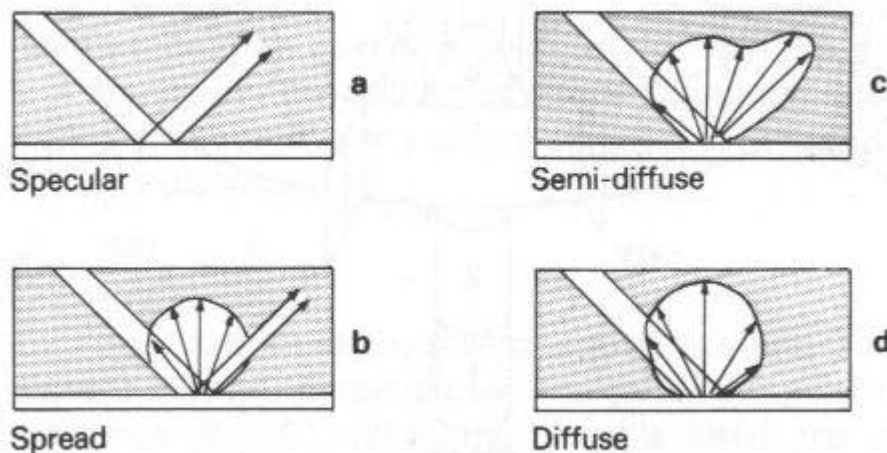


Figura 19 – Formas de reflexão da luz por diferentes superfícies, a - superfície espelhada, b – superfície brilhosa, c – superfície irregular, d – superfície lisa e opaca.

As aberturas são superfícies tratadas com materiais *transmissores*, vidro ou policarbonato, que *permitem a passagem da luz* para as salas adjacentes. Estes materiais transmitem a luz de forma especular ou difusa. Quando a superfície é lisa e transparente, a transmissão e a reflexão são especulares, (a luz transmitida não sofre interferência em sua trajetória e a reflexão da luz para o exterior é semelhante a um espelho). Através das superfícies transparentes e rugosas, como o vidro translúcido e o vidro martelado, a luz é transmitida e refletida de maneira difusa (Moore, 1991).

Os espaços adjacentes localizados nos níveis mais próximos ao piso do átrio, são ambientes que dependem muito do tratamento da refletividade das superfícies internas do átrio, piso, paredes, janelas e elementos controladores de entrada de luz, quando existirem. Cores e materiais são as características que influenciam nos níveis de refletância e conseqüentemente, na performance da Componente Refletida.

De acordo com Littlefair, 1998, uma pequena área de vidro nas paredes do topo do átrio e uma grande área de vidro nas paredes da base do átrio, ajudam a refletir mais luz para os espaços adjacentes localizados nos níveis mais baixos. Mas não se pode deixar de levar em conta que algumas janelas estarão abertas ou semi abertas. No caso do piso, sua refletividade ajuda no

incremento da iluminação da base do átrio e aumenta a componente refletida para as demais superfícies, opacas ou transparentes.

### 2.5.3 A Cobertura

O topo do átrio é a área por onde entra a luz natural que será conduzida aos espaços adjacentes. A partir do momento que houver uma cobertura, a iluminação pode sofrer alterações em função da geometria da cobertura, estrutura de fixação e dos elementos de controle usados para filtrar a luz. A geometria da cobertura deve levar em consideração fatores climáticos, como penetração de chuva e acúmulo de neve, distribuição da luz natural, acúmulo de sujeira e a forma mais adequada para a estrutura.

No caso de se utilizar elementos de separação transparentes e lisos, a forma da cobertura terá poucos efeitos na distribuição e nos níveis da iluminação transmitidos para o interior do átrio. Para os vidros translúcidos, difusores da luz, a mudança na forma da cobertura irá alterar os níveis de iluminação no átrio. Os materiais de fechamento transparentes, deixam passar mais luz natural e fornecem a visão do céu, porém com a desvantagem de deixarem passar a luz do Sol concentrada em feixes. Os materiais translúcidos, difundem e redirecionam a luz do Sol, porém não possibilitam uma visão clara do céu. Com céu encoberto ocorre uma drástica redução nos níveis de luz natural quando usados materiais altamente difusores (Baker, 1993).

A geometria também altera o direcionamento da luz, com a utilização de vidros translúcidos por exemplo, uma cobertura oval, direciona mais luz para a base do átrio e menos para as laterais, enquanto um teto chanfrado a quarenta e cinco graus, direciona mais luz para as paredes e menos para o piso (**fig. 20**). (Littlefair, 1998).

Figura 20 – Cobertura oval

- Cobertura chanfrada

Se o átrio oferecer uma cobertura, haverá também uma estrutura de suporte. Esta estrutura diminui a quantidade e altera a direção da luz que entra pelo topo do átrio. A treliça estrutural da cobertura, pode atuar como desviador solar, permitindo uma iluminação zenital direta mas bloqueando ou refletindo a luz do sol em certas direções, impedindo, desta maneira, a incidência solar direta nos espaços adjacentes. Existem outros recursos de controle, que podem ser usados diretamente nas janelas, como as prateleiras de luz, que redirecionam a iluminação para o fundo das salas (Baker, 1993).

#### 2.5.4 Os Espaços Adjacentes

Um átrio projetado como um condutor de luz natural, leva em conta a influência desta sua função nos espaços adjacentes. Duas características básicas, qualidade no aspecto da luz natural e quantidade de iluminação, resumem o que se espera deste partido arquitetônico. O aspecto da luz natural, diz respeito a definição do espaço, ou seja, a maneira como a luz se comporta, seu movimento, sua reflexão nas superfícies, reforçando ou inibindo a configuração do átrio, criando ambientes vigorosos, suaves, ativos ou calmos. A quantidade de iluminação que chega aos espaços adjacentes é resultado principalmente do tratamento das superfícies refletoras do átrio e de sua geometria. (Stahl, 1994)

O nível de iluminação final nos espaços que se abrem para o átrio, não será o mesmo em todas as salas. A variação se dá em função do andar e da orientação da fachada em que se encontrar a sala. Por exemplo, o nível de iluminação de uma sala no topo pode ser semelhante ao de uma sala até três andares abaixo do topo, continuando a descer, o nível de iluminação diminui bastante. Sem contar, as características individuais presentes em cada ambiente, cores, mobiliário e piso (Baker, 1993)

Uma proposta para suprir a diminuição do potencial de iluminação proporcional a profundidade do átrio, é o aumento da área de janela, de acordo com o nível em que a sala se encontra, ou seja, as salas mais próximas do térreo têm aumentadas as proporções de suas aberturas, a fim de compensar a menor captação de iluminação proveniente diretamente da abóboda celeste. A **tabela 1** mostra a proporção da área da abertura, em relação as paredes voltadas para o átrio, para os diferentes andares. (Cole, 1990)

Tabela 1 – Relação entre área de abertura x parede x nível do piso

<b>Proporção de janelas em relação a área de parede da sala</b>	<b>Localização</b>
100% aberturas	Primeiro piso (térreo)
80% aberturas	Segundo piso
60% aberturas	Terceiro Piso
40% aberturas	Quarto piso
20% aberturas	Quinto piso (topo)

Para um átrio hipotético, pode-se usar as proporções de 100% de aberturas para o nível térreo, 50% para o nível médio e distribuir os outros níveis a partir destes. Mas o aumento de área envidraçada, diminui a área de refletância das paredes próximas a base do átrio. Além disso, nem sempre as exigências do uso são compatíveis com este tipo de solução.

Outro aspecto importante, na avaliação de ambientes iluminados por fonte natural, é a diferença de quantidade de iluminação nos diferentes pontos de uma sala. Não se pode simplesmente calcular a média de luz existente em cada uma. Há uma linha imaginária, que limita a visão do céu e divide em duas, a área de trabalho de uma sala. Uma, recebe a luz direta da abóboda celeste e de acordo com a orientação pode receber também a luz do Sol. A outra área, que não

recebe luz do céu, nem do Sol, apenas a componente refletida das paredes, podendo tornar-se escura e necessitar de complementação elétrica (**fig. 21**).

Figura 21 – Linha limite de visão do céu (Aizlewood, 1998).

A abrangência da luz dentro dos espaços adjacentes pode ser melhorada, através de uma maior visão do céu, com o aumento da altura das aberturas, por exemplo, tirando-se partido da componente refletida, aumentando-se a refletância da base do átrio e do piso das salas, (através de pisos claros) e inovando-se sistemas refletores, (como prateleiras de luz, que redistribuem a luz incidente no átrio diminuindo o contraste entre as áreas muito brilhantes e as muito escuras das salas). (Aizlewood, 1998).

## 2.6 CÓDIGO DE OBRAS – LEGISLAÇÃO

O código de obras de Florianópolis, prevê dimensões mínimas para o uso de “prismas de iluminação”. Não faz menção a medidas mínimas para o uso de átrios. Pressupõe-se que, de acordo com o código de obras, o dimensionamento de um átrio deve ter como base as normas exigidas para prisma de iluminação e ventilação, **tabela 2**.

Ao analisar-se a norma para prismas de iluminação em função do conceito de índice de profundidade IP, o dimensionamento estabelecido na **tabela 2** produz um IP máximo de aproximadamente 3. Isto significa que os prismas de área quadrada, por exemplo, podem ter a

altura proporcional a três vezes a sua largura. Em relação ao elemento átrio, a literatura pesquisada define um  $I_p$  máximo de 2, como o ideal.

Tabela 2 - Dimensões mínimas das seções horizontais dos prismas ao nível do último piso  
(Tabela do Art. 237, pag. 50, Capítulo VIII do Código de obras e edificações da Prefeitura Municipal de Florianópolis)

<b>Número de pavimentos</b>	<b>Prismas de iluminação e ventilação (m)</b>
até 2 pavimentos	1,50 x 2,80
até 3 pavimentos	1,75 x 2,80
até 4 pavimentos	2,00 x 2,80
até 5 pavimentos	2,25 x 5,60
até 6 pavimentos	2,50 x 5,60
até 7 pavimentos	2,75 x 5,60
até 8 pavimentos	3,00 x 7,10
até 9 pavimentos	3,25 x 7,10
até 10 pavimentos	3,50 x 7,10
até 11 pavimentos	3,75 x 7,10
até 12 pavimentos	4,00 x 7,10

\*Para compartimentos de 2,75 m de altura, (pé direito).

Os prismas de iluminação e ventilação, podem ser usados como comunicação externa para qualquer compartimento da edificação. Desde que as janelas respeitem as dimensões mínimas exigidas pelo código de obras, (capítulo IX, pag.50, Art.249) de 1/6 da área do compartimento para ambientes não habitáveis e mais que 1/6 para os habitáveis, onde este “mais que”, é variável, de acordo com o volume de ar a renovar ou condicionar. Os prismas destinados somente a ventilação, podem ventilar apenas compartimentos residenciais não habitáveis, auditórios, cinemas, teatros e salões de exposição.

Comparando-se as medidas de prismas de iluminação requeridas pelo código de obras com as medidas ideais indicadas pela revisão bibliográfica, o código de obras pode ser facilmente respeitado, pois seus parâmetros estão muito abaixo dos ideais para um átrio.



## 2.7 CONCLUSÃO

Ao projetar-se uma edificação permitindo que o meio ambiente natural participe de maneira positiva no ambiente construído, pode-se reduzir também o impacto causado ao meio ambiente pelas construções. O estudo de elementos arquitetônicos destinados a permitirem uma conexão entre o meio ambiente natural e o construído é uma maneira de colaborar para que no futuro possa se usar melhor os recursos naturais disponíveis. Esta pesquisa se concentra no estudo da iluminação natural através de átrios sob determinados aspectos climáticos e físicos, sabendo-se que ainda existem muitas outras ramificações a serem pesquisadas e analisadas sobre este mesmo assunto.

### 3. METODOLOGIA DE TRABALHO

Partindo-se de uma definição das características físicas e ambientais que se propôs estudar, foram concebidos dois modelos de átrios a serem simulados. A escolha dos horários datas e condição de céu foi determinada afim de avaliar diferentes combinações entre o átrio e o meio ambiente. A ferramenta de pesquisa foi a simulação computacional, através do programa de iluminação “Lightscape Visualization System”. A ferramenta permite que a leitura e a análise dos resultados seja feita através de valores pontuais e de gradação de cor.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi estruturada com a finalidade de analisar como acontece o aproveitamento e distribuição da iluminação natural, dentro dos espaços adjacentes ao átrio. A luz natural é composta por três tipos de fontes, provenientes da abóboda celeste, do sol e da reflexão das superfícies sobre a Terra. Estas componentes são influenciadas diretamente pelas condições do meio ambiente, (natural e construído) que as está recebendo. Considerando estes aspectos da iluminação natural, a análise foi realizada sob a variação das seguintes características:

**Geometria do átrio:** A geometria do átrio influencia na quantidade de luz natural que passa pelo sua área de abertura no topo e, na qualidade da iluminação conseguida para os espaços adjacentes.

**Horário:** As horas determinam a posição do sol durante o dia, sua altitude e intensidade.

**Data:** As datas determinam a posição solar para determinado dia do ano e em consequência, sua inclinação, intensidade e duração.

**Tipo de céu:** O tipo de céu determina, para uma mesma data e horário, o comportamento da iluminação natural, a quantidade e a distribuição da luz proveniente do sol.

Cada um dos modelos foi simulado para os três horários, nas duas datas, sob céu claro e encoberto. No total são vinte e quatro combinações, doze para cada modelo. Devido a componente de luz refletida ser determinada principalmente pela reflexão das superfícies do átrio, estas receberam o mesmo tratamento para ambos os modelos:

Paredes – pintura opaca (superfície perfeitamente difusora), com índice de reflexão de 75%.

Teto – pintura opaca (superfície perfeitamente difusora), com índice de reflexão de 85%.

Piso – pintura opaca (superfície perfeitamente difusora), com índice de reflexão de 30%.

Janela - vidro transparente claro.

Portando, o índice de reflexão dos materiais é invariável para todas as simulações. Assim como a posição geográfica dos modelos:

Latitude = 27° Sul

### 3.2 ELABORAÇÃO DOS MODELOS

Através de dois modelos de átrio, com índices de profundidade (IP) diferentes, será verificado de que maneira o volume do átrio e a área de delimitação do céu influenciam na condução da luz natural aos espaços adjacentes (Aizlewood, 1996). Os índices de profundidade são obtidos através da seguinte fórmula:

$$IP = \frac{\text{altura} \times (\text{largura} + \text{comprimento})}{2 \times \text{largura} \times \text{comprimento}}$$

#### 3.2.1 O Modelo 1

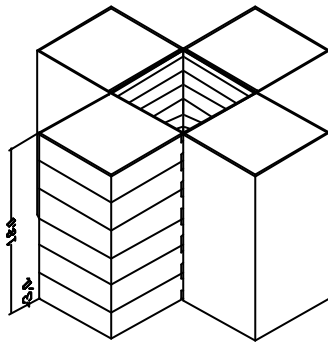
Consiste em quatro torres, dispostas em torno de um átrio quadrado, com 81m<sup>2</sup> de área de piso. Cada torre possui seis pavimentos e cada pavimento, uma sala de 81m<sup>2</sup> (**fig. 22**). A geometria quadrada do átrio, possibilita a avaliação da condução de iluminação às salas adjacentes conforme a orientação solar de suas quatro fachadas internas.

O Índice de Profundidade para o átrio do modelo 1 foi definido através do seguinte cálculo:

$$IP = \frac{18\text{m} \times (9\text{m} + 9\text{m})}{2 \times 9\text{m} \times 9\text{m}} = \frac{2}{1} = 2:1$$

O resultado, IP= 2, significa que o átrio tem uma altura equivalente ao dobro de sua largura.

A área de janela para cada nível é de 13,5m<sup>2</sup> (9,0m x 1,5m), o que representa 50% da área de superfícies verticais do átrio. Todas as salas possuem a mesma área de janela, condição necessária para que possam ser comparadas entre si.



**Figura 22** – Desenho do modelo 1, executado no Autocad R14

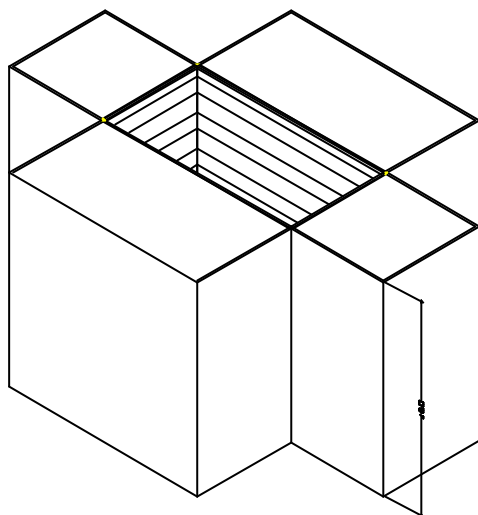
### 3.2.2 O Modelo 2

O modelo 2 é constituído de quatro torres de seis pavimentos, dispostas em torno de um átrio retangular com área de 162m<sup>2</sup>. Cada andar é definido por uma sala de 162m<sup>2</sup>. Difere do modelo 1, pela sua área de abertura e forma do átrio. O número de pavimentos, (altura do átrio) permaneceu o mesmo para que fosse possível estudar os mesmos níveis de sala, em ambos os modelos (**fig. 23**). A geometria retangular do átrio, possibilita a avaliação da condução da iluminação para as salas adjacentes conforme o limite de visão do céu de suas quatro fachadas internas.

