



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOÃO ANTONIO DE LIMA MOREIRA

**USO DA RADIAÇÃO SOLAR NA ILUMINAÇÃO INTERNA DE SALAS DE
AULA COMO PROPOSTA DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA**

PAU DOS FERROS - RN

Maio de 2017

JOÃO ANTONIO DE LIMA MOREIRA

**USO DA RADIAÇÃO SOLAR NA ILUMINAÇÃO INTERNA DE SALA DE
AULA COMO PROPOSTA DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Wesley de
Oliveira Santos

Co-orientador: Prof. Me. Antonio
Carlos Leite Barbosa

PAU DOS FERROS - RN

Maio de 2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M835u Moreira, João Antonio de Lima.
uso da radiação solar na iluminação interna de
salas de aula como proposta de redução do consumo
de energia elétrica / João Antonio de Lima
Moreira. - 2017.
54 f. : il.

Orientador: Wesley de Oliveira Santos.
Coorientador: Antonio Carlos Leite Barbosa.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2017.

1. eliminação natural. 2. escola. 3. energia
elétrica. I. Santos, Wesley de Oliveira, orient.
II. Barbosa, Antonio Carlos Leite, co-orient.
III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOÃO ANTONIO DE LIMA MOREIRA

**USO DA RADIAÇÃO SOLAR ILUMINAÇÃO INTERNA DE SALAS DE AULA
COMO PROPOSTA DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

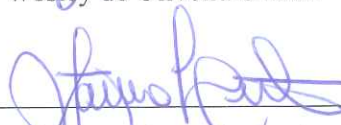
Defendida em: 19/05/2017

BANCA EXAMINADORA

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.



Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos – Presidente



Prof. Me. Antonio Carlos Leite Barbosa – Membro



Cientista e Tecnólogo - Sávio Felipe Pereira Barbosa – Membro

Meu caráter foi construído por três pilares os quais me moldaram o que sou hoje, sua importância nessa formação é de acordo com a sequência a qual dedico esta experiência inesquecível na minha vida. Primeiro a santíssima trindade a qual devo meus agradecimentos incondicionais por todos os dias me agraciar com a oportunidade de levantar e buscar ser melhor que no dia anterior. Em segundo a minha família que se inicia pela pessoa mais importante na minha vida a senhora Maria Lindoneide minha mãe que mesmo analfabeta sempre mostrou dedicação e amor em tudo o que faz, ao meu pai Antonio Carlos o qual me mostrou que o único caminho de um futuro melhor seria pela educação, ao meu irmão Felix Eduardo que me trouxe a responsabilidade de ser um exemplo a se seguir e a minha namorada e futura esposa Hildemara Fontes a qual é minha parceira e confidente de vida agora e para sempre. E por último mas não menos importante os meus amigos que mesmo a distância nunca deixaram de fazer parte da minha história de vida Emerson José, Ramon Lúcio, Guilherme França.

AGRADECIMENTOS

Antes de agradecer a diversas pessoas que me marcaram nessa difícil empreitada quero agradecer á Deus, por estar sempre comigo em todos os momentos difíceis da minha vida, onde me acolhia e aconchegava como um pai quando não podia contar com meus pais, irmão, namorada e amigos. Agradeço a minha tia Antônia Madalena ou como gosto de chamar vó Tonha, por ter me acolhido em sua casa sem ter me conhecido antes. A Antônia Maria conhecida como Nainha que após a mudança de vó Tonha me aceitou em sua casa para terminar o curso. Aos amigos que fiz aqui em Pau dos Ferros como Henrique Fernandes e Irismá que além de terem sido colegas de classe foram amigos de copo e compartilharam de vários momentos da vida. A amiga de muitos períodos de sofrimento Francimagne Ribeiro que se tornou minha parceira nessa caminhada na maioria dos períodos do curso desbravando muitas matérias juntos. As diversas colegas de curso que trazem uma leveza ao curso com sua delicadeza e competência Rosimery, Vanérica, Viviane, Ires, Layane e Mireli. Não posso esquecer de pessoas que contribuíram para eu ter a possibilidade de frequentar com tranquilidade a universidade como o moto-taxista Márcio (Catuca), os vizinhos Dagmar e Josivânia e o menino que traz uma alegria infantil adorável Diogo Heitor. Agradeço ao meu orientador Wesley de Oliveira pela paciência e compreensão no decorrer do trabalho. Agradeço ao meu coorientador Antonio Leite pela dedicação no decorrer dos trabalhos e pelas conversas que tivemos, as quais foram enriquecedoras. Ao colega de faculdade e membro avaliador Sávio Felipe pelas críticas construtivas e momentos de aprendizado. Também aos funcionários da UFERSA tanto terceirizados quanto concursados, a equipe de limpeza, aos guardas da guarita, motoristas do ônibus, a equipe administrativa e aos professores cada um da instituição trouxe algo que serviu de aprendizado.

