

# A contribuição de tecnologias de energia passiva para a eficiência energética e qualidade ambiental de escolas públicas: o caso do uso da luz natural em escolas de climas tropicais

*The contribution passive energy technologies for energy efficiency and environmental quality of public schools: case the use natural light in schools in tropical climates*

Dilson Batista Ferreira\* e Ricardo de Sousa Moretti\*\*

## Resumo

Este trabalho visa demonstrar a importância da luz natural para a eficiência das edificações escolares através de simulações computacionais de estratégias captação de luz natural. Visa demonstrar em rápido exercício o desperdício, econômico e energético e apresentar propostas para reduzir o consumo da energia elétrica em uma escola pública. Pretende demonstrar como a luz natural poderá aumentar a eficiência das tarefas visuais exercidas nestes espaços, utilizando-se de elementos arquitetônicos utilizados na região tropical brasileira. Esta potencialidade climática tem sido pouco explorada principalmente, em regiões tropicais quentes - úmidas, como é o caso da cidade de Maceió-AL, foco deste trabalho.

**Palavras-chave:** Simulação computacional, Luz natural, Economia, Escolas Públicas.

## Abstract

*This paper demonstrates the importance of natural light to the efficiency of school buildings through computer simulations to capture natural light strategies. Demonstrate quick exercise in waste, energy and economic and proposals to reduce the consumption electricity in a public school. Demonstrate how natural light can increase the efficiency of visual tasks performed in these spaces, using architectural elements used in the Brazilian tropical region. This climatic potential has been little explored mainly in warm tropical areas - wetlands, such as the city of Maceió-AL, focus of this work.*

**Keywords:** Computer Simulation, Daylight, Economy, Public Schools

\*Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade Federal do ABC.

\*\*Doutor, Professor Titular do Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade Federal do ABC.

## Introdução

Cada vez mais a conservação de energia torna-se fator essencial à retomada do desenvolvimento econômico e social, visto que reduz os recursos governamentais necessários para execução e ampliação do setor elétrico, diminuindo os impactos ambientais e a poluição global, proporcionada, por exemplo, pela necessidade de construção de novas usinas geradoras de energia. A realidade energética brasileira, em tempos de bom crescimento industrial, revela um consumo excessivo de energia, o que implica no aumento da demanda energética. Este alto consumo aliado à falta de planejamento já culminou em uma crise em 2001-2002, denominada de “crise do apagão”, que desorganizou os serviços públicos, causou queda de arrecadação e investimentos, aumentou o desemprego pela redução da produção, gerou instabilidades socioeconômicas e ambientais, reduziu a produtividade nacional e abalou as perspectivas de crescimento econômico no nosso país (SINGER, 2001, p. 26). Atualmente em 2014 corremos o mesmo risco.

Atualmente vivenciamos novo risco, principalmente no Sudeste, onde há sérios problemas de distribuição de energia, ocasionando apagões esporádicos que já afetaram mais de 2,5 milhões de pessoas nos primeiros meses de 2011. Em 2013 e 2014 reservatórios importantes apresentaram níveis críticos, afetando não apenas riscos de apagões mais também de abastecimento de água. Apagões também ocorreram em 9 estados nordestinos em 2012, afetando mais de 30 milhões de pessoas, por mais de 9 horas.

A análise do atual quadro de consumo energético no país revela que a iluminação artificial tem assumido um custo crescente no consumo total de energia elétrica dos ambientes construídos, algo em torno de 25-30% a depender das características regionais (ELETROBRÁS, 2008). Este desperdício demonstra que os prédios públicos no Brasil, dentre os quais as escolas, necessitam aumentar a sua eficiência no consumo de energia elétrica,

proporcionado pelo uso intensivo da iluminação artificial e por padrões arquitetônicos inadequados de edificações que desconsideram as questões energéticas e ambientais. O alto custo com a iluminação artificial e sua manutenção compromete, em parte, o já crítico orçamento destinado à educação. Isso tem impedido uma maior aplicação de investimentos na infraestrutura e manutenção dos edifícios escolares. Neste sentido valorar economicamente estes desperdícios pode ser importante para fazer análises de pay back identificando se uma solução arquitetônica trará mais retorno financeiro e ambiental do que outra. Este tipo de avaliação torna-se a cada dia mais importante no campo da arquitetura e urbanismo. Neste sentido as ferramentas econômicas simplificadas ou não passam a ser importantes para a busca da eficiência de uma edificação, a depender do seu tipo pode ser usado ferramentais como Pay back Simples, TIR (Taxa Interna de Retorno) e VPL (Valor Presente Líquido), dentre outras.

A iluminação está relacionada com o consumo de energia, assim como, está estritamente interligada à produtividade. A eficiência luminosa em salas de aula é imprescindível ao bom desempenho acadêmico. Estima-se que padrões adequados de materiais construtivos, aliados à correta localização, forma e dimensão das aberturas de captação de luz natural, associadas a uma adequada proteção solar e a um eficiente sistema de iluminação artificial pode aumentar significativamente a eficiência energética, luminosa e ambiental nas

escolas; contribuindo como importante fator para a sustentabilidade dos espaços construídos destinados ao ensino, a partir da utilização racional da luz elétrica, e o uso da luz natural, abundante nas regiões tropicais de clima quente e úmidos. A análise de investimentos neste panorama é essencial, pois permite aferir um ativo ambiental pouco discutido no meio econômico, como é o caso da luz natural. Segundo Pearce (1993), projetos de avaliação ambiental não estariam completos sem uma valoração econômica, e são necessários, pois estas atividades se assentam em bases ambientais, e por fluxos de energia e de materiais, que podem e devem ser avaliados, valorados e definidos seus pay backs, e custos-benefícios sociais, ambientais e econômicos.