As dimensões de duas torres são alteradas, conseqüentemente, o Índice de profundidade (IP), também muda. O Índice de Profundidade (IP) do átrio do modelo 2 é definido através do seguinte cálculo:

$$IP = \frac{18m \times (18m + 9m)}{2 \times 18m \times 9m} = \frac{3}{2} = 1,5:1$$

O resultado,  $IP= 1,5$ , significa que o átrio tem uma altura uma vez e meia maior que a sua largura.



**Figura 23** – Desenho do modelo 2, executado no Autocad R14

### 3.3 ESCOLHA DOS HORÁRIOS E DATAS

Os horários foram definidos com o objetivo de coincidirem com a duração das atividades que necessitam efetivamente de iluminação para acontecerem. Devido a trajetória aparente do Sol ser cíclica, os horários do período da manhã podem ser rebatidos para o período da tarde, sendo necessária a simulação de apenas um dos dois períodos.

As simulações realizadas as 8:00h e 10:00h, podem ser rebatidas para os horários da tarde 17:00h e 15:00h. O horário das 12:00h significa o momento de maior altitude solar. Com o rebatimento, o que acontece na fachada leste de manhã, deve acontecer à oeste de tarde. Para as fachadas sul e norte o rebatimento acontece nelas mesmas, ou seja, o que acontece no lado esquerdo da fachada norte de manhã, acontecerá no lado direito da mesma fachada a tarde, assim como para a fachada sul.

A posição do sol e sua intensidade têm relação com o ciclo anual também. Devido a mudança de declinação solar os dias um após o outro são diferentes, ou estão aproximando-se do dia mais luminoso do ano, o solstício de verão, ou aproximam-se do dia menos luminoso do ano, o solstício de inverno.

A Carta Solar mostrada na **figura 24** demonstra a trajetória solar aparente com relação aos horários e épocas do ano. O solstício de inverno, dia 21 de junho, é a data em que o sol atinge sua maior declinação ao norte da linha do Equador. O solstício de verão, em 21 de dezembro, corresponde a data em o sol está mais próximo a Linha do Equador, atingindo sua declinação mínima. Os equinócios de primavera e de outono, 23 de setembro e 21 de março, respectivamente, são as datas em que o sol atinge a metade de sua declinação.

**Figura 24** – Carta Solar para Latitude 28 graus Sul, com trajetórias aparentes do sol.

As datas escolhidas para a simulação foram 21 de maio, (trinta dias antes do solstício de inverno) e 21 de novembro, (trinta dias antes do solstício de verão). O comportamento da iluminação natural, distribuição e a intensidade luminosa, deverá ser diferente para as duas datas determinadas. Considerando-se o mesmo horário e o mesmo tipo de céu.

### 3.4 CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS DO CÉU

Na bibliografia consultada o tipo de céu utilizado em pesquisas sobre átrios, em geral é o céu encoberto, considerado como uma fonte de luz com características constantes, sob o qual são estudadas as diferentes características físicas do átrio, índices de refletividade, profundidade ou geometria, por exemplo. No caso deste estudo, as variações da fonte de luz são avaliadas juntamente com a variação de características físicas do modelo, com o objetivo de entender o comportamento do conjunto, átrio, salas e fonte de iluminação natural. Como o céu não apresenta-se igual todos os dias, foram consideradas as duas tipologias típicas para a avaliação de iluminação natural, céu claro e céu encoberto.

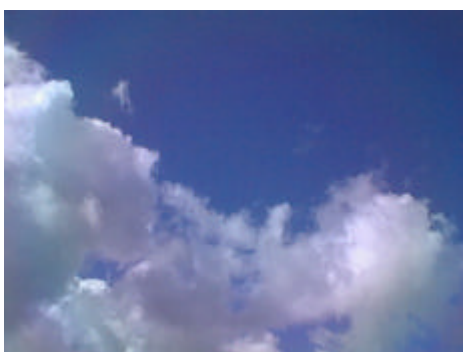
### 3.5 A MEDIÇÃO EM ESCALA REDUZIDA

Apesar da simulação computacional agilizar o processo de análise e quantificação da iluminação, o contato do pesquisador com seu objeto de pesquisa é totalmente virtual. Os padrões ambientais e dos materiais que irão constituir as superfícies já estão pré definidos no programa. A medição em escala reduzida, sob céu real principalmente, proporciona o contato físico do pesquisador com o objeto de estudo, requer, porém, a construção de maquete e aparelhagem complexa de avaliação.

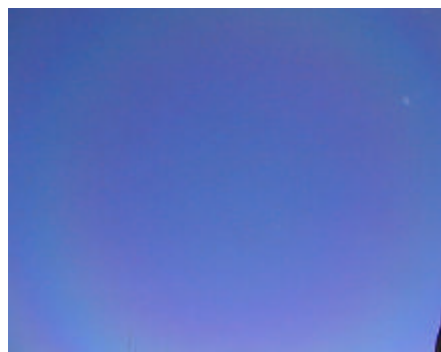
A maquete medida considera apenas o volume do átrio do modelo 1 e o céu claro. As salas adjacentes e as áreas de janelas não participam desta etapa, que foi realizada afim de verificar-se através de outra ferramenta que não o Lightscape, os aspectos físicos de distribuição e quantidade de luz natural no espaço do átrio. O ensaio serviu principalmente para uma melhor compreensão dos resultados apresentados na simulação, pois mostra no meio físico, o que acontece no meio virtual.

### 3.5.1 Resultados Obtidos com a Medição do Modelo em Escala Reduzida

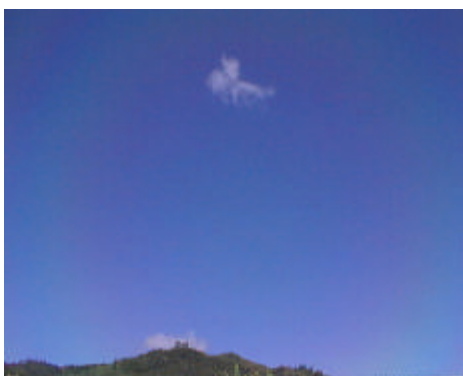
A medição foi realizada no dia 03 de maio de 1999, na Universidade Federal de Santa Catarina. O período de exposição começou as 9:00 horas. O céu ficou claro das 10:00 até as 14:00 horas. A partir das 14:00h o céu começou a nublar e a medição foi interrompida as 15:40h sob céu parcialmente encoberto (**fig. 25, 26, 27 e 28**, fotos do céu no dia da medição).



**Figura 25** : Condições de céu as 9:00 h



**Figura 26**: Condições de céu as 10:00 h



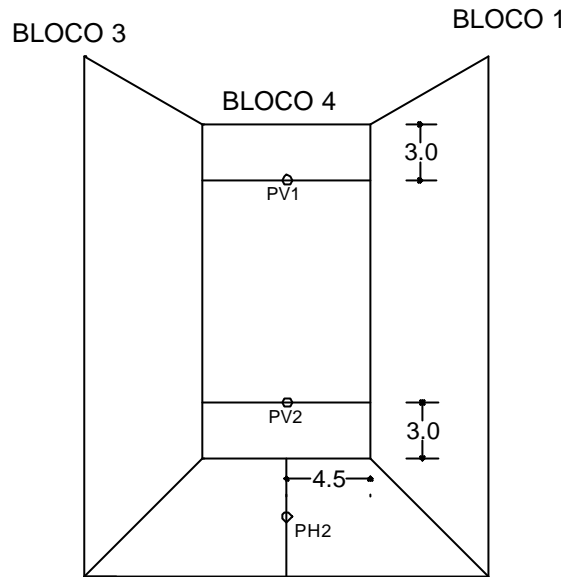
**Figura 27**: Condições de céu as 14:00h



**Figura 28**: Condições de céu as 15:00 h

A aparelhagem utilizada consiste em: instrumental Li-cor - fotocélulas e dataloger LI-1.000 - programa de leitura dos valores obtidos pelas fotocélulas. Os dados obtidos na medição em escala e o relatório de acompanhamento são descritos a seguir.





H1 \_\_\_\_\_

**Figura 29** – Localização dos pontos medidos no átrio.

Os pontos medidos no átrio foram locados conforme mostra a **figura 29**, no piso do átrio e na fachada de frente para o Norte. O ponto PV1 é ponto próximo ao topo do átrio e o PV2 o ponto próximo ao piso. O ponto PH2 está no centro do piso. Os três estão no mesmo alinhamento. Um ponto que não aparece no modelo foi designado como H1 e esta posicionado a três metros do ponto PH2 do modelo, para medir a iluminância em um ponto horizontal externo ao átrio.

A maquete foi confeccionada em papel branco difusor, nas dimensões do Modelo 1, com as quatro fachadas lisas, sem considerar aberturas.

No período em que o céu permaneceu claro, das 10:00 h. às 14:00 h. (hora civil de Florianópolis) foram constatados os seguintes resultados e observações:

10:10 h. – céu claro, o ponto PH2 não recebe sol mas o sol já está incidindo parcialmente sobre o piso. O ponto PV1 recebe sol e o Ponto PV2 está na sombra.

PV1 = 19,550 Klux

PV2 = 6,513 Klux

PH2 = 9,658 Klux

H1 = 94,870 Klux

12:10 h – O ponto PH2 continua na sombra, o sol no piso do átrio não chega em nenhum horário, nesta data, ao centro. Os pontos PV1 e PV2 estão recebendo sol. Momento que o sol incide mais próximo ao ponto PH2 no piso. O PV2, próximo ao piso apresenta uma iluminância maior que o PV1, próximo ao topo.

PV1 = 46,03 Klux

PV2 = 57,18 Klux

PH2 = 16,18 Klux

H1 = 118,50 Klux

13:50 h – Condição de céu claro, (fig. 27). O ponto PV2 começa a ficar na sombra novamente, o ponto PV1 continua no sol.

PV1 = 54,29 Klux

PV2 = 43,68 Klux

PH2 = 9,80 Klux

H1 = 113,00 Klux

Em uma comparação com a simulação computacional a partir do mesmo modelo, os valores das iluminâncias são diferentes, mas os efeitos físicos apresentam-se da mesma maneira.

### 3.6 SIMULAÇÃO NO LIGHTSCAPE

O emprego da simulação computacional foi fundamental em termos de agilidade da pesquisa. O programa utilizado, Lightscape Visualization System, simula tanto a luz natural quanto a artificial em maquetes eletrônicas produzidas em programas compatíveis, como AutoCad e 3D Studio. O método da medição através de modelos em escala, apresenta respostas confiáveis e aproxima o pesquisador dos efeitos lumínicos reais mas, tornou-se atualmente uma ferramenta demorada, principalmente se aplicada a modelos mais complexos e está pouco integrada com os programas computacionais de desenho. Pode-se dizer que através da computação gráfica, está havendo uma nova aproximação dos projetos arquitetônicos aos projetos de iluminação.

O tratamento da maquete eletrônica, na tela do Lightscape, consiste primeiramente em definir as características físicas de todas as suas superfícies: índices de refletância, tipo de material e a localização das aberturas. Com o modelo pronto, definem-se as características do ambiente, no qual será feita a simulação: localização (latitude, longitude, fuso horário), orientação solar, condições de céu, horário e data.

Após as características físicas e ambientais estarem definidas, inicia-se a simulação do modelo, conforme as características requeridas. Este processo é definido como a renderização do modelo, que deverá atingir a marca de 100% renderizado para poder se obter valores corretos na análise dos resultados.

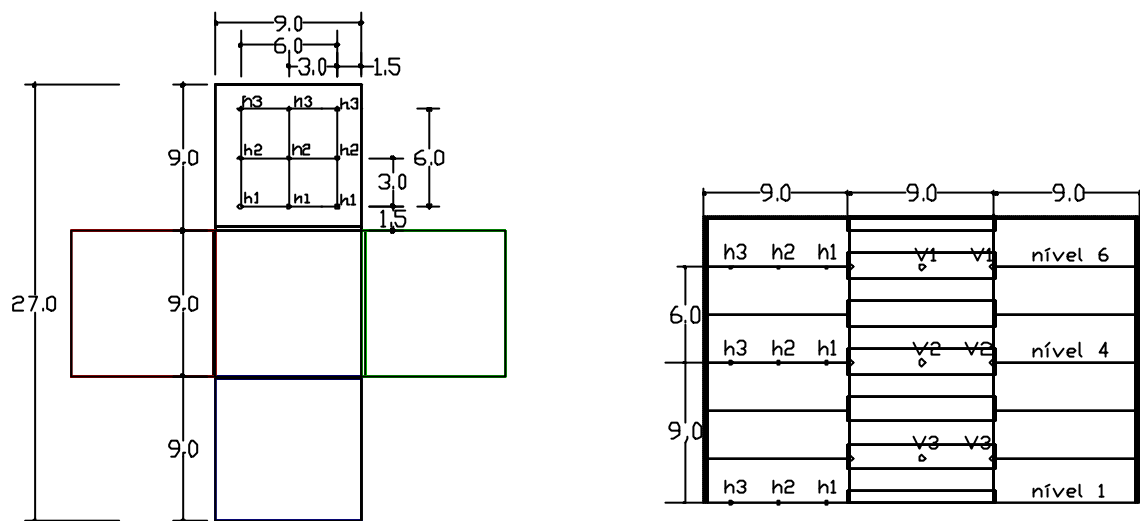
Na análise dos resultados pode-se obter iluminâncias, luminâncias, gráficos de gradação de cores e tons de cinza e valores numéricos através de uma grade de coordenadas estabelecida pelo usuário.

Após a simulação pronta, o pesquisador tem na mão uma maquete eletrônica que possibilita a análise quantitativa de qualquer superfície refletora do modelo.

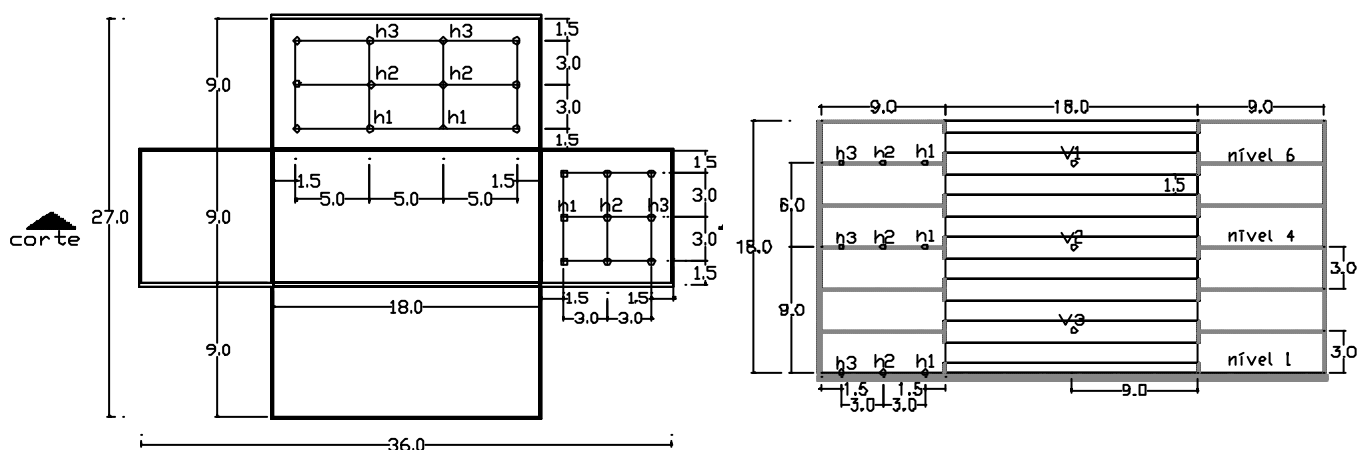
### 3.6.1 Leitura dos Resultados

Os resultados da simulação são obtidos através da leitura de dados pontuais numéricos e da gradação de cores definida conforme a distribuição da iluminação. Os valores numéricos, que possibilitam a análise da quantidade e distribuição da iluminação em um ambiente, são obtidos através da determinação de uma grade de pontos sobre a superfície que se deseja analisar.

Nesta pesquisa foram analisadas as superfícies verticais que conformam o átrio, o seu piso e os pisos das salas adjacentes. Para a análise dos resultados dos espaços adjacentes, foram escolhidos três salas de cada bloco. A sala do térreo, ou nível 1, a sala do nível 4 e a sala do nível 6, a mais alta. No espaço do átrio, foram determinados três pontos verticais em cada bloco, correspondentes as salas analisadas. A determinação das grades de valores para as superfícies analisadas são demonstradas nas **figuras 30 e 31**.



**Figura 30** – Grades dos pontos de iluminância medidos para o Modelo 1.



**Figura 31** – Grades dos pontos de iluminância As coordenadas que devem ser dadas no Lightscape para estas grades acontecerem são:medidos para o Modelo 2.