Por fim vou levar uma rica experiência de vida para minha futura profissão, pelas diversidades encontradas e dificuldade superadas.

“Faça tudo com amor, porque quando fazemos
com amor tudo sai bem feito.”

Neide (mãe).

RESUMO

O Brasil como todo país passa por problemas como escassez de energia elétrica e degradação do meio ambiente pelos meios mais tradicionais na geração de energia elétrica, para encontrar soluções que diminuam os impactos ambientais há um grande potencial da utilização dos recursos naturais do país, o qual, possibilita a diminuição da degradação e melhoria do cotidiano da sua população. Sua localização é estratégica, ficando no hemisfério sul na linha do equador, tornando-o um país tropical e com bons ciclos de radiação solar. O maior percentual de geração de energia elétrica no Brasil é através das hidroelétricas onde nos anos de 2001 e 2002 o país passou por um racionamento de energia pelo fato da estiagem ocorrida, havendo a necessidade de encontrar meios de economizar energia elétrica para que não ocorresse o blecaute em todo país. O Rio Grande do Norte por estar localizado na região nordeste e ser um estado litorâneo é abundante em radiação solar, tendo por todo o ano altos índices da mesma. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar a região nordeste apresenta a maior disponibilidade de radiação solar global $5,9 \text{ KWh/m}^2$, tendo um grande potencial de aproveitamento dessa radiação que ocorre no horário produtivo da população. Neste sentido este trabalho estuda o uso da radiação solar para iluminação interna das salas de aula como proposta de redução de energia convencional (elétrica) na Escola Municipal Nila Rêgo em Pau dos Ferros – RN. A metodologia teve como foco analisar quais os meios para melhorar o ambiente de estudo, assim utilizando maior iluminação natural, reduzindo o custo de energia convencional (elétrica) e melhorando a qualidade de vida dos usuários que a utilizam. Pelos resultados obtidos pode-se determinar que a eficácia da iluminação só poderá ser alcançada com um conjunto de medidas as quais foram expostas no trabalho, assim utilizando com controle efetivo a iluminação natural reduzindo o consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Iluminação natural, escola, energia elétrica.

ABSTRACT

Brazil, like every country, experiences problems such as the scarcity of electric energy and the degradation of the environment through the most traditional means of generating electricity. In order to find solutions that reduce environmental impacts, there is a great potential for using the country's natural resources. Allows the reduction of the degradation and improvement of the daily life of its population. Its location is strategic, staying in the southern hemisphere on the equator, making it a tropical country with good cycles of solar radiation. The largest percentage of electricity generation in Brazil is through hydroelectric plants, where in 2001 and 2002 the country underwent energy rationing due to the drought, and there was a need to find ways to save electricity so that Blackout throughout the country. Rio Grande do Norte, because it is located in the northeast region and is a coastal state, is abundant in solar radiation and has high rates throughout the year. According to the Brazilian Atlas of Solar Energy the northeast region has the highest availability 5.9 KWh / m² of solar radiation, having a great potential to take advantage of this radiation that occurs in the productive hours of the population. In this sense, this work studies the use of solar radiation for indoor lighting in classrooms as a proposal for the reduction of conventional (electric) energy at the Nila Rêgo Municipal School in Pau dos Ferros - RN. The methodology focused on analyzing the means to improve the study environment, thus using greater natural light, reducing the cost of conventional (electric) energy and improving the quality of life of users who use it. From the results obtained it can be determined that the efficiency of the illumination can only be achieved with a set of measures which were exposed in the work, thus using with effective control the natural lighting reducing the consumption of electric energy.