Acostumados como estamos, a dispor de enormes quantidades de luz natural na região tropical, somos pouco sensíveis em administrá-la corretamente através de decisões de projeto que otimizem a radiação luminosa e seus efeitos térmicos tão desconfortáveis em climas brasileiros (MASCARÓ, 1998). Isto se deve ao fato da utilização de técnicas, estilos arquitetônicos e costumes incompatíveis com nossa realidade climática, que foram absorvidos, principalmente das culturas norte-americana e europeia, através dos tempos.

Winograd (*apud* SACHS, 1998) revela que a América Latina, uma vez removidas às barreiras não ecológicas (de ordem política e institucional), tem um enorme potencial ainda pouco

explorado para produzir energias limpas em condições ecológicas, social e economicamente sustentáveis, a partir do aproveitamento e potencialidades dos conhecimentos locais endógenos ou não. Sobre este potencial pouco explorado Mascaró (1999) cita:

[...] Observamos que o Brasil apresenta-se com condições favoráveis de aproveitamento dos seus recursos climáticos. Do ponto de vista da iluminação natural, apresenta um dos céus mais luminosos do mundo, permitindo aos edifícios, caso sejam bem projetados, a dispensa de grandes custos com energia elétrica utilizada para sistemas de iluminação artificial [...]. (MASCARÒ, 1999. Grifo nosso)

Sendo assim, é necessária a pesquisa de tecnologias limpas, que possibilitem a importante troca de conhecimento entre países, visando à conservação e reciclagem de recursos (SACHS, 1993).

### Objetivo

Avaliar economicamente e ambientalmente estratégias bioclimáticas adotadas nas edificações escolares de Maceió/AL que utilizam em sua arquitetura captação de ativos ambientais importantes, e que são pouco valorados, como a iluminação natural que exerce grande influência no consumo total destes edifícios e compõem a área de estudos do conforto ambiental e da eficiência energética de edificações escolares.

Desta forma estima-se neste texto buscar fazer um exercício acadêmico de mensuração:

- Da redução de custos econômicos associados à construção de escolas utilizando-se a iluminação natural;
- De um provável aumento da eficiência energética e ambiental das escolas;
- Da ampliação do conforto ambiental para os usuários associadas a uma arquitetura escolar regional;
- De Pay Backs como ferramentas para reflexões de tomada de decisão de projetos.

### Método

#### **Universo físico de estudo. A cidade de Maceió/AL:**

Localizada as margens do Oceano Atlântico, com clima quente úmido, a cidade de Maceió está situada geograficamente a 09°39'57" de latitude Sul e 35°44'07" de longitude Oeste.

A escolha desta localidade é justificada devido à grande disponibilidade de horas diárias de sol nesta região do país (RORIZ, 2010).

O método deste trabalho está dividido em quatro etapas principais:

- i. Medições de iluminação natural "in loco" da escola investigada utilizando luxímetros digitais;

- ii. Definição de um modelo computacional representativo para a edificação medida, utilizando o programa Lumenmicro® versão 7.1;
- iii. Comparação dos resultados entre dados medidos e propostas simuladas;
- iv. Realização de um exercício de viabilidade das propostas simuladas, comparadas com a situação real da escola investigada.

### A Unidade escolar investigada: Escola Moreira e Silva (CEAGB-Maceió)

Figura 1 - Planta e corte da tipologia de sala de aula padrão adotada para a realização das medições, voltadas respectivamente para as orientações Norte e Sul. Fonte: Desenho do autor (2013)

A escolha da escola citada foi motivada pelo fato deste estabelecimento concentrar boa parte das envasaduras e aberturas de iluminação utilizadas

nas arquiteturas escolares dos climas tropicais, bem como, uma amostra significativa dos principais problemas de conforto luminoso.

Para a realização das medições de iluminação “in loco” escolhemos como objeto de análise o modelo padrão de salas de aula da escola Moreira e Silva (Figura 01 e 02). Nesta análise objetivou-se apenas investigar a tipologia padrão de sala de aula com orientação Norte e Sul, comum nas escolas estaduais da região, não se detendo a analisar a implantação e o formato de planta da escola.

Para realização das medições foram utilizados dois luxímetros, sendo cada um conectado a um sensor óptico-fotométrico. Estes aparelhos foram utilizados para a realização do cálculo do Fator de Luz do Dia - FLD, para o qual se utilizou simultaneamente, os dois aparelhos, estando um no interior da edificação e o outro no pátio descoberto a céu aberto (sob a abóbada celeste) As medições foram realizadas em 2013 entre os meses de Setembro a Dezembro, nos horários de 9:00h e 12:00h, sob condições de céu parcialmente nublado. Ao total contabilizou-se 02 dias de medições. Para a realização das medições “in loco” das salas, foi considerada uma grelha de cálculo com nove pontos de medição, dispostos em um plano horizontal de trabalho, localizado a 0.70m de altura do piso (Figura 3).