**Tabela 3** – Coordenadas para a grade de valores das paredes do átrio, para o modelo1 e 2.

X	Y	Z
3	5.5	3
6	10	3

**Tabela 4** – Coordenadas para a grade de valores do piso 18x27m modelo 2.

X	Y	Z
11.5	9.9	3
5	2.9	3

**Tabela 5** – Coordenadas para a grade de valores do piso 9x9m, para o modelo1 e modelo 2.

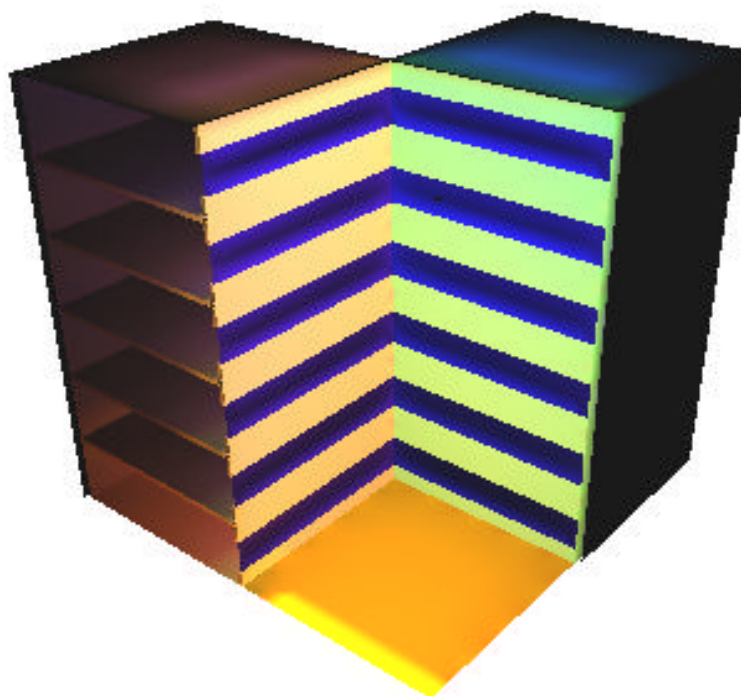
X	Y	Z
10.5	2.4	4
3	3.5	3

Além da leitura de valores, a avaliação dos níveis de iluminância pode ser feita também através de manchas, que no Lightscape apresentam-se na escala de cores e na escala de cinzas. Na visualização do modelo em suas cores originais, é necessário usar-se a grade de pontos para se obter os valores em cada área avaliada. No Lightscape, a visualização do modelo pode ser feita de três maneiras:

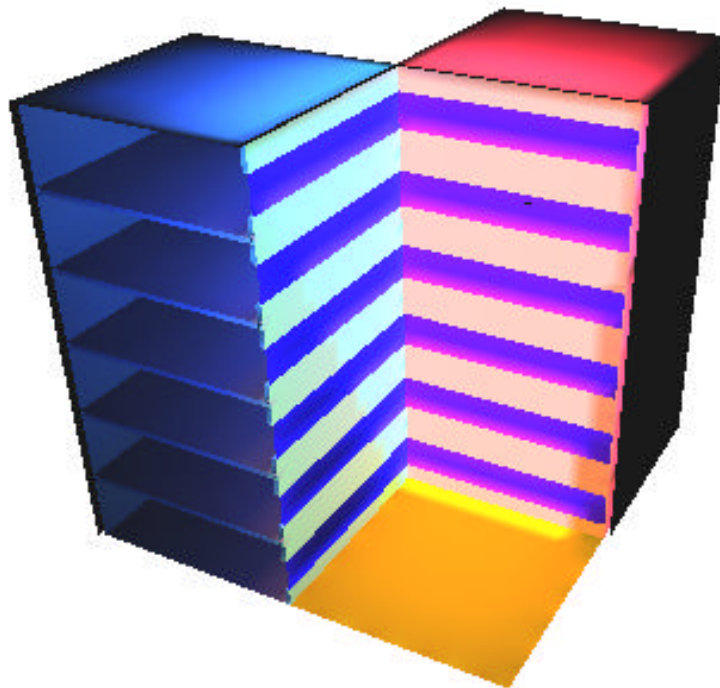
- Normal – as cores originais apresentam áreas claras e escuras de acordo com a distribuição de iluminâncias, não uma legenda de valores. O objetivo desta visualização é a simulação da realidade.
- Escala de cores – a distribuição da iluminação nas superfícies é dada pela gradação das cores que vão da vermelha (onde bate sol), laranja, amarelo, verde e azul (sombra). Há uma legenda de valores para esta escala de cores, com a qual se pode avaliar a iluminância das áreas.
- Escala de cinzas – semelhante a escala de cores, sua gradação vai do cinza quase branco, sob radiação solar direta, ao cinza escuro, na sombra. Apresenta uma legenda de valores para uma escala de cinza. Assim como a escala de cores, permite avaliar de uma forma mais

abrangente as grades de valores. Esta forma de apresentação foi a escolhida para a análise dos resultados no capítulo seguinte, juntamente com a apresentação de resultados pontuais.

Os modelos 1 e 2 foram desenhados em quatro cores que diferenciam a posição solar de cada fachada interna do átrio. Bloco vermelho, fachada Leste – bloco amarelo, fachada Sul – bloco verde, fachada Oeste – bloco azul, fachada Norte. As figuras 32 e 33, mostram o modelo na opção Normal de apresentação, simulando a realidade, as cores significam a posição solar de cada fachada.



**Figura 32:** Modelo 1 simulado em 21 de novembro, 10:00 h, sob céu claro. Fachadas Sul e Oeste.



**Figura 33:** Modelo 1 simulado em 21 de novembro, 10:00 h, sob céu claro. Fachadas Norte e Leste.

### 3.7 CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia seguida, a avaliação do elemento átrio concentra-se nas consequências que este provoca no interior dos ambientes que o cercam e são iluminados através dele. As diferentes combinações de meio ambiente são necessárias para avaliar-se a incidência da luz natural no átrio, que tende a apresentar-se de maneira única para diferentes datas, horários e condições atmosféricas. Para chegar-se aos objetivos determinados pela pesquisa, os procedimentos apresentados nesta seção serão avaliados no próximo capítulo, que trata sobre a análise dos resultados.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A pesquisa está focada em três considerações principais, que são também as diretrizes para a análise dos resultados:

- A diferença de comportamento da iluminação entre um átrio sob condições de céu claro, com a presença da luz do Sol direta e um átrio sob condições de céu encoberto com a luz do Sol difundida.
- O comportamento lumínico dos dois modelos no decorrer do dia e do ano, em função da orientação solar e das mudanças de altitude e de inclinação do Sol nos períodos determinados.
- Como diferentes Índices de Profundidade (IP) influenciam na distribuição e nos níveis de iluminação no átrio e nos espaços adjacentes.

##### 4.1 CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NO ÁTRIO

As características ambientais das salas iluminadas por um átrio sofrem modificações de acordo com a condição da atmosfera sob a abóboda celeste. Em um dia de céu claro, os níveis de iluminação são muito altos em alguns pontos, o que gera contrastes de luz e sombra. Isto acontece porque a luz proveniente do Sol incide diretamente em algumas áreas das superfícies do átrio, enquanto outras ficam sombreadas. Mas a componente refletida da luz do Sol que incide na paredes torna-se uma importante fonte de luz refletida para os espaços adjacentes.

As figuras de 35 a 58 demonstram através de manchas as áreas de sombra e as áreas das superfícies que refletem a luz do Sol no átrio. Os blocos 3, 4 e 1 representam nesta sequência as fachadas Oeste, Norte e Leste. A fachada Sul, do bloco 2, foi escolhida para não aparecer por ser a fachada que menos contribui com a componente de luz refletida nas superfícies do átrio. Nas simulações os raios do Sol não incidem diretamente sobre a fachada do bloco 2.

Através destas figuras pode-se avaliar a quantidade e a distribuição da iluminação natural presente nas diferentes combinações de átrios. As janelas das salas não foram simbolizadas nestes desenhos por não terem relevância ao objetivo destes, mas elas estavam presentes nas



simulações de onde foram retirados estes valores. O objetivo é entender a partir da visualização do átrio o que acontece nas salas adjacentes.

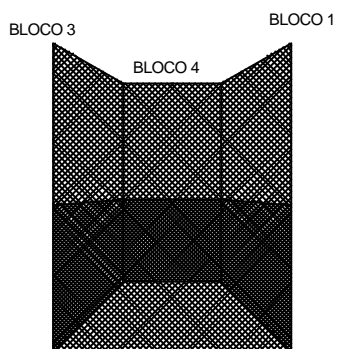


Figura 35: 8:00 h.

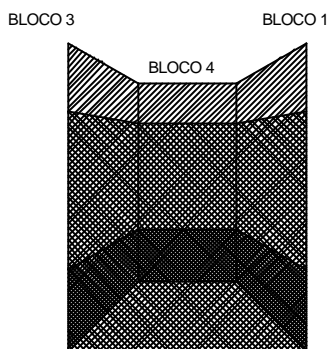


Figura 36: 10:00 h.

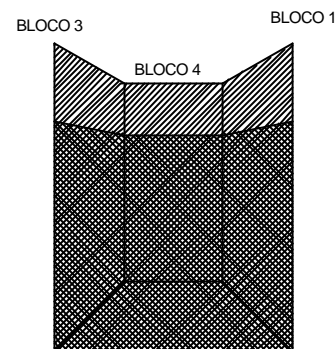


Figura 37: 12:00 h.

Distribuição dos níveis de iluminação nas fachadas do átrio.  
Modelo 1 - 21 de novembro - céu encoberto.

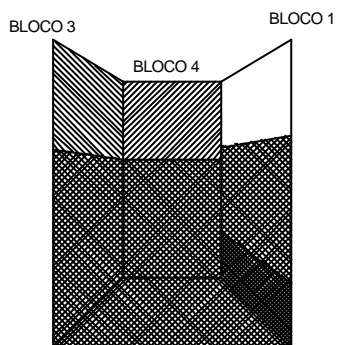


Figura 38: 8:00 h.

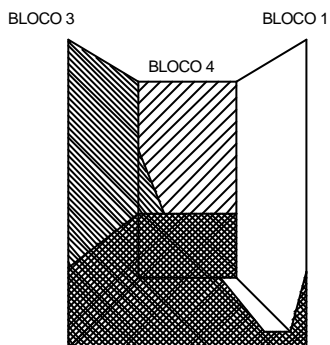


Figura 39: 10:00 h.

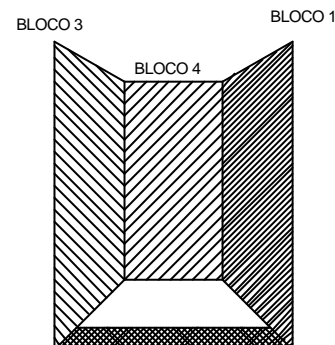


Figura 40: 12:00 h.

Distribuição dos níveis de iluminação nas fachadas do átrio.  
Modelo 1 - 21 de novembro - céu claro.

Legenda



**Figuras 35 a 40:** Os átrios do Modelo 1 em 21 de Novembro.

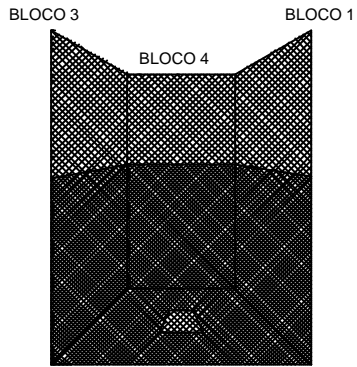


Figura 41: 8:00 h

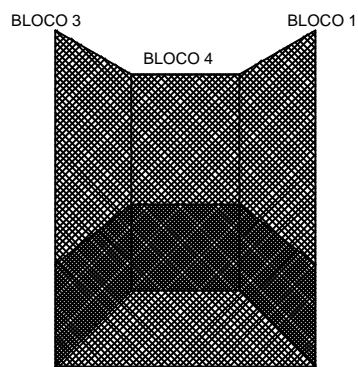


Figura 42: 10:00 h

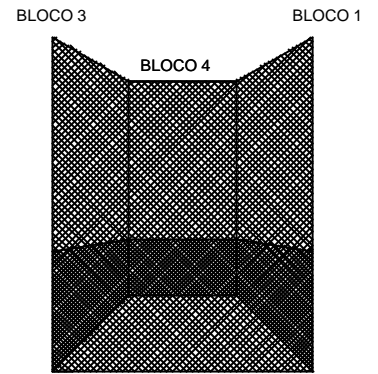


Figura 43: 12:00 h

Distribuição dos níveis de iluminação nas fachadas do átrio.  
Modelo 1 - 21 de maio - céu encoberto

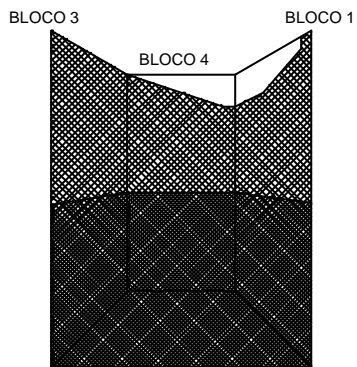


Figura 44: 8:00 h

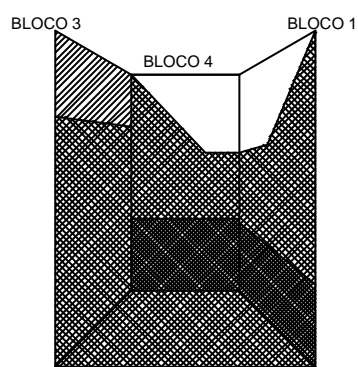


Figura 45: 10:00 h

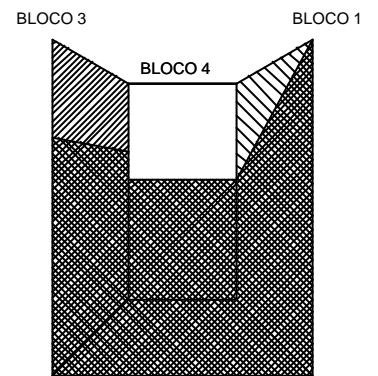


Figura 46: 12:00 h

Distribuição dos níveis de iluminação nas fachadas do átrio.  
Modelo 1 - 21 de maio - céu claro

Legenda



**Figuras 41 a 46:** Os átrios do Modelo 1 em 21 de Maio.

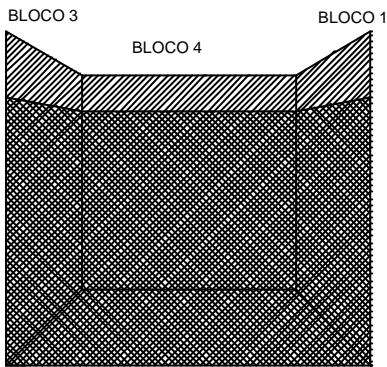


Figura 47: 8:00 h.

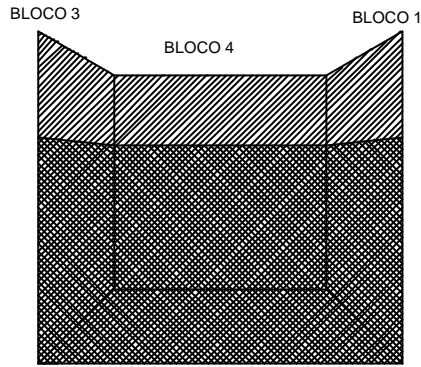


Figura 48: 10:00 h.

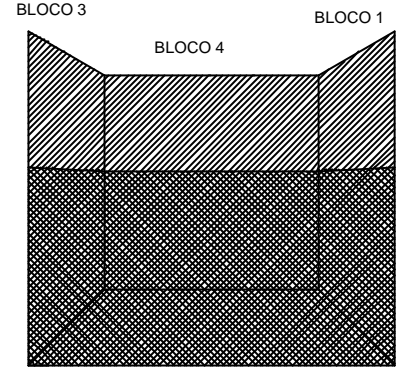


Figura 49: 12:00 h.

Distribuição dos níveis de iluminação nas fachadas do átrio.  
Modelo 2 - 21 de novembro - céu encoberto

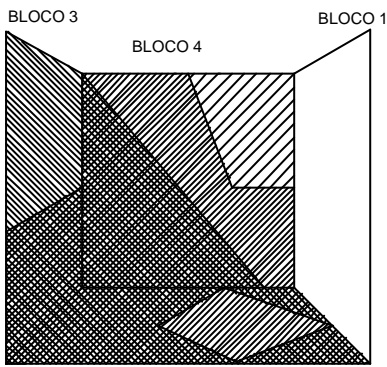


Figura 50: 8:00 h.

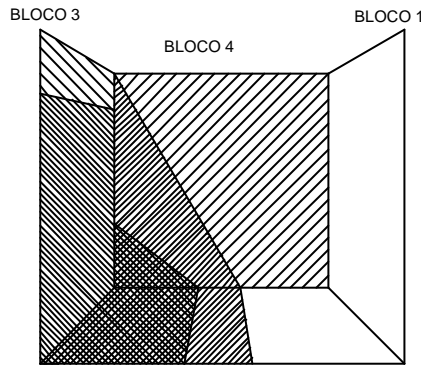


Figura 51: 10:00 h.

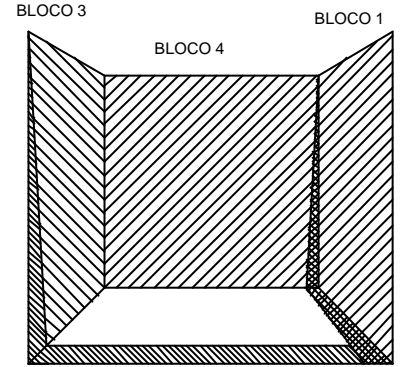


Figura 52: 12:00 h.