Keywords: Natural lighting, school, electric power.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faixa de comprimento da radiação.	18
Figura 2 - Radiações direta e difusa.	20
Figura 3 - Translação da terra entorno do sol.	20
Figura 4 - Ângulos que caracterizam o feixe de luz.	21
Figura 5 - Média anual da radiação global no Brasil.	22
Figura 6 - Bioma da caatinga no território nacional.	23
Figura 7 - representação da projeção estereográfica.	24
Figura 8 - Trajetória aparente do sol no plano do observador.	24
Figura 9 - Carta solar para latitude -5,91°.	25
Figura 10 - horário de insolação para o observador.	25
Figura 11 - Ângulo de sombra.	26
Figura 12 - Ilustração da área de trabalho.	31
Figura 13 - Áreas onde podem ser localizados as áreas de trabalho.	32
Figura 14 - Localização da cidade de Pau dos Ferros – RN.	34
Figura 15 - Imagem de satélite da localização da escola.	34
Figura 16 – Bússola digital aplicativo em celular, Auto Cad e Luxímetro Digital Minipa MLM-1011.	37
Figura 18 - Pontos de iluminação no teto.	39
Figura 19 - Cores das paredes da sala de aula.	40
Figura 20 - Piso da sala de aula.	40
Figura 21 - Vista externas das janelas dos fundos.	41
Figura 22 – Estrutura e estado físico das janelas.	42
Figura 23 - Janelas instaladas no corredor de acesso.	42
Figura 24 - Iluminação artificial distribuída em sala.	42

Figura 25 - Tipos de forros.....	43
Figura 26 - Cores para paredes em sala de aula.	44
Figura 27 - Regiões atingidas pela radiação direta.....	45
Figura 28 – Carta solar das janelas do fundo da sala.....	46
Figura 29 – Carta solar da lateral direita da sala.	47
Figura 30 – Carta solar da lateral esquerda da sala.	48
Figura 31 - Carta solar do fundo da sala 2.....	49
Figura 32 - Carta solar da lateral esquerda da sala.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem da reflexão de acordo com a cor do material.....	28
Tabela 2 - Valor da iluminância nos objetos.	29
Tabela 3 - Valor da temperatura de correlação dos grupos de cores.	30
Tabela 4 - Planejamento de ambientes de acordo com as medições recomendadas.	31
Tabela 5 - Iluminação artificial das luminárias por W/m^2	39
Tabela 6 - Iluminação artificial mais a natural por W/m^2	41
Tabela 7 - Valores da intensidade da radiação direta.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABILUX	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação.
ABES	Atlas Brasileiro de Energia Solar.
FUNDESCOLA	Fundo de Fortalecimento da Escola.
INEP	Instituto Nacional de Estudo e Pesquisas Educacionais do Ministério de Educação e Cultura.
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 GERAL.....	16
2.2 ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 FONTE DE LUZ NATURAL	17
3.1.1 Aspectos da radiação solar.....	17
3.1.2 Unidade do fluxo de radiação e seus tipos.....	19
3.1.3 Distribuição da radiação na região nordeste	21
3.2 CONTROLE DA RADIAÇÃO SOLAR.....	23
3.2.1 Cartas solares.....	23
3.2.2 Determinação dos dispositivos de proteção.....	26
3.2.3 Programa utilizado.....	27
3.3 RECOMENDAÇÕES DAS NORMAS	27
3.4 EFEITOS DA ILUMINAÇÃO SOBRE O SER HUMANO	32
4 ESCOLA MUNICIPAL PROF(A) NILA RÊGO	34
5 MATERIAL E MÉTODOS	36
5.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	36
5.2 MEDIÇÕES.....	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Os meios de geração de energia elétrica buscam sempre uma maior eficiência no que diz respeito ao aumento da produção energética, mas a um custo alto como por exemplo pelo carvão, onde se utiliza a queima do mesmo para a geração de energia despejando no ar atmosférico toneladas de CO, CO₂, SO₂ e NH₃ trazendo danos irreversíveis para o meio ambiente e população.

O Brasil como todo país passa por problemas como financeiro, tecnológico e político para encontrar soluções que diminuam os impactos ambientais, mas tem grande potencial de utilizar os recursos naturais ao seu favor e isso possibilita a diminuição da degradação do meio ambiente e a melhoria do cotidiano da sua população. Sua localização é estratégica, ficando no hemisfério sul na linha do equador, tornando-o um país tropical e com bons ciclos de vento. Assim como a maior porcentagem de energia elétrica através das hidroelétricas, o país passou por momentos de racionamento de energia pelo problema da estiagem que aconteceu em todo país de dezembro de 2001 a fevereiro de 2002 onde se teve que encontrar meios de economizar energia elétrica.