DIMENSIONAMENTO E CARACTERÍSTICAS DAS SALAS DE AULA PESQUISADAS				
Iluminação requerida (em Lux)	Orientação das aberturas	Características da Grelha utilizada para a realização da medição de iluminância	Dimensionamento da sala (em m)	Características Construtivas da sala
ABNT: (NBR 5413) 200 –500 Lux	Voltadas para a orientação Norte e Sul	Grelha de medição com 09 pontos dispostos em 03 linhas e 03 colunas espaçadas em 1.95m, cada uma	Comprimento: 7.80m Largura: 7.80m Pé-direito: variável entre 3.20m a 4.70m Área: 60.84 m <sup>2</sup>	Material: alvenaria e concreto Piso: Granilite Parede: alvenaria rebocada Teto: concreto rebocado Reflectâncias: Piso: 0.5 (cinza) Parede: 0.6 (ocre) e 0.6 (cinza claro) Teto: 0.7 (branco gelo)

Figura 2 - Dimensão e características das salas de aula orientadas a Norte e Sul. Fonte: Desenho do autor (2013)

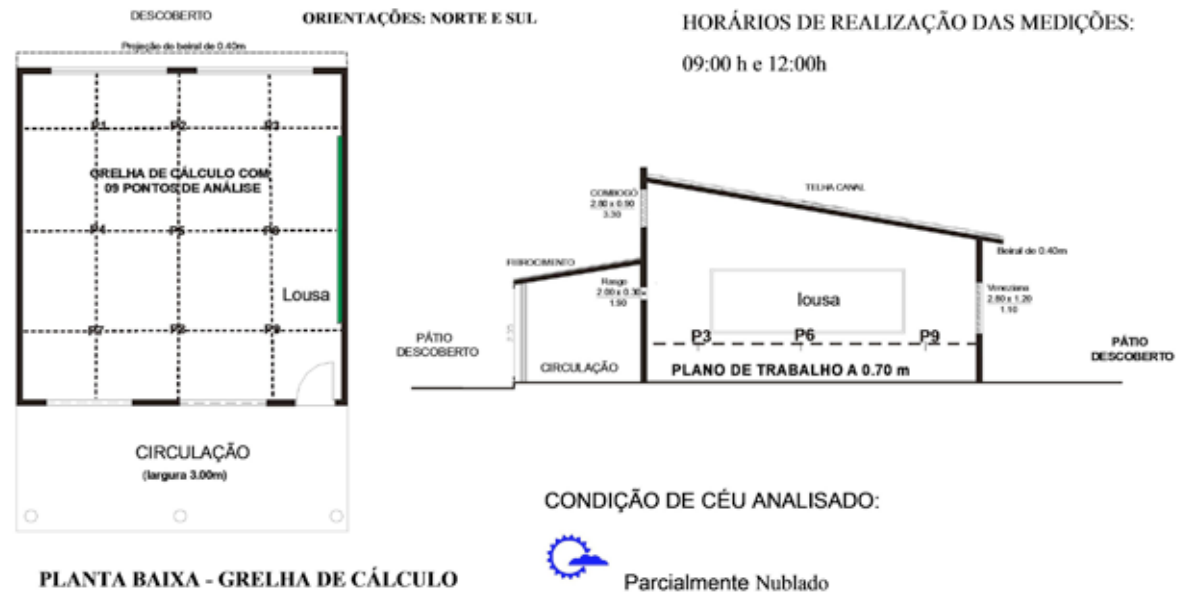


Figura 3 – Grelha de cálculo e localização do plano de trabalho e seus pontos de medição de luz natural. Fonte: Desenho do autor (2013)

Foi considerada a Norma NBR 5413 como parâmetro de análise da quantidade de luz ideal para o caso das salas de aulas de escolas o nível admitido pela NBR 5413/1991 varia entre 200 a 500 Lux.

Figura 4 – Tabela 02 - Levantamento do sistema de iluminação artificial para as salas de aula orientadas a Norte e Sul. Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Tipo de Sala	Area da sala (m <sup>2</sup> )	Potência das lâmpadas (em watts)	Tipos de lâmpadas	Quantidades de lâmpadas	Tempo de utilização do sistema de iluminação* (em minutos)
<b>Sala Norte</b>	60.84 m <sup>2</sup>	32 watts	Fluorescente comum tipo tubular	12	Total de 740*minutos/dia em três turnos
<b>Sala Sul</b>	60.84 m <sup>2</sup>	32 watts	Fluorescente comum tipo Tubular	12	Total de 740*minutos/dia em três turnos

\*Considerando aprox. 20 min para a abertura e 20 min para o fechamento da escola

Foi realizado um levantamento do sistema de iluminação artificial para as salas de aula orientadas a Norte e Sul (figura 4), aonde foi analisado o consumo atual comparando-o com as simulações.

### **Definição de um modelo computacional**

#### **LUMENMICRO® v. 7.1**

Para realização da simulação da proposta de captação de iluminação natural para as salas investigadas e com suas aberturas (janelas) voltadas para as orientações norte e sul, foi utilizado o programa de simulação de iluminação LUMENMICRO® v. 7.1. Este programa permite a análise qualitativa e quantitativa da luz em todos os ângulos do ambiente analisado (BITTENCOURT, 1998, p. 02).

Os dados de entrada para a realização de simulações são: condição de céu, latitude e longitude da região simulada, orientação, dia, mês e ano em que se quer simular o projeto. Os dados de saída dos ambientes simulados são emitidos em formatos de tabelas de simples leitura, relatórios, tabelas de médias da iluminância, curvas isolux (Figura 5).