Distribuição dos níveis de iluminação nas fachadas do átrio.  
Modelo 2 - 21 de novembro - céu encoberto

Legenda



**Figuras 47 a 52:** Os átrios do Modelo 2 em 21 de Novembro.

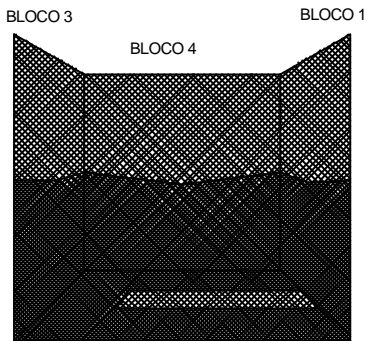


Figura 53: 8:00 h.

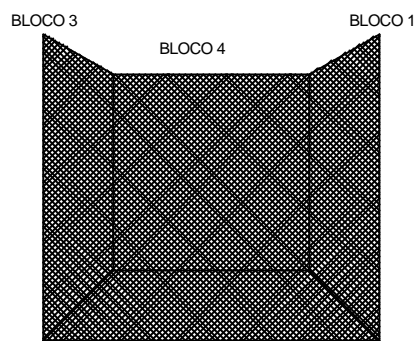


Figura 54: 10:00 h.

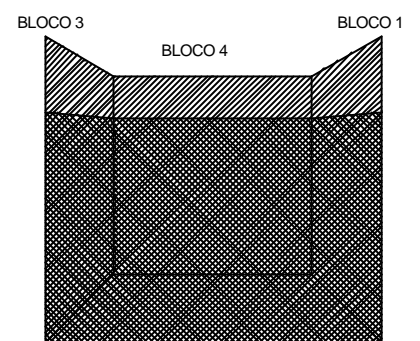


Figura 55: 12:00 h.

Distribuição dos níveis de iluminação nas fachadas do átrio.  
Modelo 2 - 21 de maio - céu encoberto.

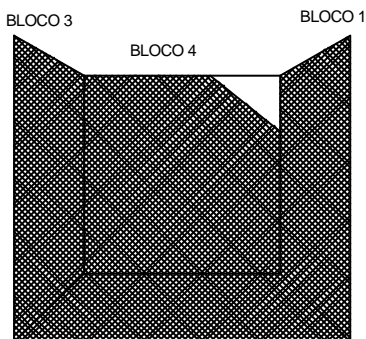


Figura 56: 8:00 h.

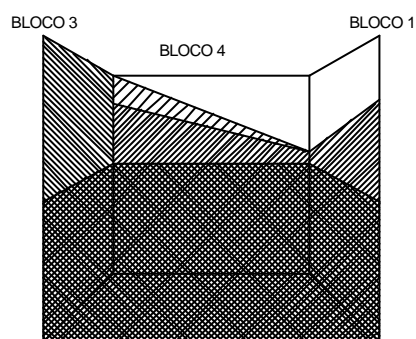


Figura 57: 10:00 h.

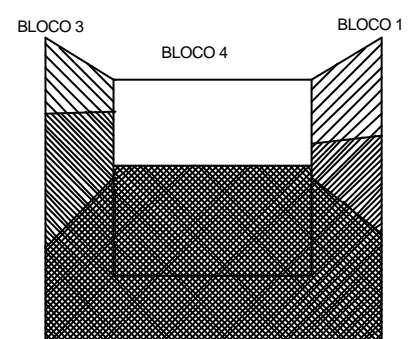


Figura 58: 12:00 h.

Distribuição dos níveis de iluminação nas fachadas do átrio.  
Modelo 2 - 21 de maio - céu claro.

LEGENDA



**Figuras 53 a 58:** Os átrios do Modelo 2 em 21 de Maio.

## 4.2 ANÁLISE DO ÁTRIO

- A distribuição e a quantidade de luz natural no espaço do átrio apresenta mudanças de acordo com a hora do dia. A quantidade de iluminação aumenta quanto mais próximo do horário do meio dia o modelo é simulado.
- A quantidade de iluminação natural captada pelo átrio varia, dependendo da declinação solar nas diferentes épocas do ano. Quanto mais próximo ao solstício de inverno, mais escuro se torna o átrio, apresentando sob céu encoberto em 21 de maio, (**fig. 43**), em suas superfícies, valores de iluminâncias máximos entre 1000 e 5000 lux. Quanto mais escuro o átrio, conseqüentemente mais escuras ficam as salas adjacentes. Ao aproximar-se do solstício de verão a luz natural captada pelo átrio é muito maior, suas superfícies sob céu encoberto chegam a apresentar valores de iluminância entre 5000 a 10000 lux (**fig. 37**).
- Ainda sobre a variação de iluminação em função da época do ano, pode-se verificar os aspectos dos átrios para o horário de 8:00 em 21 de Novembro, (**fig. 35, 38 e 47**) são muito parecidos com os aspectos dos átrios correspondentes as 12:00 h. em 21 maio, (**fig. 43, 46 e 55**), apresentando níveis gerais de iluminação muito parecidos.
- O átrio apresenta distribuição de iluminâncias em suas superfícies bem diferenciadas para dias de céu encoberto e dias de céu claro. Sob céu encoberto a variação de iluminação no decorrer das horas ocorre no aspecto de quantidade de luz captada e conduzida para as salas adjacentes, a distribuição de áreas mais escuras e mais iluminadas permanece constante (fig. **35, 36, 37, 41, 42, 43, 47, 48, 49, 53, 54 e 55**). Sob céu claro a variação de iluminação ocorre também no aspecto da distribuição da luz natural incidente. A distribuição de áreas mais iluminadas vai-se modificando no decorrer do dia em função das diferentes posições solares em cada momento (**fig. 38, 39, 40, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 56, 57 e 58**). As salas adjacentes serão uma extensão do que acontece no átrio.
- A geometria do átrio é uma característica física que oferece maior ou menor condição de captação e condução de luz natural pelo átrio as salas adjacentes. Um átrio maior

proporciona maior enquadramento da abóboda celeste e uma área maior de superfícies que recebem iluminação e a refletem. Comparando-se as **figuras 38, 39 e 40** , com as **figuras 50, 51 e 52** , e comparando-se as **figuras 44, 45 e 46** com as **figuras 56, 57 e 58**, tem – se uma visualização desta análise.

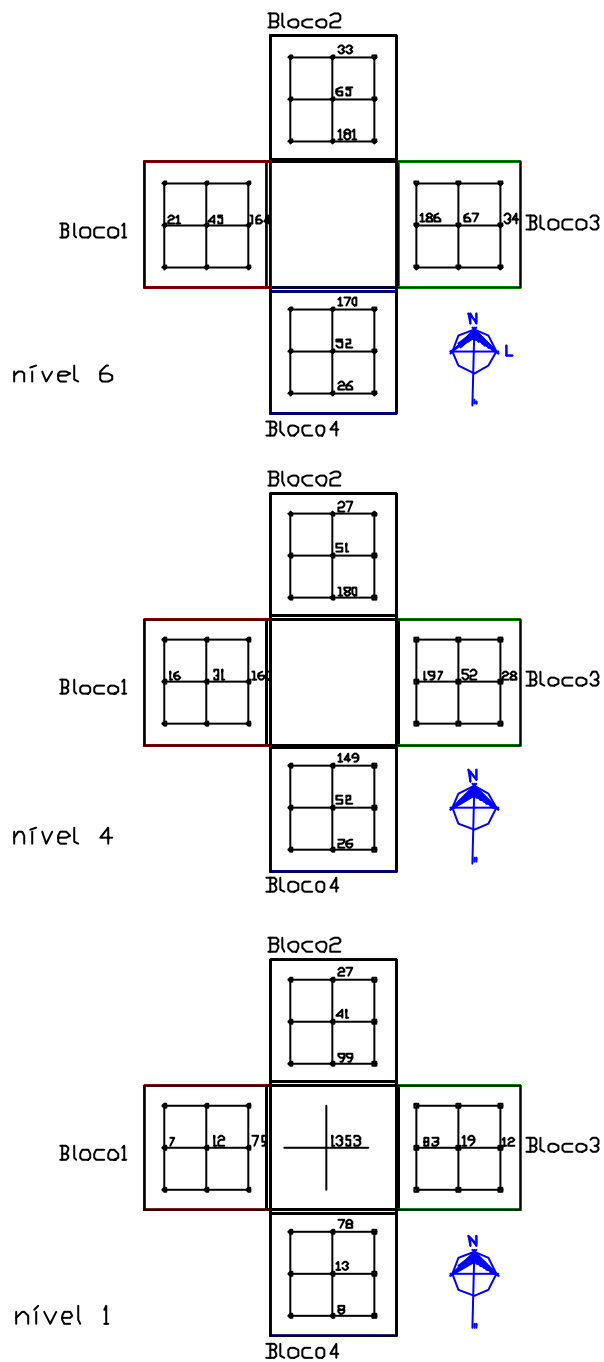
- Em relação ao uso de átrios em diferentes condições climáticas, pode-se dizer que para locais com condições de céu tipicamente nublado, latitudes altas e temperaturas amenas e baixas, o átrio maior seria o mais indicado, pois a componente refletida das superfícies do átrio pouco poderá contar com a presença do sol. Para locais com céu tipicamente claro, latitudes baixas e temperaturas altas e médias, o átrio indicado poderá ser o menor, já que a presença do sol ajudará no incremento da componente refletida, além de acarretar menor aquecimento no átrio em dias quentes de céu claro.

### 4.3 CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NAS SALAS ADJACENTES

As salas que conformam o átrio é que irão avaliar a qualidade da iluminação natural que este componente de condução proporciona, em função das características físicas e ambientais a que esta sujeito neste estudo. As salas foram analisadas levando em conta sua profundidade, sua posição solar e o nível do átrio em que se encontram.

Para estudar o comportamento das salas adjacentes foram produzidas as figuras 59 a 79, com os dados numéricos e com a visualização da simulação no interior das salas. A figura 59 servirá de apoio para a figura 60 e assim por diante. Estas figuras, combinadas com as figuras dos átrios ilustram a análise realizada sobre os resultados obtidos. Os pontos utilizados como referência de valores são h1, h2 e h3, que distam da janela respectivamente 150 cm, 450 cm e 750 cm (A grade da obtenção de valores encontra-se na seção 3.5.3 Leitura dos Resultados, capítulo 3 ).

Todos os modelos foram analisados, mas por uma questão de clareza e objetividade, foram demonstradas somente as salas de maior representatividade na análise dos resultados.

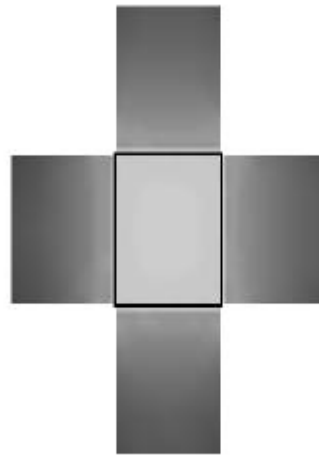


Grade de pontos horizontais medidos na simulação de Novembro, 8:00 h. céu Encoberto. Valores em lux

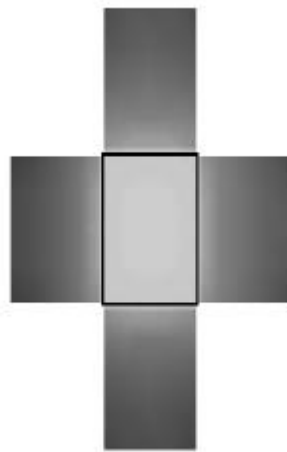
**Figura 59** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 1 em 21 de Novembro, 8:00h, sob céu encoberto.



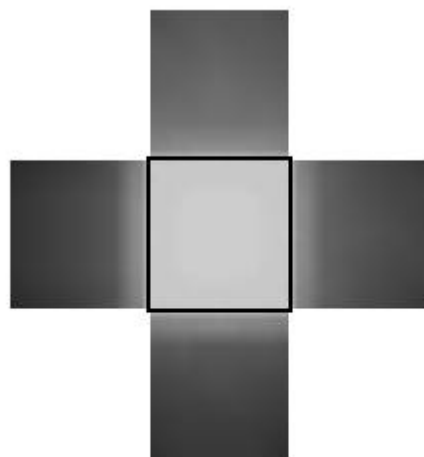
Nivel 6



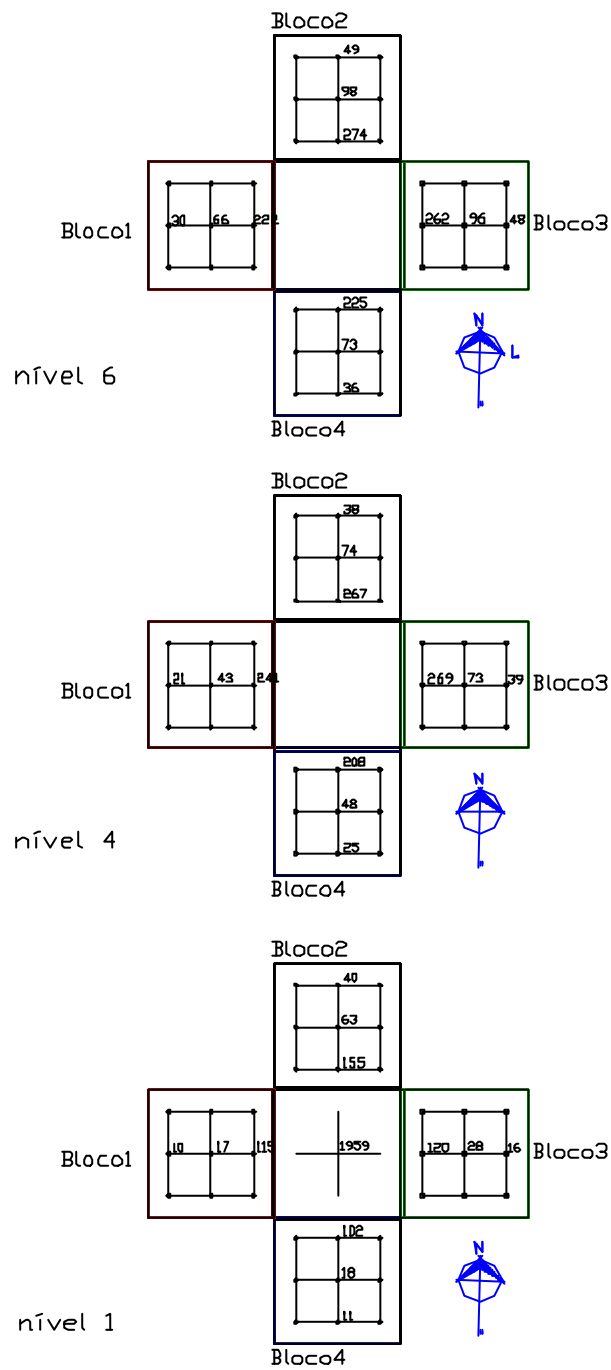
Nivel 4



Nivel 1



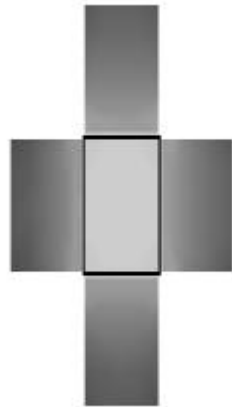
**Figura 60** – Interior das salas do Modelo 1 simulado em 21 de Novembro as 8:00h sob céu Encoberto.