O Rio Grande do Norte por estar localizado na região nordeste e ser um estado litorâneo tem abundante radiação solar, tendo por todo o ano altos índices da mesma. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar a região nordeste apresenta a maior disponibilidade de radiação solar global 5,9 KWh/m², tendo um grande potencial de aproveitamento dessa radiação que ocorre no horário produtivo da população. A cidade de Pau dos Ferros fica nesta região com altos índices de radiação no interior do Rio Grande do Norte. Segundo Amorin (2007) os projetos arquitetônicos tradicionais são criados pela intuição, considerando um tempo de realização do esboço pequeno, utilizando muito critérios intuitivos e visuais que não passam por especialistas da área como engenheiro ambiental e engenheiro eletricista, deixando responsável só o engenheiro civil, o qual, muitas das vezes não tem formação específica nas áreas os quais engenheiros possuem especialização, o mesmo serve para o arquiteto que planeja o projeto junto ao mesmo.

Os problemas de projeto como inserir janelas próximas de muro, impedindo a passagem de luz e visualização externa ou salas muito próximas diminuindo o fluxo de radiação solar global e vento, são levados para o restante da obra. A instalação de janelas, as quais aproveitam pouco à iluminação natural e de paredes escuras não contribuem para propagação da iluminação natural pela reflexão. Outro problema considerável é a falta de manutenção nas salas, contribuindo assim para um avanço na deterioração do ambiente.

Todo projeto de engenharia deve passar por um processo de maturidade, onde inicia-se com o acolhimento de dados capazes de embasar o engenheiro responsável. O mesmo deve buscar em diversas fontes, como a norma nacional NBR ISO/CIE 8995-1, 2013 e grupos de estudo como o FUNDESCOLA os melhores métodos de concepção de projeto, os quais devem ser os mais eficazes. Assim criando um projeto de baixo custo de responsabilidade ambiental e social, trazendo não só benefícios ao projeto, mas a sociedade que o cerca. Na maioria das construções o projeto é mal gerenciado já na base inicial, quando o engenheiro não se atenta aos fatores externo do mesmo. O projeto deve ser sempre revisado pois é influenciado por diversas variáveis como por exemplo tempo de execução, custos adicionais e adaptações para situações encontradas no cotidiano. Esta responsabilidade não pode cair só sobre o engenheiro responsável, mas também a empresa responsável pelo projeto e seu contratante, pois qualquer projeto concebido é uma parceria entre esses três membros. Um ambiente bem planejado traz inúmeros benefícios como economia de recursos financeiros, bem estar aos frequentadores, aumento da produtividade, evita doenças físicas e psicológicas, melhora o humor da pessoa, ou seja, melhora a qualidade de vida de todos seus frequentadores. Desta forma, o objeto de análise desta proposta é o uso da radiação solar na iluminação interna de duas salas de aula, onde funcionam 1º e 2º séries pela manhã e 5ºA e 5ºB pela tarde na Escola Municipal Prof.(a) Nila Rêgo no município de Pau dos Ferros no Oeste Potiguar como proposta de redução do consumo de energia elétrica.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Este trabalho objetiva estudar o uso de raios solares para iluminação interna das salas de aula como proposta de redução de energia convencional (elétrica) na Escola Municipal Nila Rêgo em Pau dos Ferros – RN.

2.2 ESPECÍFICOS

- Analisar os dados de radiação solar global, a distribuição da iluminação artificial no ambiente, verificando o quanto influenciam na eficiência da iluminação total;
- Identificar através de fotografias, medições e observações das melhores técnicas a serem implantadas para melhorar o ambiente em estudo;
- Utilizar janelas adequadas para aumentar a eficiência da iluminação diminuindo substancialmente o consumo de energia convencional.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Antes de dar início aos estudos do uso da radiação solar na iluminação interna de salas de aula como proposta de redução do consumo de energia elétrica deve-se expor os estudos já concebidos na área, mostrando a importância da mesma. Discutir os principais pontos acerca do assunto pelos autores Bertolotti, Adelmo, Barros entre outros os quais trouxeram desenvolvimento para o tema através de suas análises e com elas discutir com uma nova perspectiva o mesmo problema, mas com uma perspectiva diferente.

Em um primeiro momento são descritos os efeitos naturais, os quais são as variáveis que são envolvidas no problema com o auxílio do autor Adelmo (2006), o qual traz base teórica capaz de ilustrar as principais características do sol sobre a terra. Será simplificado o método das cartas solares as quais tem a função de mostrar a radiação solar nas estações do ano por hora, este método viabiliza como será implantado os dispositivos de proteção solar estudados pelas autoras Barros (2001) no manual de conforto térmico. Todo estudo deve basear-se em normas regulamentadoras que são constituídas por órgãos com credibilidade e responsabilidade, portanto, para a contribuição do trabalho utiliza-se das normas e estudos científicos da ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013, INEP e FUNDESCOLA. Com o auxílio de todo este acervo de conteúdo relacionado ao assunto pôde-se expor com evidências a importância de tratar do assunto e encontrar a melhor maneira de solucioná-lo.