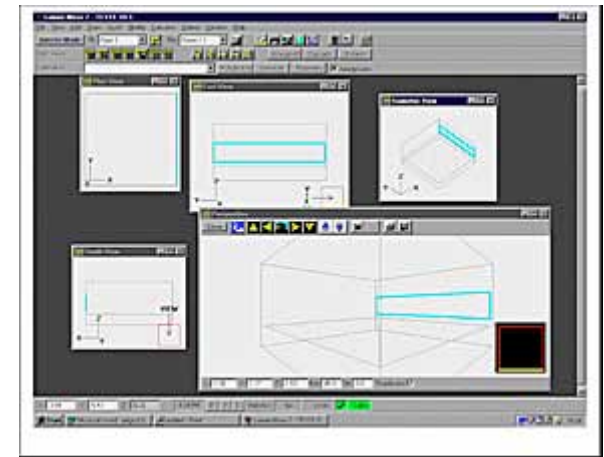


Figura 5 – Exemplo de visualização de uma sala simulada no LUMENMICRO® v. 7.1 Fonte: LUMENMICRO® v. 7.1 (2013)

### **Análise de resultados**

#### **Análises das medições**

A seguir apresentam-se os resultados das medições de iluminação natural das salas orientadas para o Norte as 9:00 horas e 12:00 horas, sob condições de céu parcialmente nublado no mês de maior intensidade de luz no NE. (Figuras 6 e 7).



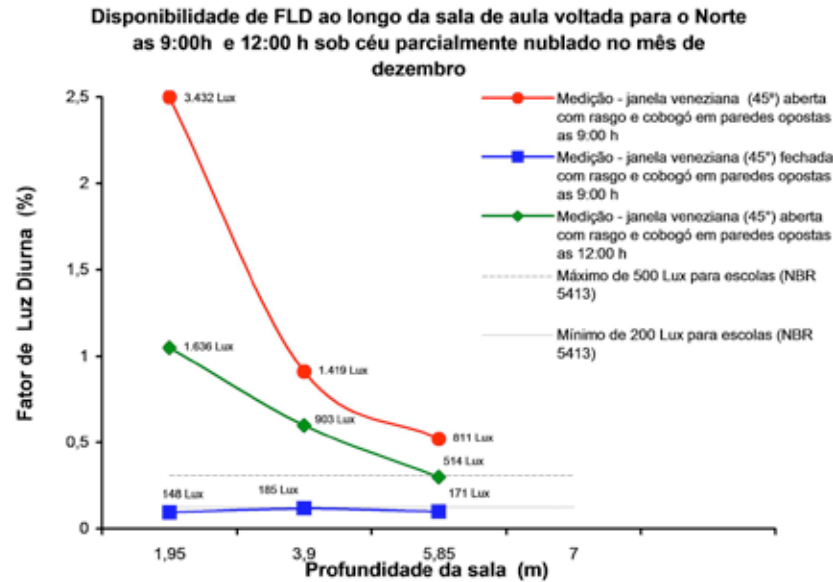


Figura 6 – Resultados da medição de iluminação natural das salas tipo Orientadas aos Norte, em Dez/2013 as 09:00 horas e 12:00 horas. Fonte: Simulação Realizada pelo Autor (2013)

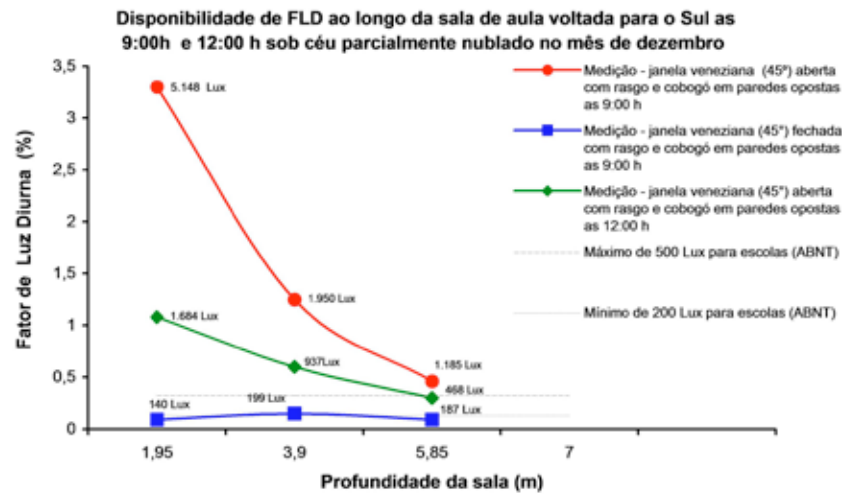


Figura 7 – Resultados da medição de iluminação natural das salas tipo Orientadas aos Sul, em Dez/2013 as 09:00 horas e 12:00 horas. Fonte: Simulação Realizada pelo Autor (2013)

Como pode ser observado nos gráficos apresentados acima, é visível o excesso de iluminação com a situação de veneziana aberta, se considerarmos a faixa sugerida entre 200 Lux a 500 Lux da NBR 5413/91, em todos os pontos analisados na sala orientadas tanto a Norte quanto a Sul para os horários de 9:00h e 12:00h onde é observado altos índices de iluminância ao nível do plano de trabalho. Observa-se, que a maioria dos pontos medidos nas salas, ficaram acima do máximo de 500 Lux, sugerido pela NBR 5413/91, para ambos os horários descritos. Isto constata quantitativamente o problema de ofuscamento imperativo nas escolas. O maior problema de insuficiência de luz, constatado nas salas com suas aberturas orientadas ao Norte, encontra-se no período de “chuvas de vento”, comum em Maceió/AL, que incidem para o interior da sala, obrigando os usuários a manterem as janelas fechadas, o que acaba por reduzir significativamente a iluminação natural interna da sala, aumentando o consumo de energia elétrica com iluminação. Isto é visível a partir da análise dos pontos de iluminância medidos com a janela fechada, nas duas condições de horários medidos, onde é observado, que estes pontos de medição mantiveram-se ao longo de quase todo o ambiente com níveis de iluminância abaixo do mínimo de 200 Lux, sugerido pela NBR 5413/91. Outro problema, constatado nas salas com suas aberturas orientadas ao Sul é a incidência de radiação direta decorrente de alguns dias do período de verão, onde há incidência na primeira fila de alunos próximo a abertura da sala, o que acaba gerando desconforto visual devido ao ofuscamento no nível do plano de trabalho da tarefa visual. No caso das geometrias