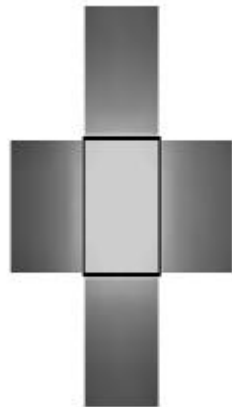
Grade de pontos horizontais medidos na simulação de Novembro, 10:00 h. céu Encoberto. Valores em lux

**Figura 61** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 1 em 21 de Novembro, 10:00h, sob céu Encoberto.

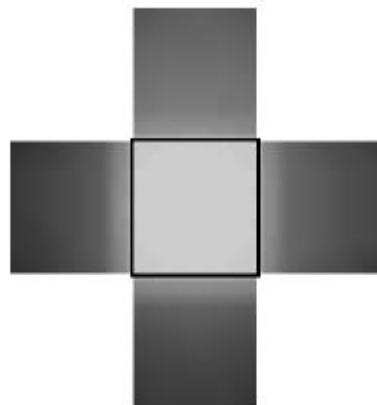
Nível 6



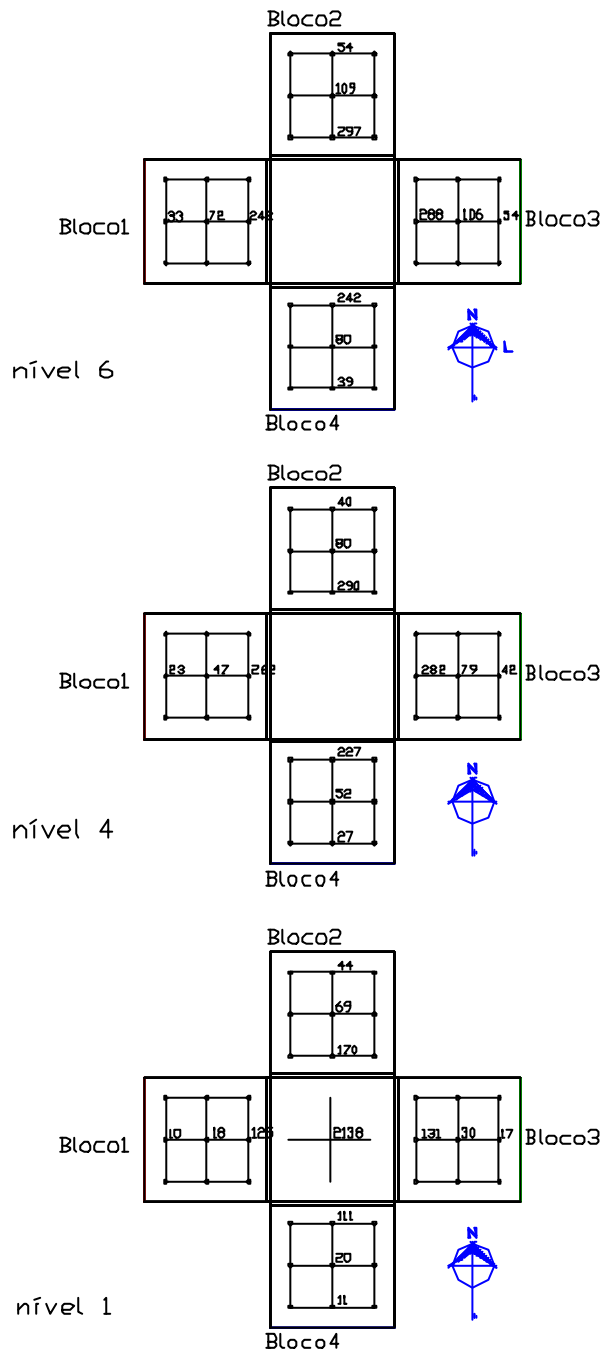
Nível 4



Nível 1



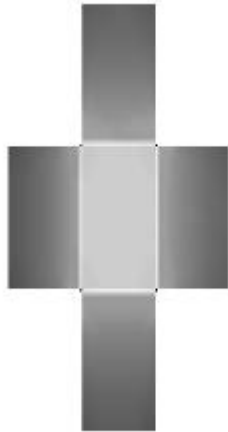
**Figura 62** – Interior das salas do Modelo 1 simulado em 21 de Novembro as 10:00h sob céu Encoberto.



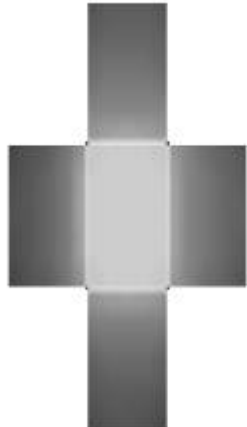
Grade de pontos horizontais medidos na simulação de Novembro, 12:00 h. céu Encoberto. Valores em lux

**Figura 63** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 1 em 21 de Novembro, 12:00h, sob céu Encoberto.

Nível 6



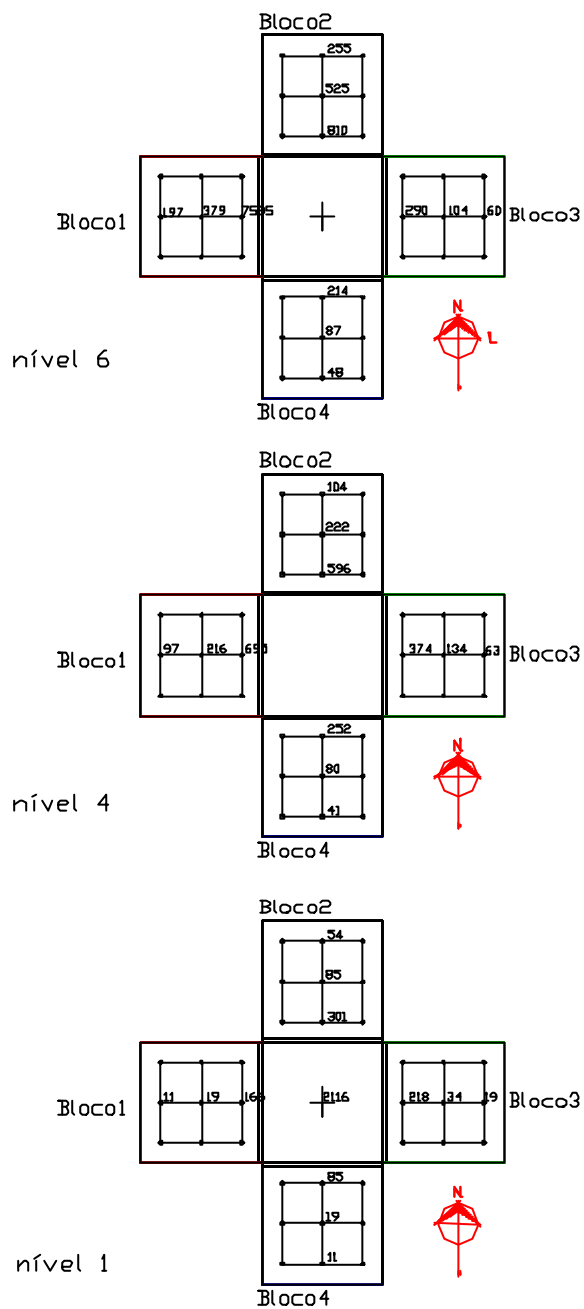
Nível 4



Nível 1



**Figura 64** – Interior das salas do Modelo 1 simulado em 21 de Novembro as 12:00h sob céu Encoberto.



Grade de pontos horizontais medidos na simulação de Novembro, 8:00 h. céu Claro. Valores em lux

**Figura 65** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 1 em 21 de Novembro, 8:00h, sob céu Claro

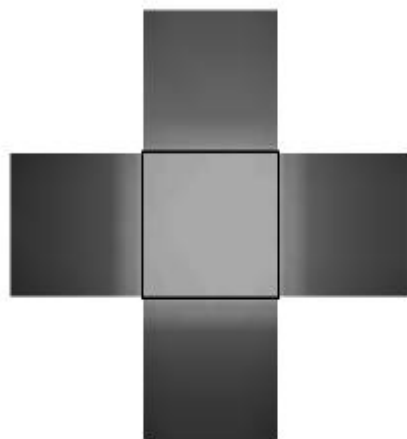
Nível 6



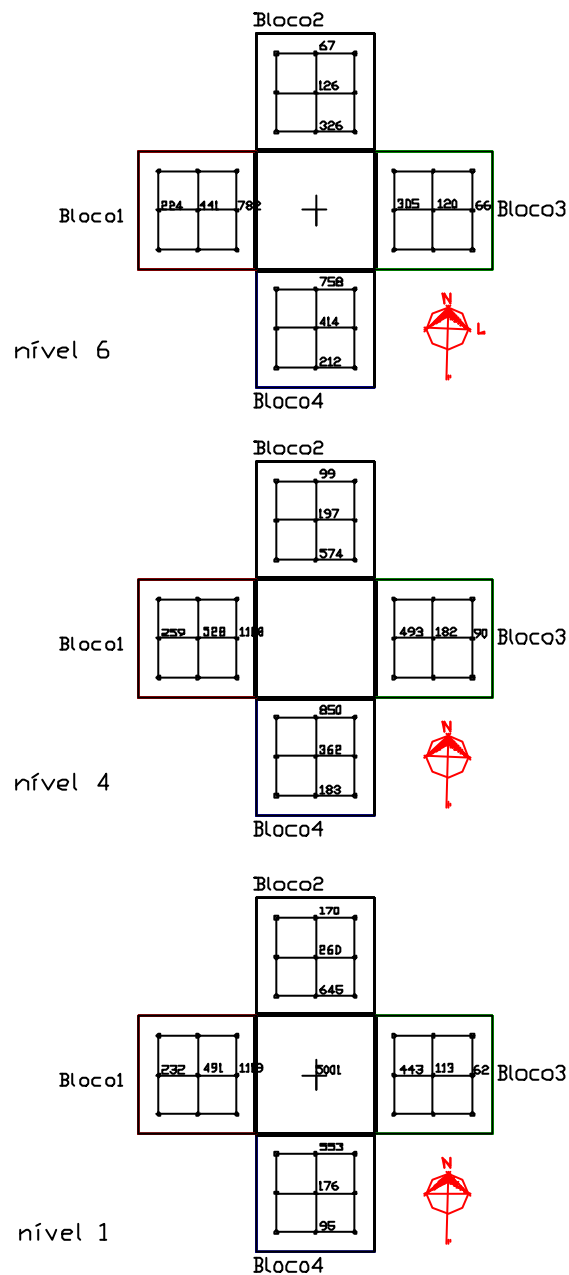
Nível 4



Nível 1



**Figura 66** – Interior das salas do Modelo 1, simulado em 21 de Novembro as 8:00h sob céu Claro.



Grade de pontos horizontais medidos na simulação de Novembro, 10:00 h. céu Claro. Valores em lux

**Figura 67** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 1 em 21 de Novembro, 10:00h, sob céu Claro



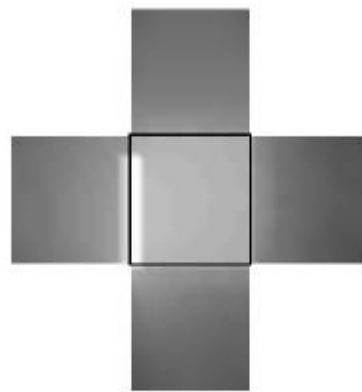
Nível 6



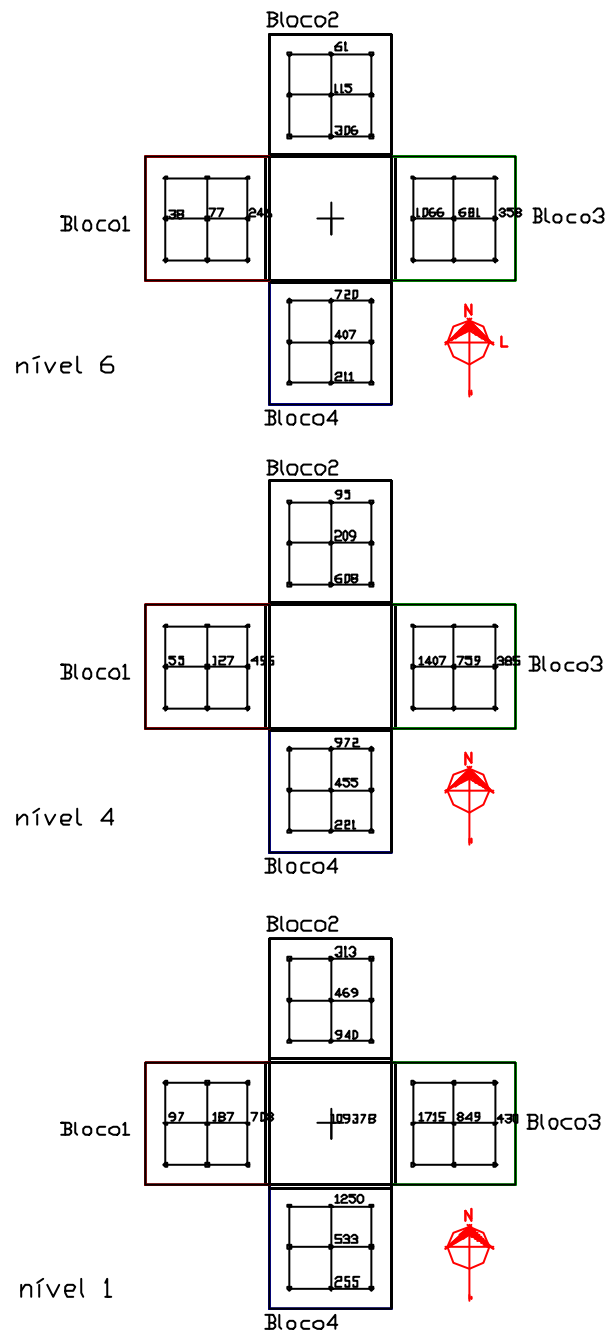
Nível 4



Nível 1



**Figura 68** – Interior das salas do Modelo 1, simulado em 21 de Novembro as 10:00h sob céu Claro.



Grade de pontos horizontais medidos na simulação de Novembro, 12:00 h. céu Claro. Valores em lux

**Figura 69** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 1 em 21 de Novembro, 12:00h, sob céu Claro

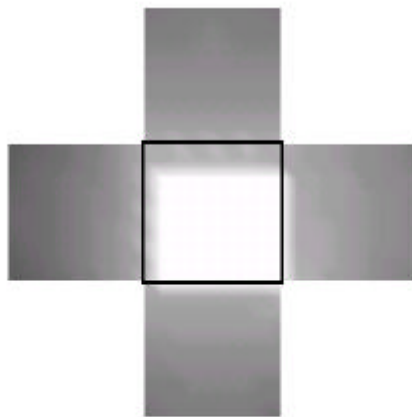
Nível 6



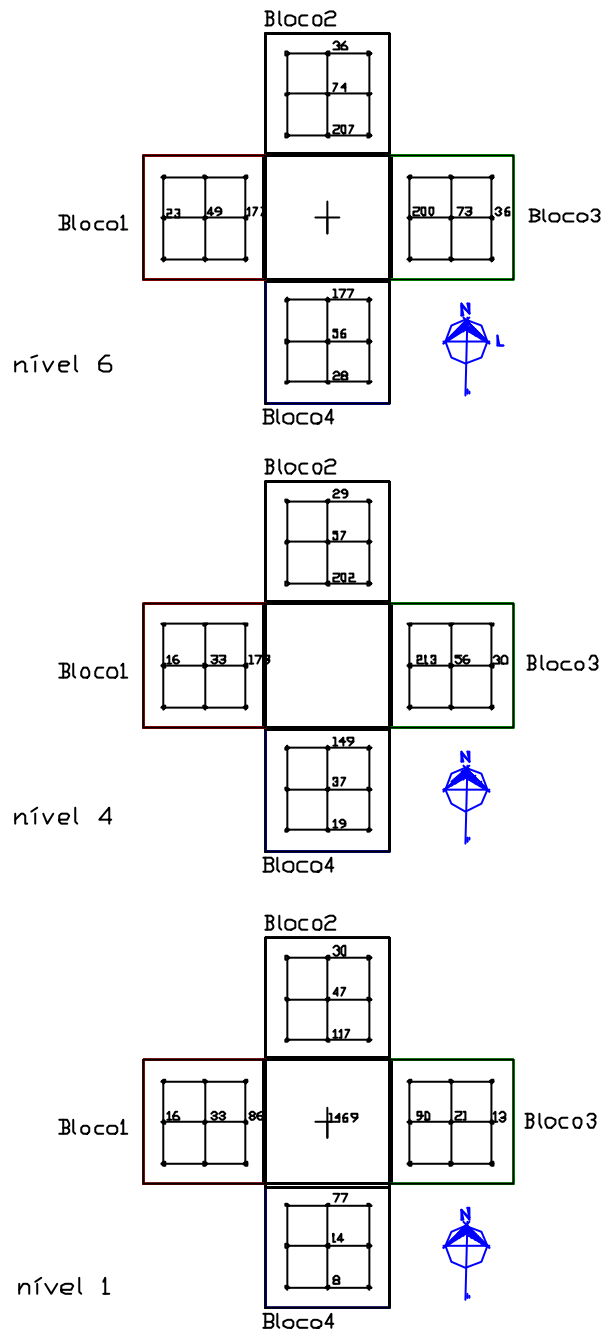
Nível 4



Nível 1



**Figura 70** – Interior das salas do Modelo 1, simulado em 21 de Novembro as 12:00h sob céu Claro.



Grade de pontos horizontais medidos na simulação de Maio, 12:00 h. céu Encoberto. Valores em lux