Após a descrição detalhada do ambiente será mostrado como é a interação do indivíduo com o mesmo, como seu corpo se comporta nessa interação e os efeitos da mesma em sua saúde; sendo que a desconformidade dessa interação traz transtornos ao indivíduo diminuindo sua qualidade de vida. Por fim esta abordagem teórica será mostrada com uma problematização proposta, com as descrições da escola, apresentando sua localização, estrutura física e o cotidiano dos alunos e funcionários.

3.1 FONTE DE LUZ NATURAL

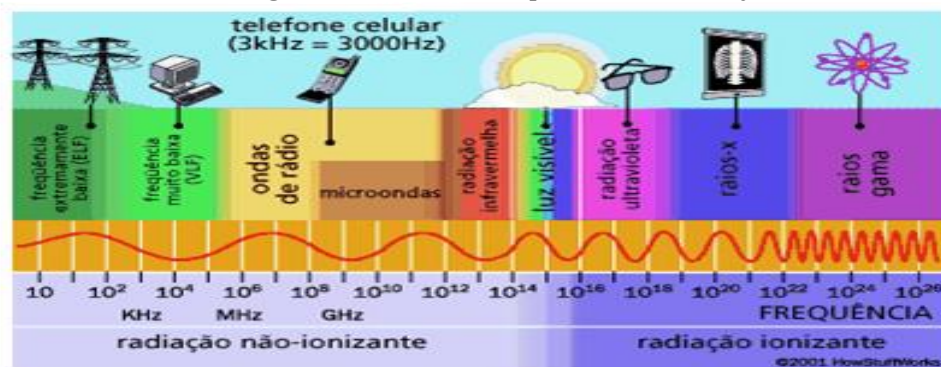
3.1.1 Aspectos da radiação solar

Radiação é a propagação de energia através de um meio não material, sendo o aspecto ondulatório estudado neste trabalho. A característica desse tipo de radiação é seu comprimento de onda e frequência de oscilação, onde o comprimento de onda é a distância entre duas cristas e a frequência é a quantidade de cristas que passam por um ponto de

referência em um determinado tempo. A unidade de comprimento é centímetro ou micra ($1\text{\AA} = 10^{-4}$) e da frequência ciclos por segundo conhecido como Hertz (Hz).

As ondas de radiação solar são de comprimento entre 10^{-10} cm conhecidos como raios gama e 10^7 conhecidos como ondas de rádio, o conjunto delas é denominado espectro eletromagnético. As ondas de radiação são divididas em três categorias ultra violeta com comprimento inferior a $0,36\mu$, visíveis a olho humano com comprimento entre $0,36\mu$ a $0,74\mu$ e infravermelho com comprimento maior que $0,74\mu$, a Figura 1 mostra a relação do comprimento de onda e sua frequência onde são aplicadas no cotidiano da população

Figura 1 - Faixa de comprimento da radiação.



Fonte: StoaWiki¹.

Todo corpo com uma temperatura acima de 0 K emite e absorve radiação, este fenômeno envolve a física quântica, pois estuda os movimentos dos elétrons, sendo a troca de energia entre a transição dos elétrons responsável pela emissão e absorção da radiação. Para o entendimento radiativo da superfície de um objeto deve-se citar autores que tratam dessa dinâmica por leis fundamentais da radiação como Stefan-Boltzmann e de Wien.

Como citado anteriormente todo corpo tem uma temperatura acima de 0 K emitindo e absorvendo radiação, sendo que esta lei diz que a densidade de fluxo de energia emitida (E , em W/m^2) é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta (T , em K), como mostrado na equação a seguir:

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

onde ϵ é a emissividade do corpo, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$ ou $4,903 \times 10^{-9} \text{MJ/m}^2\text{K}^4$). Segundo Roberto (2007) para a maioria dos objetos naturais, o poder emissivo varia entre 0,95 e 1,0; utilizando em média o valor unitário sendo que no caso da atmosfera sua composição básica varia com umidade no ar, onde ϵ varia continuamente

¹ Disponível em: http://wiki.stoa.usp.br/Fap0459/textos/grupo_Eneas/Waldair/; Acesso em mar. 2017.