quadradas, apresentadas pelas salas, observou-se que estas possibilitam maior uniformidade e redução de contrastes, caso sejam adotadas aberturas bem distribuídas ao longo do ambiente.

### **Análise do consumo de energia das salas Norte e Sul:**

Os resultados da análise e cálculos de consumo estão apresentados na figura 8, abaixo relacionada:

Pode até parecer incoerente, para uma região tão iluminada como é o nordeste do Brasil, todavia constatou-se “in loco” a situação de uso ininterrupto de iluminação artificial, mesmo em salas que dispõem de luz natural. Isto revela, que nem sempre a utilização de iluminação artificial está

atrelada à insuficiência de luz natural, mais sim condicionada à falta de medidas de conscientização e de uso racional da iluminação artificial, que acabam por desperdiçar energia elétrica.

Outra causa do desperdício refere-se à perpetuação de padrões consumistas que atingem todas as classes sociais, sendo este nível de desperdício um retrato fiel do perdulário e atual paradigma energético mundial.

Assim, sendo, visando checar o tempo médio de utilização do sistema de iluminação artificial e ocupação da sala de aula da escola Moreira e Silva, assim como o nível de desperdício comum em salas de aula e demais ambientes de uma escola, é apresentada abaixo a figura 9, proposta por Santamouris (1997)

Figura 8 – Consumo de iluminação artificial para as salas de aula, com as janelas orientadas a Norte e Sul. Fonte: Elaborado pelo Autor (2013)

Tipo de Sala	Consumo diário por lâmpadas (em kWh)	Consumo diário total por sala* (em kWh)	Consumo mensal por sala ** (em kWh)	Custo (R\$) do Kwh para a classe tarifária B3 (CEAL)	Custo (R\$) mensal com iluminação artificial
Sala padrão 68.84 m <sup>2</sup>	0.56 kWh/dia	6.72 kWh/dia	147.84 kWh/mês	R\$ 0,27136	R\$ 46,70 (com ICMS)

\* Considerando 740 minutos diários de utilização do sistema de iluminação artificial

\*\*Considerado para 22 dias úteis do período de um mês com 30 dias

Figura 9 – Porcentagem média de tempo de ocupação e nível de desperdício para diversos tipos de ambientes em uma escola. Fonte: Elaborado pelo Autor (2013) baseado em Santamouris (1997)

Ambiente*	Tempo de ocupação (%)	Desperdício de energia com iluminação artificial
Salas particulares	55	45
Salas de descanso	35	65
Salas de reunião	50	50
Corredores	60	40
Salas de computação	40	60
<b>Salas de aula</b>	<b>60</b>	<b>40</b>
Depósitos	25	75
Salas de refeições	50	50

\*A presença de pessoas é detectada através de sensores ultra-sônicos ou infravermelhos.

Desta forma, caso fossem adotados os percentuais de ocupação e de desperdício proposto por Santamouris (1997) para as salas de aula tipo orientadas a Norte e a Sul, teríamos um custo real de consumo mensal eficiente e sem desperdícios de R\$ 28,02, o que equivale a 40% do total de R\$ 46,70.

### **As propostas de melhorias das salas visando à redução de consumo de energia:**

Visando corrigir os problemas encontrados nas salas tipo Norte e Sul, investigadas, e potencializar a captação de luz natural nestas salas de aulas, foram simuladas propostas de novas configurações de aberturas, com condições semelhantes às medições realizadas em campo, visando uma posterior comparação, entre dados medidos e simulados. Nas simulações foram manipulados os parâmetros de localização, dimensão e forma destas janelas de forma a obter maior iluminação natural, utilizando o programa de simulação LUMENMICRO v. 7.1.®. A proposta final adotada ficou parametrizada na vista da proposta abaixo apresentada (figura 10, 11 e 12).

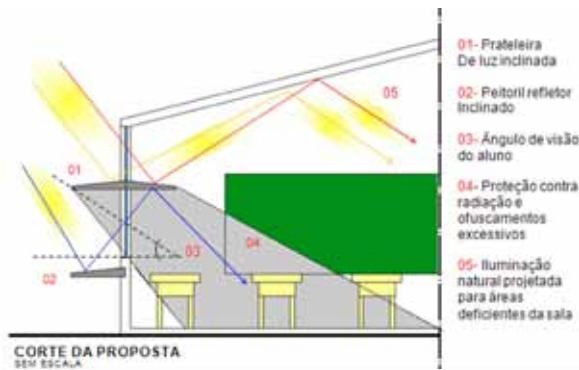


Figura 10 – Corte esquemático da proposta de captação de iluminação natural para as salas de aulas investigadas. Fonte: desenho do autor (2013)