**Figura 71** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 1 em 21 de Maio, 12:00h, sob céu Encoberto.

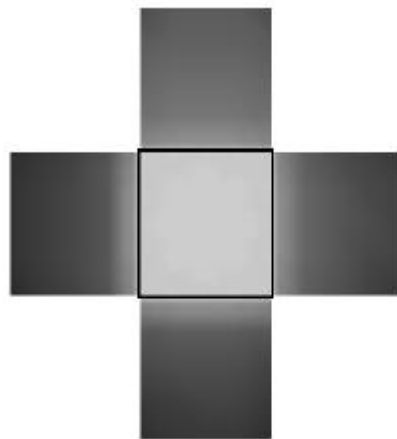
Nível 6



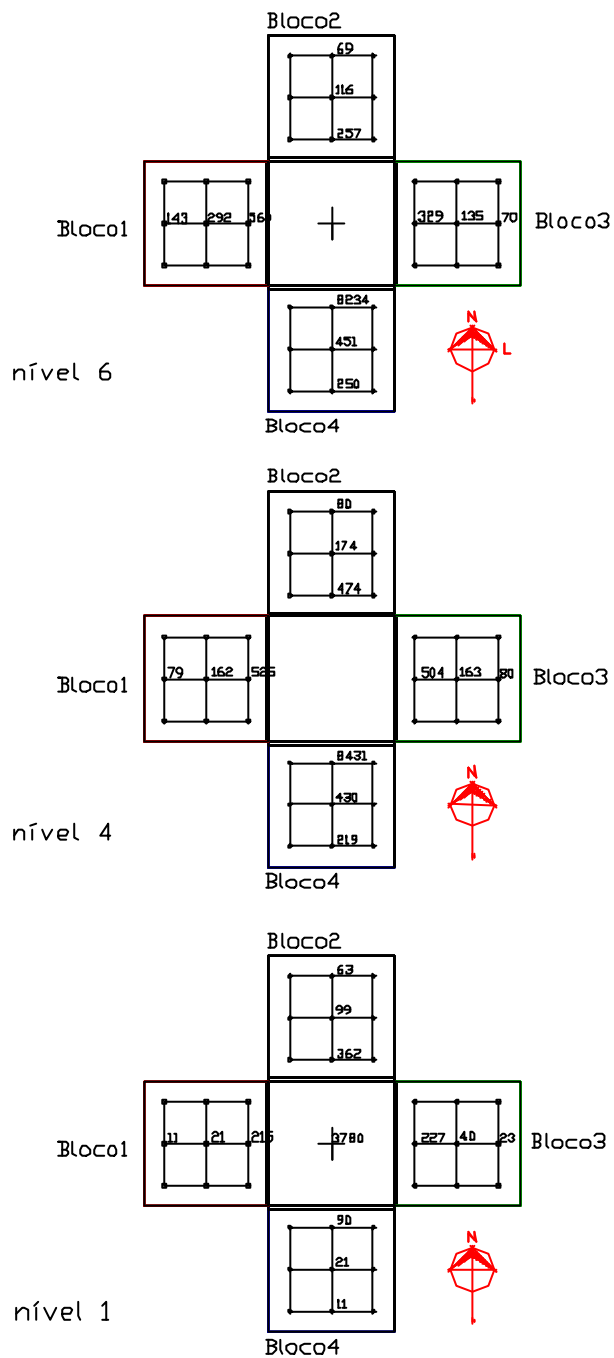
Nível 4



Nível 1



**Figura 72** – Interior das salas do Modelo 1, simulado em 21 de maio as 12:00h sob céu Encoberto.



Grade de pontos horizontais medidos na simulação de Maio, 12:00 h. céu Claro. Valores em lux

**Figura 73** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 1 em 21 de Maio, 12:00h, sob céu Claro.

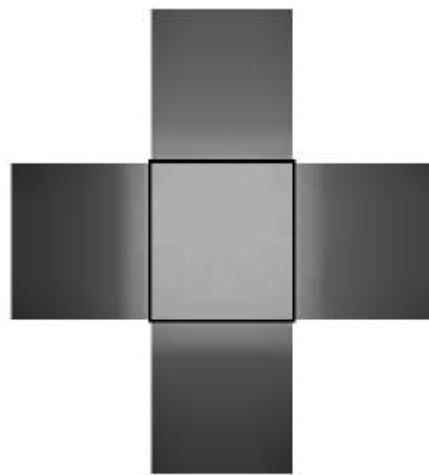
Nível 6



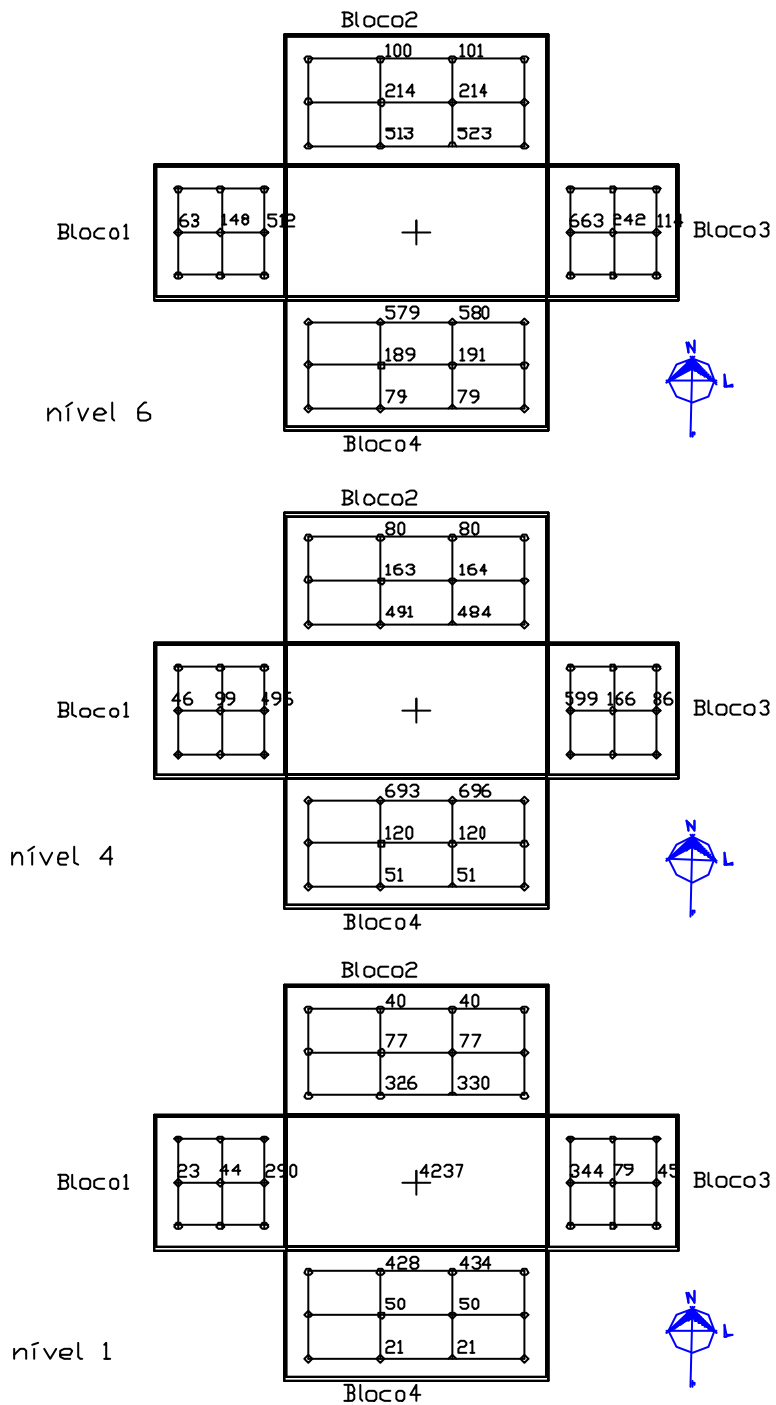
Nível 4



Nível



**Figura 74** – Interior das salas do Modelo 1, simulado em 21 de Maio as 12:00h sob céu Claro.

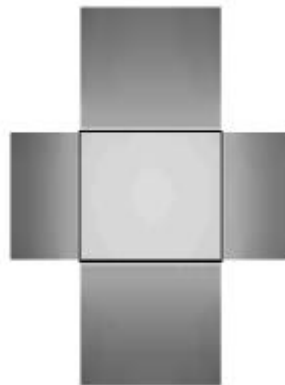


Grade de pontos horizontais medidos na simulação do Modelo 2 21 de Novembro, 12:00 h. céu Encoberto. Valores em lux

**Figura 75** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 2 em 21 de Novembro, 12:00h, sob céu Encoberto



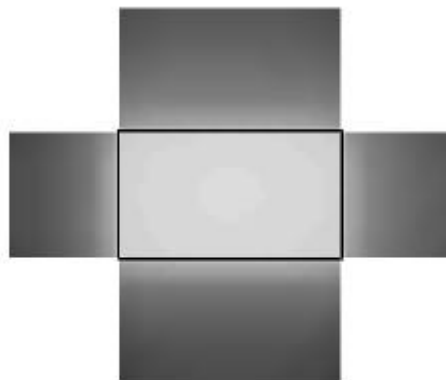
Nível 6



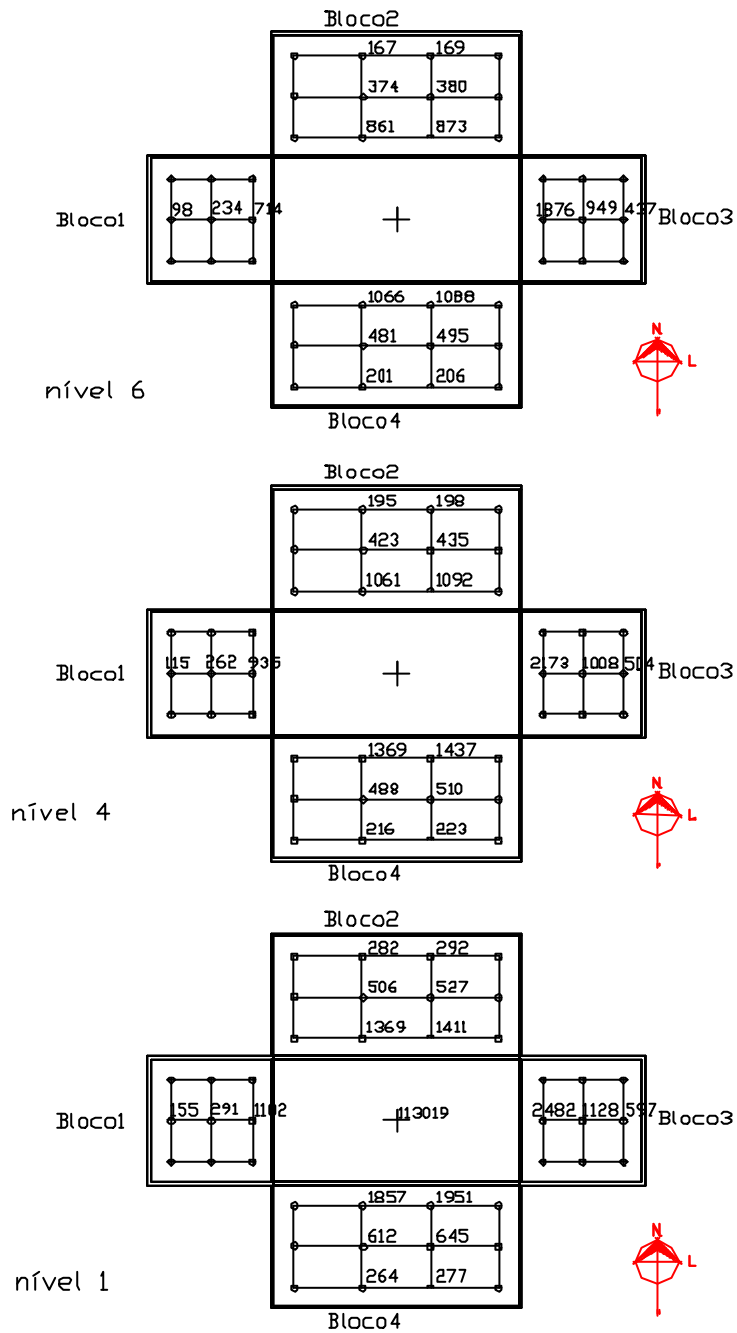
Nível 4



Nível 1



**Figura 76** – Interior das salas do Modelo 2, simulado em 21 de Novembro as 12:00h sob céu Encoberto.



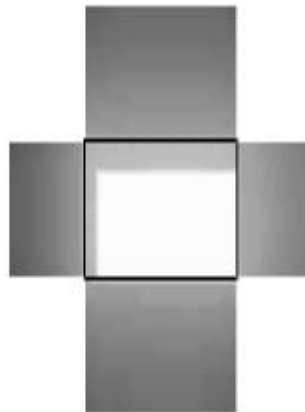
Grade de pontos horizontais medidos na simulação do Modelo 2 21 de Novembro, 12:00 h. céu Claro. Valores em lux

**Figura 77** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 2 em 21 de Novembro, 12:00h, sob céu Claro.

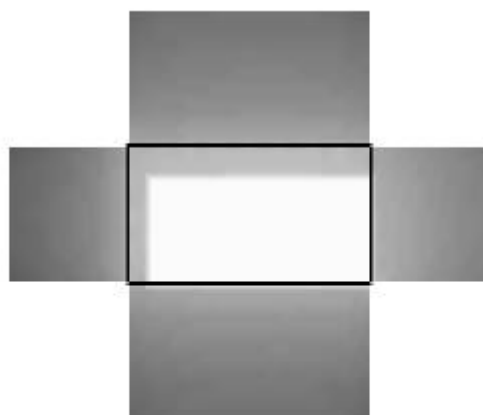
Nivel 6



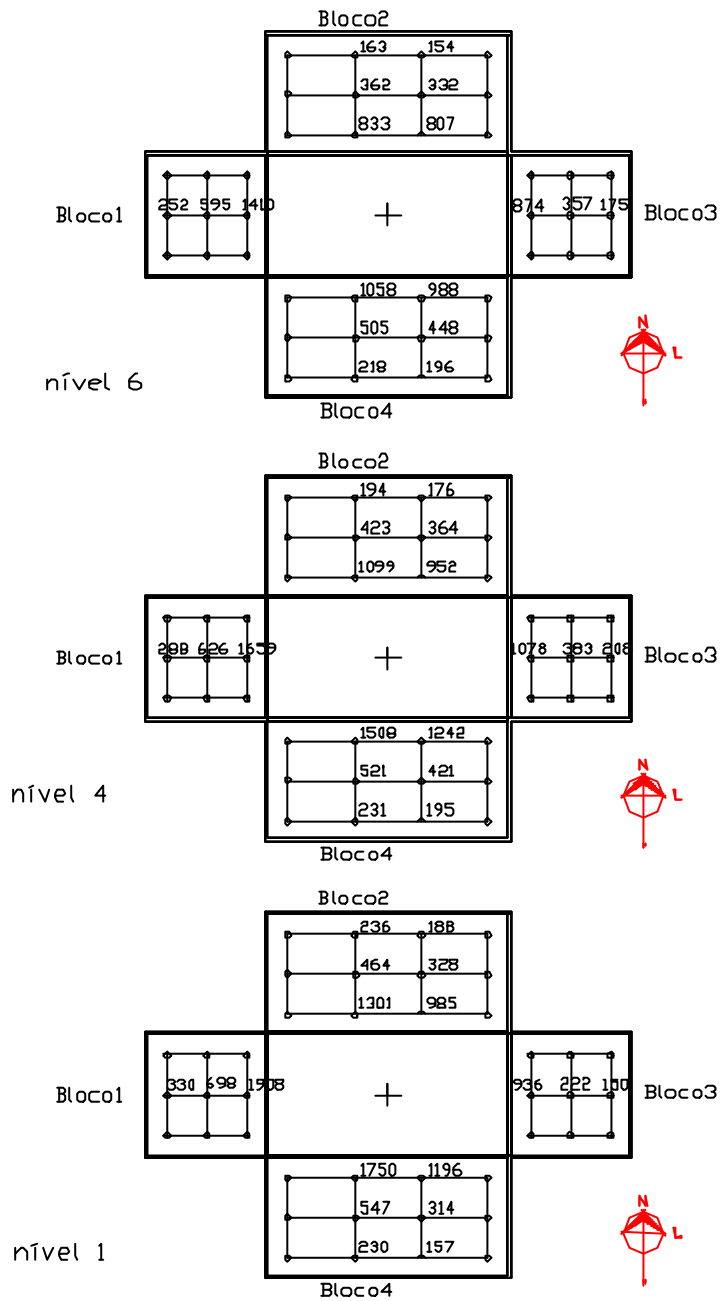
Nivel 4



Nivel 1

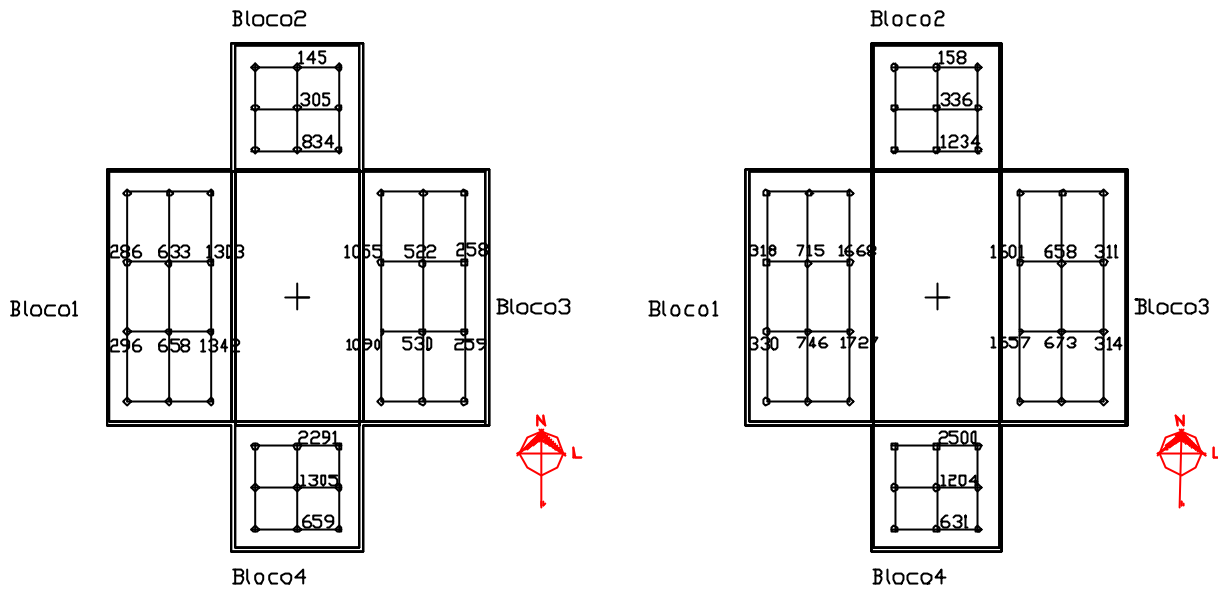


**Figura 78** – Interior das salas do Modelo 2, simulado em 21 de Novembro as 12:00h sob céu Claro.

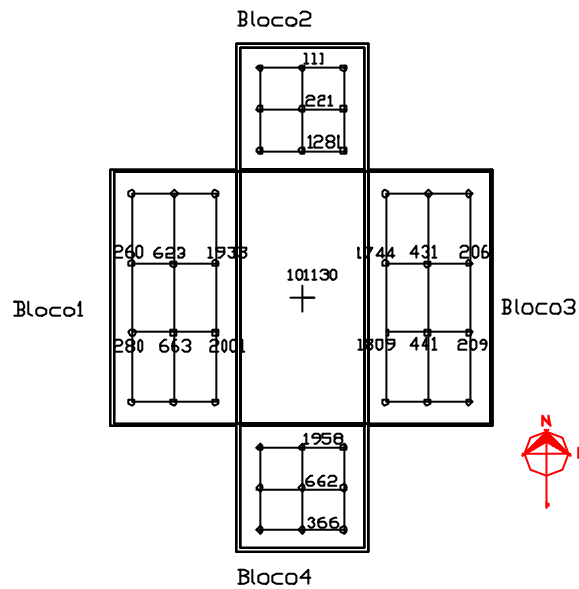


Grade de pontos horizontais medidos na simulação do Modelo 2 21 de Novembro, 10:00 h. céu Claro. Valores em lux