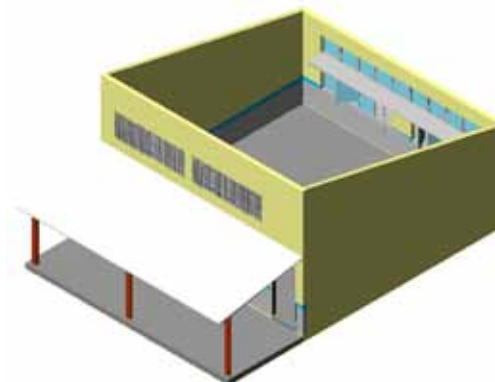


Figura 11 –Perspectiva da proposta de captação de iluminação natural para as salas de aulas investigadas. Fonte: desenho do autor (2013)

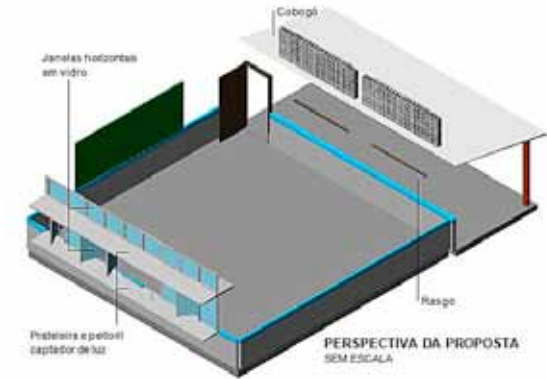


Figura 12 – Perspectiva do sistema de captação de iluminação natural da proposta para as salas de aulas investigadas. Fonte: desenho do autor (2013)

### **As simulações e comparações das propostas de melhorias das salas visando à redução de consumo de energia com as medições:**

Para a realização das simulações, escolheram-se as horas que apresentaram maiores problemas durante a medição fotométrica de iluminação natural, ou seja, as 9:00 h da manhã e 12:00 h, para o mês de dezembro (verão), para condição de céu parcialmente encoberto, das salas e sob as mesmas condições de céu detectadas na fase das medições fotométricas destes ambientes. Os gráficos apresentados a seguir (figuras 13 e 14) apresentam a comparação entre a medição das salas e a simulação das propostas, assim como a zona recomendável ao atendimento a NBR 5413/91, representada pelo intervalo entre linhas de 200 Lux e 500 Lux, respectivamente.

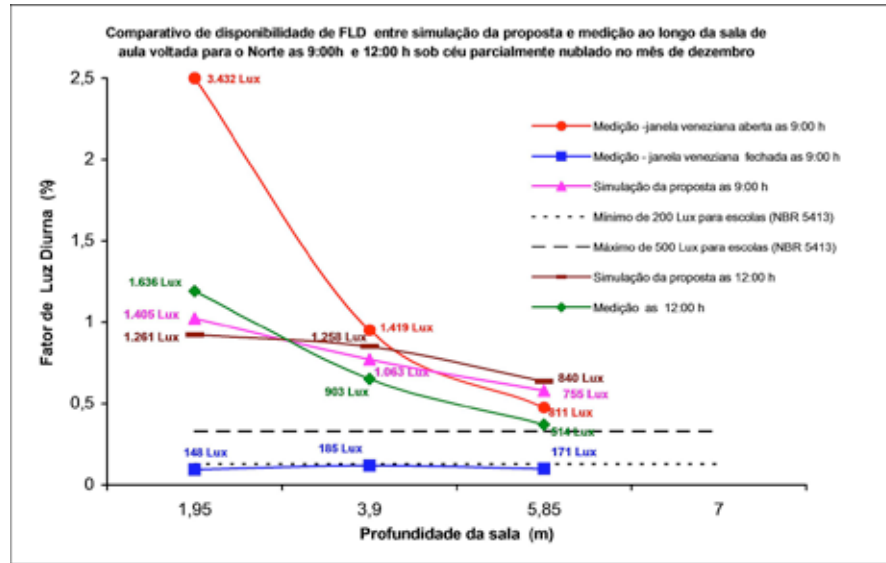


Figura 13 – Comparativo de resultados da medição de iluminação natural das salas tipo Orientadas ao Norte, em Dez/2013 as 09:00 horas e 12:00 horas. Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

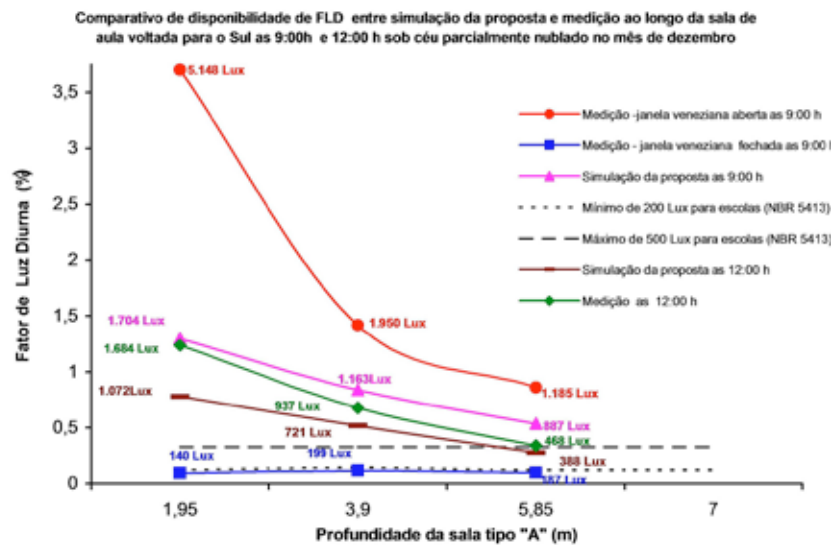


Figura 14 – Comparativo de resultados da medição de iluminação natural das salas tipo Orientadas ao Sul em Dez/2013 as 09:00 horas e 12:00 horas. Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Observa-se a proposta apresentada utilizando prateleiras de luz, se comparada com a proposta real utilizada nas salas investigadas da Escola Moreira e Silva, apresenta-se bem mais significativa e próxima à disponibilidade de iluminação natural entre 200 a 500 Lux, recomendada pela NBR 5413/91. Além disso, apresentou, se comparada com as medições fotométricas “in loco” das salas de aula com suas aberturas voltadas para o Norte e para o Sul, e com céu parcialmente nublado as 9:00 h, maior qualidade e uniformidade de iluminação no ambiente, reduzindo nas áreas próximas as aberturas algo em torno de 3.000 a 3.444 Lux, o que diminuiu significativamente o ofuscamento e o desconforto luminoso nas primeiras filas de carteiras escolares próximas à janela. Apresentou ainda, melhores índices de iluminação para as salas de aula, redução de encandeamento e contrastes nos fundos das mesmas, além de proteção solar contra radiação direta e chuva de ventos indesejáveis, devido a projeção de 0.60 m da prateleira sob a janela proposta, localizada em altura média, com peitoril de 1.10m.

As simulações demonstraram que maiores níveis de uniformidade de iluminação, se comparadas com as medições, foram obtidas com a redução do ofuscamento excessivo que existia nas proximidades da abertura. Para a condição de simulação da sala norte com céu nublado as 9:00h, observou que no fundo da sala houve redução de iluminação um pouco abaixo da zona entre 200 a 500 Lux, recomendada pela NBR 5413/91.

No entanto, esta deficiência poderá ser resolvida com a adoção de refletâncias maiores (acima de 0.7) para as paredes localizadas ao fundo da sala ampliando a iluminação nestas áreas deficientes. Ao final estima-se para efeito de cálculo de “Pay Back” uma redução no consumo (Kwh) com incremento de luz natural em torno de 25%.

Para a simulação da proposta as 12:00h, para ambas as salas, observamos que houve aumento de iluminação nas áreas localizadas ao fundo da sala, se comparada com a medição fotométrica destas mesmas áreas. Em todas as simulações as 12:00h com céu parcialmente nublado, observa-se que a iluminação natural comporta-se dentro da zona recomendada pela NBR 5413/91, com exceção das áreas próximas as janelas, que excederam um pouco o seu nível de iluminação natural, além do máximo de 500 Lux recomendado pela norma. Quanto à redução do excesso de ofuscamento e iluminação foi conseguida através da utilização da prateleira de luz que atuou como um brise horizontal, protegendo as aberturas localizadas abaixo desta contra insolação. A prateleira de luz proposta e simulada, com suas superfícies atuando com reflectâncias de 0.9, permitiu captar iluminação de alturas solares variáveis (08:00 h às 12:00 h) com proteção solar. Sua melhor performance é visível nos resultados das simulações realizadas as 12:00 h (zênite), onde é observado incremento significativo de iluminação natural ao fundo da sala, em áreas antes deficientes em iluminação natural.

### **Uma estimativa de Pay back das propostas:**

O orçamento da reforma das janelas e aberturas de iluminação da sala da escola totalizou R\$ 3.926,00 (data base Dez/2013 -SINAPI) considerando a troca de janelas e o ajuste nas sua dimensão localização e forma.

- i. Prazo do projeto: 01 mês
- ii. Poupança (receita) anual obtida com a captação de luz natural ao final do projeto para cada sala: R\$ 398,00/ano com poupança de iluminação. Sendo parte em poupança por eficiência energética de lâmpadas e outra parte por incremento de luz natural;
- iii. Prazo desejado para recuperação do investimento: anos, considerando que uma edificação tem vida útil em média de 50 anos. Considerando metade deste tempo 1/3 deste tempo, ou seja, aproximadamente 16 anos como tempo necessário para retorno do investimento, haja vista se tratar de um bem público sem lucro algum, e por se tratar de uma intervenção física de alta durabilidade. Defina-se de forma simplificada:

**Payback** = valor do investimento + valor da receita esperada

Assim, o Payback = R\$ 3.926,00 ÷ 332.00 = 11,8 anos

Como o prazo desejado para recuperação do investimento era de 16 anos e o cálculo do *Pay back* resultou em um prazo de 22,2 anos, o projeto é considerado viável na fase de obra, no entanto seria muito mais viável ainda na fase de projeto, onde não haveria necessidade de investir R\$ 3.926,00 por sala (figura 15). Esta conclusão demonstra que os arquitetos necessitam na fase de projeto prever estes estudos de eficiência energética utilizando ferramentas da economia financeira, mesmo simplificadas. Este breve exercício demonstrou apresentar argumentos para contribuir para esta afirmação.

## Conclusões

Atribui-se o bom desempenho das propostas simuladas, devido à prateleira de luz que capta iluminação difundindo-a pelo teto da sala de aula, como também pela proposta do peitoril reflector (reflectância de 0.90) que também recebe luz exterior, difundindo luz natural pela parte inferior da prateleira (reflectância de 0.90) e para o teto e plano de trabalho dos alunos, sem ofuscar as primeiras filas de carteiras, pois este peitoril se encontra fora do ângulo de visão do aluno.