**Figura 79** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 2 em 21 de Novembro, as 10:00h sob céu Claro.



nível 1

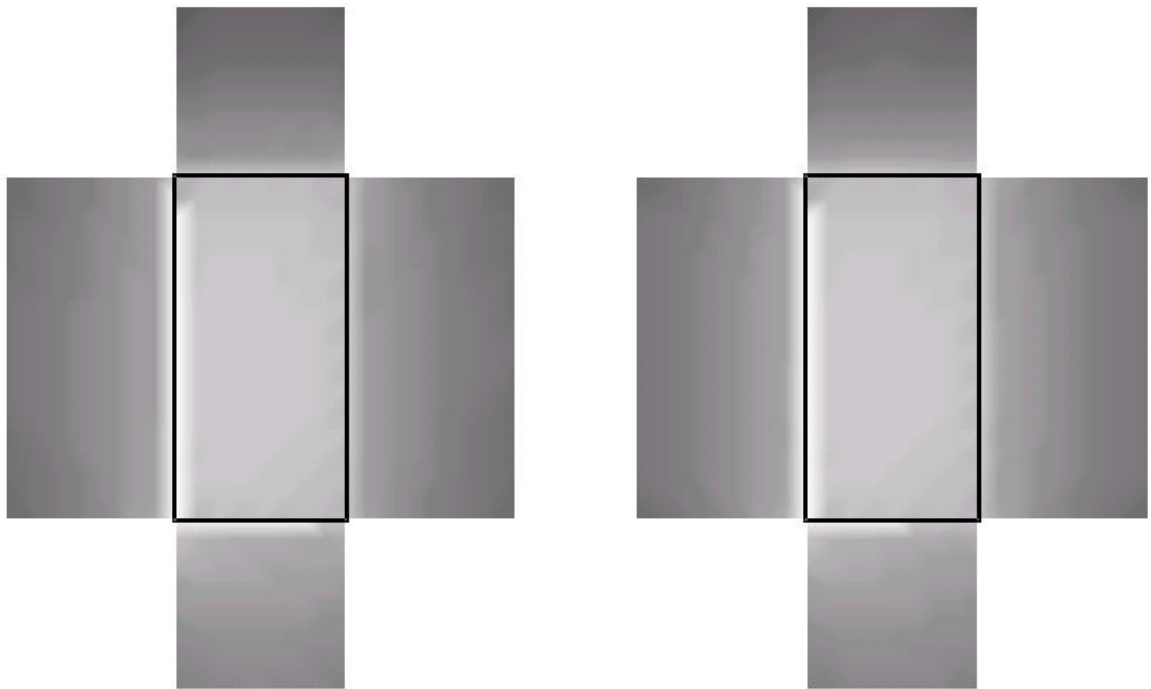


Grade de pontos horizontais medidos na simulação do Modelo 3 21 de Novembro, 10:00 h. céu Claro. Valores em lux

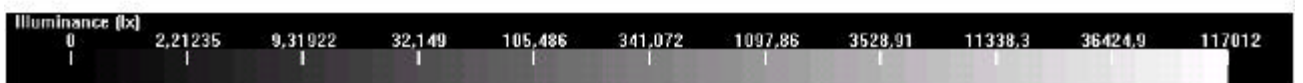
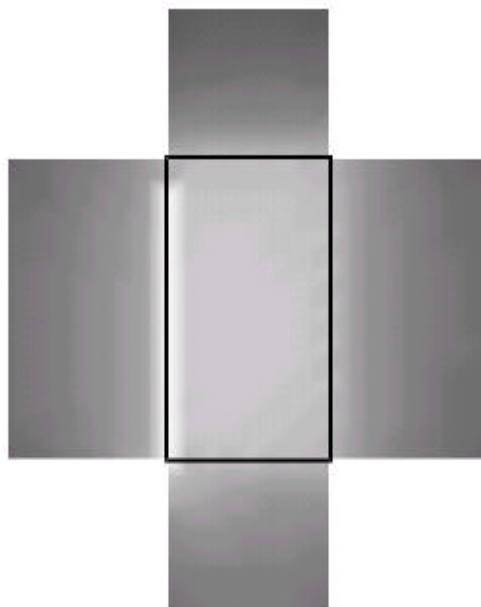
**Figura 80** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 3, em 21 de Novembro, 10:00h, sob céu Claro.

Nível 6

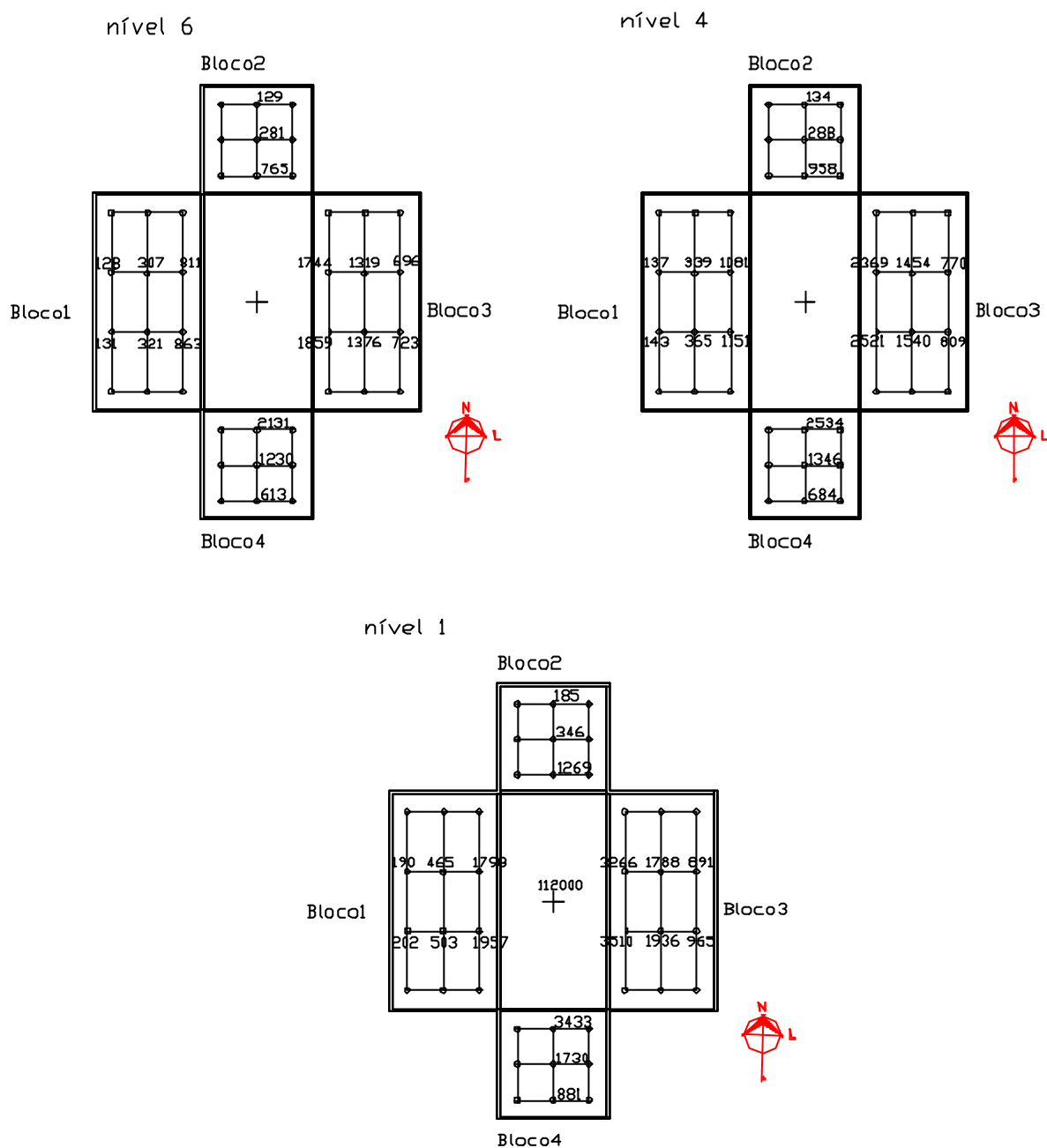
Nível 4



Nível 1



**Figura 81** – Interior das salas do Modelo 3, simulado em 21 de Novembro, as 10:00h sob céu Claro.

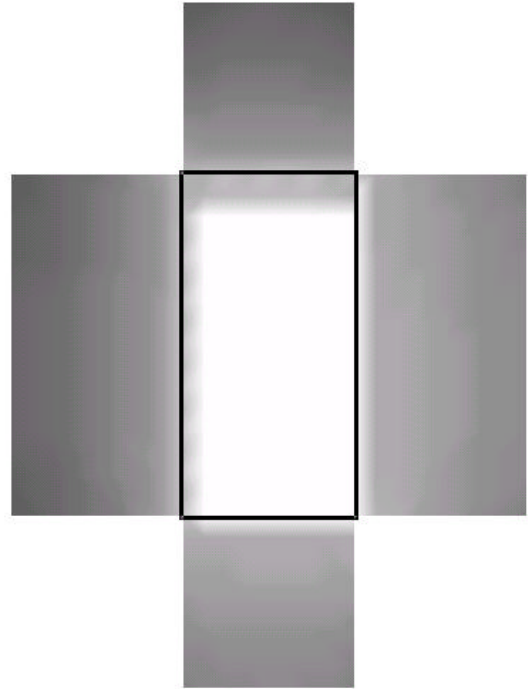
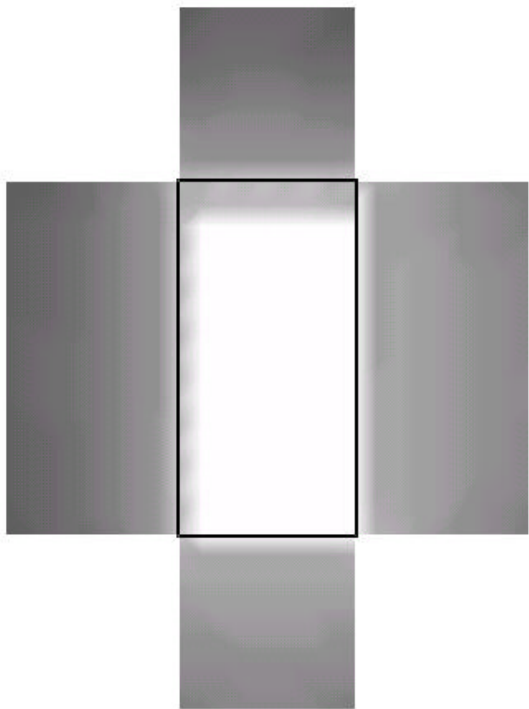


Grade de pontos horizontais medidos na simulação do Modelo 3 21 de Novembro, 12:00 h. céu Claro. Valores em lux

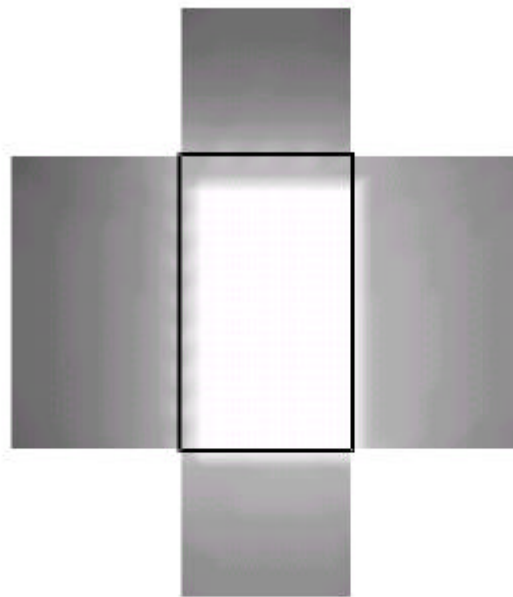
**Figura 82** – Pontos de iluminância medidos no interior das salas do Modelo 3 em 21 de Novembro as 12:00h sob céu Claro.

Nível 6

Nível 4



Nível 1



**Figura 83** – Interior das salas do Modelo 3, simulado em 21 de Novembro as 12:00h sob céu Claro.



#### 4.4 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

O espaço do átrio foi avaliado conforme a iluminância de suas fachadas e a quantidade de luz que transfere as salas adjacentes. Nas duas avaliações foram levados em conta a posição solar e a geometria do átrio.

- Sob céu claro, as fachadas que recebem os raios do Sol diretamente (**figuras 39 e 46**), são uma fonte de luz refletida para as salas das fachadas que ficam a sombra, com mostram **figuras 67/ 68 e 73/ 74**.
- Em Maio, sob céu claro, no horário de 12:00 h, os valores de iluminância no ponto h1 e h2 do Nível 4, são maiores que no Nível 6, nas fachada Oeste e Sul (**fig.73/ 74**). Estas fachadas recebem a contribuição da componente refletida pela fachada Norte, banhada do quarto ao sexto níveis pelos raios solares (**fig. 46**). Por este motivo também as salas do Nível 1 apresentam níveis muito baixos de iluminância, pois não recebem a mesma contribuição da componente refletida de luz.
- Em Novembro, sob céu claro, nos horário de 10:00 e 12:00 h, os valores de h1, h2 e h3 aumentam quanto mais próxima está a sala do piso do átrio (**fig. 67, 69 e 78**). Nestes horários, os raios solares incidem diretamente sobre a parede Leste (**fig. 39 e 51**) e sobre o piso do átrio (**fig. 40 e 52**), que contribuem na iluminação das salas adjacentes através da componente refletida.
- Os valores de iluminâncias conseguidos nas superfícies sob céu encoberto são muito mais baixos que os valores obtidos sob céu Claro. Porém apresentam uniformidade na distribuição da iluminação, conforme mostram as figuras das salas e dos átrios para céu encoberto.
- Apesar de uma distribuição uniforme no modelo sob céu Encoberto, os valores das iluminâncias incidentes variam em função da data, do horário e da geometria do átrio. Comparando-se o dia 21 de Maio com 21 de Novembro, no horário de 12:00 h., a diferença entre os pontos de iluminâncias medidos nas salas chega a diminuir pela metade para data de 21 de Maio. (**fig. 63/ 64 e 71/ 72**). Comparando-se o Modelo 1

com o Modelo 2, as iluminâncias chegam a medir mais que o dobro para o Modelo 2 (**fig. 63/ 64 e 75/ 76**).

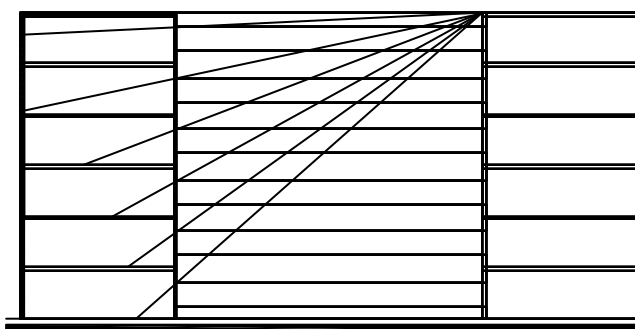
As iluminâncias conseguidas são menores para as simulações de Maio, porém, é nesta data, sob céu Claro e nos horários matinais em que o Sol incide mais horizontalmente, que há uma maior ocorrência do ofuscamento causado pela incidência dos raios solares dentro das salas.

- Em Novembro o ofuscamento ocorre apenas na sala do Nível 6, na fachada Leste, as 8:00 h. da manhã (**fig. 66**). Considerando o Modelo 1.
- Em Maio, este tipo de ofuscamento não ocorre as 8:00 h. mas ocorre as 10:00 h. na sala no Nível 6, na fachada Norte. E as 12:00 h. nas salas dos Níveis 4 e 6, na fachada Norte (**fig. 74**). Considerando o Modelo 1.
- Apesar da semelhança do aspecto do átrio para os horários de 8:00 h. em Novembro (**fig. 38**) e as 12:00 h. em Maio (**fig. 46**), a distribuição de iluminâncias nas salas adjacentes para estes mesmos horários e datas é diferente, pois sob céu Claro o ângulo de incidência solar é diferente para cada data e horário (**fig. 66 e 74**).
- Para todos os modelos simulados, a diminuição das iluminâncias nos pontos medidos ocorre muito mais em função da profundidade da sala que em profundidade do átrio. A distância vertical entre os pontos do Nível 6 aos pontos do Nível 4 é de 600 cm, e a diferença de iluminância entre os dois níveis gira em torno de 1/2 a 1/3. Enquanto que para os 600 cm que separam horizontalmente os pontos h1 e h3 numa mesma sala, os valores das iluminâncias decrescem na ordem de 1/6 a 1/10.
- Sob céu encoberto em todos os horários e datas, há um decréscimo de iluminâncias muito acentuado do ponto h1 ao ponto h3. As salas do nível 1 (térreo) as áreas afastadas das janelas recebem iluminâncias muito baixas, em torno de 40 a 10 lux, são caracterizadas como as zonas escuras dos modelos simulados.

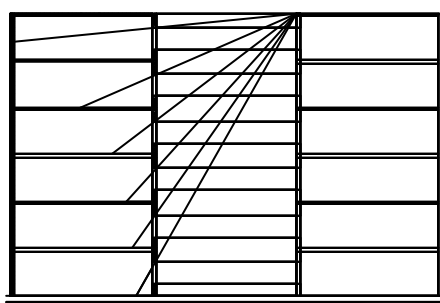
Além das variáveis ambientais, a variável arquitetônica de geometria também influencia na quantidade de luz do dia conduzida pelo átrio as salas adjacentes. O modelo 2, (**fig. 76 e 78**), com área de topo e piso duas vezes maiores que a área do Modelo 1, (**fig. 64 e 70**) e com o

mesmo número de andares, apresenta resultados de iluminância muito maiores. Esta diferença é caracterizada no cálculo de Índice de Profundidade, IP, do átrio. Quanto maior o IP, mais alto, mais estreito e conseqüentemente mais escuro ou sombreado é o átrio. Além do IP diferente para os dois modelos, mudou-se também o desenho da área de topo e piso do átrio, sendo uma quadrada e outra retangular.

A diminuição do Índice de Profundidade (Ip) para o modelo 2, proporcionou o aumento da iluminação em todos os ambientes. Como a área de topo mudou de quadrada para retangular, a linha que limita a visão do céu no Modelo 2 aumentou para os blocos Leste e Oeste, (**figura 84**), e permaneceu a mesma do Modelo 1 para os blocos Norte e Sul, (**figuras 85**). Porém esta diferença não impediu o aumento homogêneo da iluminação em todas as salas, nos dois modelos.



**Figura 84** – Linha limite de visão do céu para os blocos Leste e Oeste do Modelo 2 e 3



**Figura 85** – Linha limite de visão do céu para as salas do Modelo 1 e para os blocos Norte e Sul do Modelo 2 e 3

Pelo fato do átrio do modelo 2 ter uma geometria retangular, foi necessário compará-lo ao Modelo 3, que possui as mesmas características físicas que o Modelo 2 porém orientação solar diferente conforme as **figuras 78 e 83**

- A distribuição de iluminâncias varia pouco entre os dois modelos. No geral as salas do Modelo 3 são mais iluminadas que as salas do Modelo 2.
- Como a incidência da luz natural no átrio ocorre de maneira diferente para as duas posições solares, os blocos mais iluminados ou menos, são diferentes para os dois modelos. Por exemplo, no horário das 12:00 para o Modelo 2 as salas do bloco 1 são as menos iluminadas e, para o Modelo 3 isto ocorre nas salas do bloco 2, **figuras 77 e 82**, respectivamente. Nas duas simulações estas são as salas mais afastadas das fachadas que dão a maior contribuição de luz refletida.

#### 4.5 CONCLUSÃO

Este capítulo expôs os resultados obtidos entre as comparações das situações simuladas, através da análise gráfica e numérica dos modelos de átrio apresentados. Os objetivos de estudo citados na introdução deste trabalho foram realizados. Quanto as hipóteses sugeridas, pode-se dizer que formaram uma idéia muito abrangente dos resultados a serem alcançados, pois após realizada a pesquisa verificou-se que a relação entre as variáveis analisadas tem diferentes ramificações e neste estudo foram exploradas apenas uma parte das possibilidades do tema.

## 5. CONCLUSÕES

A arquitetura brasileira está muito acanhada atualmente no que diz respeito ao aspecto aproveitamento de ventilação e iluminação naturais. O racionamento de energia elétrica está mostrando o quanto as construções são dependentes da climatização e iluminação artificiais. Esta dependência foi alimentada ao longo do tempo pela facilidade de se projetar com o apoio recursos artificiais. Em não havendo a necessidade da sua utilização no interior dos edifícios, o meio ambiente externo foi e está sendo degradado. Principalmente em grandes metrópoles como a região central da cidade de São Paulo, a utilização de janelas abertas se tornou praticamente impossível, em consequência da poluição, sonora e de gases, do ar.

O estudo sobre a iluminação natural através de átrios, proporcionou a visão das muitas possibilidades que se tem de explorar elementos arquitetônicos para aproveitar uma grande fonte de energia que é o Sol. Muitas vezes as fontes de ambientação naturais não são usadas por falta de informação e preconceitos sem fundamento de que as mesmas não funcionam, deixando de lado até mesmo a opção de usarem-se sistemas elétricos e naturais integrados. Porém, para se poder usar um determinado recurso, é necessário conhecê-lo primeiro, suas qualidades, defeitos e forma de aplicação. Antigamente os arquitetos já faziam seus estudos sobre a iluminação natural em ambientes construídos através do uso de modelos em escala reduzida (maquetes). Hoje, tem-se o recurso tecnológico da simulação computacional em programas de iluminação. Esta ferramenta está proporcionando a possibilidade de estudar a luz do dia em ambientes construídos, principalmente em grandes edificações, já que a aplicação dos recursos naturais para a ambientação interna de casas é bem mais simples.

A praticidade do método de avaliação dos modelos, através da simulação computacional, proporcionou uma análise mais aprofundada do comportamento da luz dentro de salas iluminadas através de um átrio. A partir dos resultados conseguidos nas salas e no próprio átrio, foram feitas as avaliações referentes às variáveis ambientais e aos modelos, presentes neste estudo, e a maneira como afetam a iluminação natural dos ambientes simulados.

As diferentes épocas do ano e horários simulados demonstraram, principalmente sob céu claro, a importância da componente de luz refletida externa. A presença maior ou menor da incidência solar sobre as superfícies do átrio determina a quantidade de iluminação medida dentro das salas

e na sua distribuição. Sob céu encoberto, a distribuição praticamente não se modifica, mas a quantidade de iluminação medida nos pontos varia de acordo com a data e a hora.

A condição atmosférica é uma das variáveis mais difícil de se trabalhar ao utilizar-se da luz do dia como fonte de iluminação. As diferentes condições de céu, desde o claro ao encoberto criam, a partir do átrio, diferentes maneiras de distribuição da luz do dia para as salas adjacentes.

Em dias de céu claro ou próximo dele, a luminância proveniente das superfícies ensolaradas do átrio se torna uma importante fonte de iluminação para as salas. Como pode ser observado na análise dos resultados, esta fonte de luz em algumas épocas do ano torna as salas térreas mais iluminadas que as salas do sexto nível. Quando, em se tratando de átrio, esperava-se que as salas do topo apresentassem sempre os maiores valores medidos na simulação.

Sob o céu encoberto os resultados foram bem mais previsíveis, mesmo porque os vários estudos sobre átrios revisados já o utilizavam, por se apresentar como uma fonte de luz natural pouco variável. Diferente do céu claro, a distribuição da iluminação sob céu encoberto diminui conforme a proximidade da sala ao piso do átrio. No geral os três pisos mais próximos do topo apresentam valores de iluminâncias parecidos. As variações na quantidade de iluminação ocorrem em função da hora, do dia e época do ano, que proporcionam uma abóboda mais brilhante quando a simulação se aproxima do meio dia e do solstício de verão.

Em ambas as condições de céu utilizados, chegou-se a conclusão que os átrios conduzem não somente a luz do dia para as salas adjacentes, mas também a informação da passagem das horas, do clima do dia e da estação do ano. Com a vantagem de que um ambiente natural que faz parte de um edifício terá um comportamento previsível e manipulável para quem projeta, enquanto que o meio ambiente externo estará sempre sujeito às mais variadas intervenções, principalmente humanas, impossíveis de serem todas previstas pelo projetista.

Comparando-se as duas geometrias de átrio trabalhadas, observou-se, tanto para céu encoberto como para céu claro, que as salas do modelo 2, com índice de pátio ( $I_p$ ) 1,5, apresentam bons níveis de iluminação. O Modelo 1 com  $I_p$  2,0, para algumas simulações apresenta valores de iluminâncias muito baixos. Em vista destes resultados e da análise da legislação construtiva de Florianópolis que trata sobre “prismas de iluminação e ventilação”, nem sempre a legislação

deve ser considerada como diretriz de projeto. O importante é verificar também se cálculo do  $I_p$  (índice de profundidade) não esteja muito acima de 2,0. Além do  $I_p$  a orientação solar da edificação modifica o desempenho de um átrio, principalmente se este apresenta uma forma irregular, como o modelo 2 e 3.

As características dos espaços adjacentes ao átrio tem influência principalmente na variação de iluminação no sentido horizontal, ou seja na profundidade do ambiente. As variações de iluminação dentro das salas ocorrem tanto no sentido horizontal, da janela ao fundo da sala, como no sentido vertical do topo ao piso do bloco.

O decréscimo de iluminação é mais acentuado no sentido horizontal e sempre ocorre. O maior ou menor contraste entre as áreas próximas a janela e as áreas do fundo da sala, dependem dos elementos utilizados para a passagem da luz do átrio para o interior. Como foi visto no capítulo 2, a dimensão das aberturas e os elementos de controle associados a elas podem modificar a trajetória da luz, a exemplo de prateleiras de luz e brises.

No sentido vertical há um decréscimo menos acentuado de iluminação. Do sexto nível para o quarto nível, principalmente sob céu encoberto e quando o sol não entra nas salas, a variação é praticamente inexistente. E em algumas ocasiões, sob céu claro, não ocorre decréscimo de iluminação conforme a sala se aproxima do térreo, mas sim acréscimo, como já foi visto anteriormente no capítulo 4. Isto ocorre porque com a incidência de sol sobre o piso do átrio torna este uma fonte de iluminação refletida para as salas do térreo (nível 1).

A influência da cobertura do átrio não foi abordada neste estudo como uma variável de avaliação. O topo foi considerado aberto. Mas considerando os resultados obtidos nos dois tipos de céu avaliados, o uso de materiais translúcidos na cobertura reduziria muito a qualidade e a quantidade de iluminação natural que se pode conduzir pelo átrio às salas adjacentes. O ideal para se evitar pontos de ofuscamento seria explorar o uso de elementos que controlem pontualmente em cada sala este tipo de ocorrência, além de se usar no próprio átrio materiais foscos, com refletância uniforme.

Quanto às áreas escuras, em algumas salas pode-se usar elementos que auxiliem no redirecionamento da iluminação, nas salas e no próprio átrio. Isto pode se dar através de

intervenções cobertura e nas fachadas opostas. Há também a possibilidade de se explorar outros pontos de captação de luz do dia, já que um edifício com átrio pode também ter outras fachadas com aberturas, que podem ser voltadas para rua, por exemplo.

Enfim, somente a partir do conhecimento das características dos diversos sistemas possíveis de aproveitamento de luz natural, é que se poderá buscar a melhor utilização deles, dependendo da necessidade e função de cada edificação.

## 6. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A utilização da simulação computacional como ferramenta de pesquisa requer do usuário um certo conhecimento em programas computacionais de desenho técnico. Além de uma boa máquina que suporte os programas necessários e possibilite a utilização confortável do Lightscape.

A simulação de modelos mais trabalhados é demorada, por isso, mesmo que o programa ofereça diversas combinações de simulação, é necessário que se faça uma programação antecipada do que se deseja avaliar, para evitar simulações em excesso.

A retirada dos resultados obtidos no Lightscape em forma de análise é um dos pontos de dificuldade do programa, sendo para outros programas ou mesmo através da impressão.

## 5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Os trabalhos futuro podem seguir pesquisando sobre o comportamento do átrio com outros tipos de geometria, materiais, tamanho de janelas índices de profundidade, existência de cobertura e diferentes orientações solares.



Outra linha a seguir é a pesquisa de elementos que podem otimizar a iluminação natural captada pelo átrio, deixando as áreas com sombra mais claras e evitando o ofuscamento no interior das salas.

Também pode-se trabalhar com o  $I_p$ , determinando diferentes características de fachadas de acordo com a orientação solar.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- AIZLEWOOD, M.E., ISAAC, K.A. & LITTLEFAIR, P.J. *A compareison of measuraments, theory and simulation*. Building Research Establishment, Lux Europa, 1997.
- AIZLEWOOD, M.E; ISAAC, K.A. & LITTLEFAIR, P.J. *A scale model of daylighting in atrium buildings*. IESANZ, Perth, Australia, novembro de 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR-5413, NB-57 Iluminância de interiores*. ABNT, maio, 1991.
- BAKER, N; FANCHIOTTI, A. & STEEMERS, K. *Daylightin in architecture. A european reference book*. James & James (Science Publishers) Ltd. London, 1993.
- CGW, Computer Grafics World. Agosto 1996.
- CHING, Francis D. K. *Dicionário visual de arquitetura*. Martins Fontes, São Paulo, 1999.
- COLE, R J. The effect of the surfaces enclosing atria on the daylight in adjacent spaces. *Building and Environment*. Vol. 25 No 1, pp. 37 – 42, 1990.
- CORRÊA, Silvia Regina Morel. Luz natural y luz artificial. *Integracion di sistemas y su aplicación en proyectos de escuelas*. Universitat Politècnica de Catalunya, 1997.
- GIRARDIN, Maria C. *Iluminacion Natural, método de cálculo y conceptos fundamentales*. Ed. Centro de Estudiantes de Arquitectura, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 1994.
- HERTZBERGER, Herman. *Lições de arquitetura*. Martins Fontes, São Paulo, 1996.

- HOPKINSON, R. G; PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. *Iluminação Natural*. William Heinemann, Ltda, London, 1966.
- HOUSER, Kevin W. TILLER, Dale K. & PASINI, Ivaldo C. *Toward the accuracy of lighting simulations in physically based computer graphics software*. Journal of the Illuminating Engineering Society, Winter, 1999.
- KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, Alan; SZOKOLAY, S. V. *Manual of tropical housing and building*. Longman, London, 1973.
- LAM, William M. C. *Sunlighting as formgiver for architecture*. Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1980.
- LYNTON, Norbert. *O mundo da arte – Arte moderna*. Enciclopédia Britânica do Brasil Publicações LTDA, Expressão e Cultura – Rio de Janeiro, 1979.
- LITTLEFAIR, P J & AIZLEWOOD, M E. *Daylighting in atrium buildings*. BRE, Construction Research Communications Ltda, London, 1998.
- LIU, A., M. Navab, J.Jones. *Geometric shape index for daylight distribution variations in atrium spaces*. Congress International Solar Energy Society, vol. 3 part 1, Denver, Colorado, USA, agosto 1991.
- MASCARÓ, Juan José. *Environmental performance of atria in the humid subtropical climate*. PLEA'98, Lisboa, Portugal, 1998.
- MOORE, Fuller. *Concepts and practice of architectural daylighting*. Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1991.
- PEREIRA, Fernando O. R. Dr. Curso de Iluminação natural em ambientes construídos. III Encontro Nacional e I Encontro Latino- Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS, 1995.

ROBBINS, Claude L. *Daylighting, design and analysis*. Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1986.

SCHILLER, Silvia de & EVANS, John Martin. *Rediscovering outdoor living space. Design from the outside in*. PLEA' 98, Lisboa, Portugal, 1998.

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. *Iluminação Natural em Edificações: cálculo de iluminâncias internas – desenvolvimento de ferramenta simplificada e sua aplicação a legislação construtiva*. Tese de mestrado em Engenharia Civil, UFSC, 1997.

STAHL, Antônio Luiz L. *Iluminação natural através de pátios. Bases para o estabelecimento de diretrizes de projeto arquitetônico*. UFRG, Faculdade de Arquitetura, Porto Alegre, 1994.

WATSON, Donald. *Who was the first solar architect?* PLEA'98, Lisboa, Portugal, 1998.