Quanto às janelas propostas, observa-se que a utilização de janelas em formatos horizontais e com alta transmitância de luz apresentaram níveis de captação de iluminação bastante significativos, quando localizadas em alturas de peitoril acima de 2.10m, e fora do campo de visão do observador, principalmente nas áreas ao fundo da sala. Estas aberturas quando associadas à utilização de tetos de alta reflectância, como no caso da proposta simulada, são responsáveis por uma maior uniformidade de iluminação nas salas de aula.

No âmbito do consumo, observa-se que são gastos montantes financeiros desnecessários para manutenção de sistemas de iluminação deficientes e precários nas salas de aula. Recursos estes que poderiam ser poupados ou destinados à melhoria da educação pública, ou para programas sociais com foco na educação.

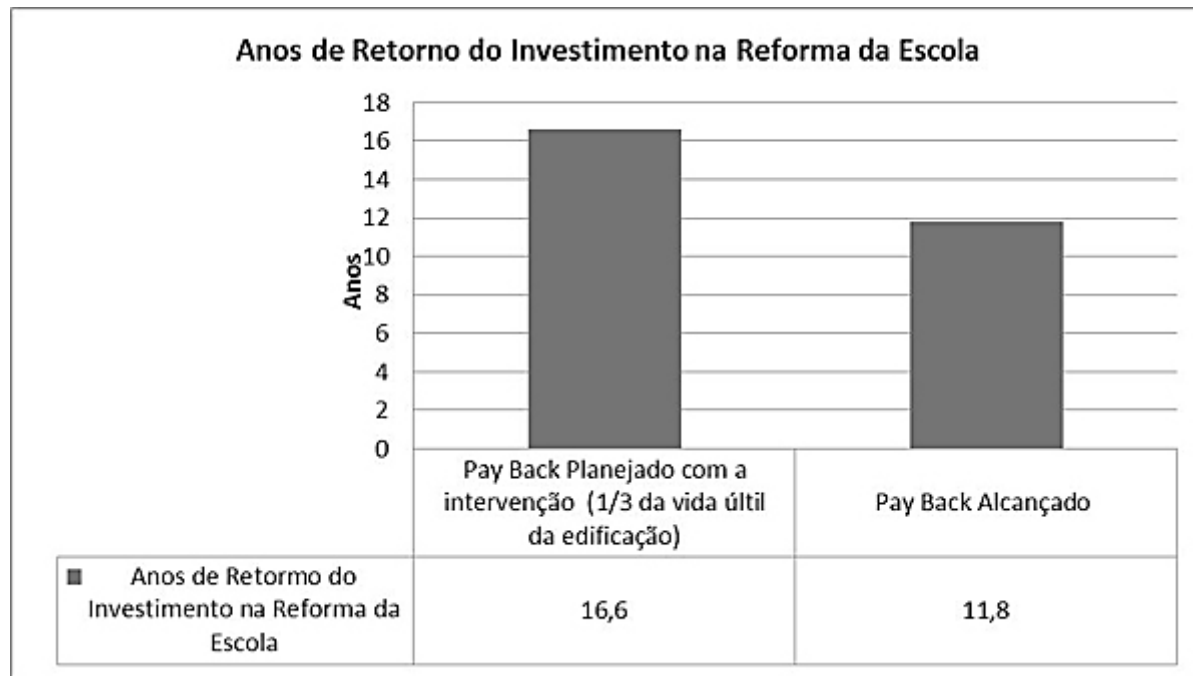


Figura 15 – Comparativo de resultados de Planejados e obtidos com as propostas. Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

Como se observa, o potencial climático local, caso bem utilizado permitirá aos arquitetos desenvolverem soluções tecnologicamente viáveis, socialmente justas, economicamente eficiente, competitiva e poupadora de recursos. Neste sentido o conjunto de potencialidades como a luz natural abundante nas regiões climáticas quentes úmidas, mas precisamente de Maceió, são favoráveis à sustentabilidade energética do ambiente construído escolar, com desdobramentos benéficos para as dimensões sociais, econômicas e principalmente ambientais da sustentabilidade do desenvolvimento. Por fim, concluímos, com este breve exercício que o uso de técnicas bioclimáticas associadas à simulação e ferramentas econômicas são essenciais para a eficiência ambiental e energética do edifício.

### Referências

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Iluminância em Interiores**. Especificação. NBR 5413, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1991.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar; LIMA, Bianor Monteiro. **Escala de Conforto para Maceió**. Maceió. Departamento de Arquitetura da Universidade Federal de Alagoas –UFAL. 1988.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE ALAGOAS – CEAL. **Histórico de consumo mensal em KWh e custo em reais (R\$) para as escolas do CEPA (período de 2002)**. Maceió, 2002.

FUNDESCOLA. **Anteprojeto de escola de ensino fundamental com 08 e 12 salas de aula. MEC/ BID**. Projeto Espaço educativo: arquitetando uma escola para o futuro. Relatório técnico 1998.

LUMENMICRO. Lighting Technology inc. – **Lumenmicro – Professional Lighting Software – Version 7.1** . Bolder, Colorado, 1998.

MASCARÓ, Lúcia. **Ambiência urbana/ Urban environment**. Porto Alegre: Sagra DC Luzzatto, 1999.

ROBALINHO, Verônica. **Mapa de situação e localização do Centro Educacional de Pesquisa Aplicada – CEPA**. 1999. UFAL.

RORIZ, Maurício. **Software Luz do Sol. Versão 1.1 – Radiação solar e iluminação natural**. São Carlos, 1995

SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D. **Energy conservation and retrofitting potential in helenic hotels**. Elsevier. Vol. 24. n. 01, 1997.