durante os dias e ao longo deles. Também Roberto (2007) cita a lei de Wien que estabelece a constante, como o produto da temperatura absoluta (T , em K) do objeto, pelo comprimento de onda ($\lambda_{\text{máx}}$, em nm) de máxima emissão energética do próprio objeto, isto é,

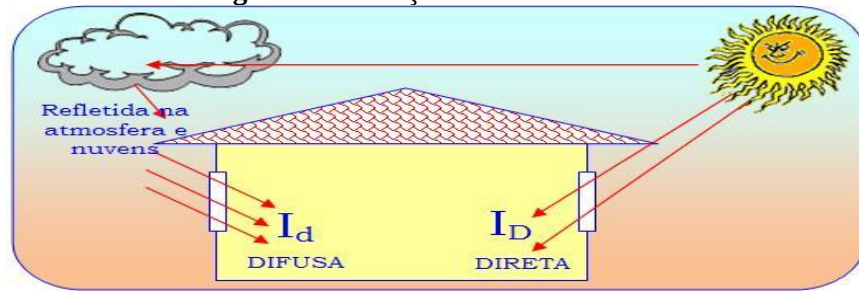
$$T \lambda_{\text{máx}} = \text{constante} = 2,898 \times 10^6 \text{ nmK} \quad (2)$$

Tornando esta lei de suma importância para o entendimento da relação terra e sol, onde a terra é um corpo cuja temperatura média é aproximadamente 300 K, enquanto que o sol sendo o principal fornecedor de energia para terra tem uma temperatura aproximada de 6000 K. Segundo a lei de Wien a energia emitida pela terra é $\lambda_{\text{máx}} \approx 10000 \text{ nm}$ (radiação infravermelho), enquanto a energia recebida pelo sol fica entorno de $\lambda_{\text{máx}} \approx 500 \text{ nm}$ (radiação visível), sendo portanto duas ordens de magnitude de diferença entre sol e terra. Dizendo que a radiação solar é de onda curta (OC), porque quase toda energia emitida está abaixo de 3000 nm, enquanto que a radiação terrestre é de onda longa (OL), portanto o balanço geral de radiação (BGR) é a soma do balanço de ondas curtas (BOC) e o balanço de ondas longas (BOL).

$$\text{BGR} = \text{BOC} + \text{BOL} \quad (3)$$

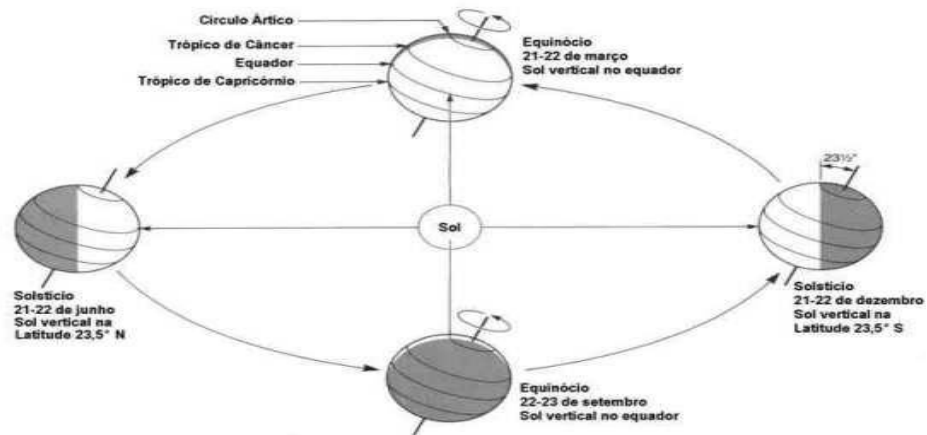
3.1.2 Unidade do fluxo de radiação e seus tipos

Fluxo de radiação é a transição da quantidade de energia pelo tempo, sendo padronizado pelo sistema internacional de unidades o watt (W), esta grandeza é o fluxo de radiação pela área por segundos. O fluxo de radiação que chega na atmosfera do planeta terra chama-se de radiação global, quando adentra a atmosfera se divide em dois tipos de radiação a direta que é o fluxo de radiação que chega diretamente na superfície terrestre e a difusa que passa pelo processo de divisão de seu fluxo se espalhando em diversas direções, por ser refletida por partículas suspensas na atmosfera como moléculas de água, poeira e os gases que compõem a mesma. Dependendo da situação de observação a radiação pode ser só a difusa, mas geralmente é considerado a soma dos dois componentes como mostrado na Figura 2 cada componente do fluxo.

Figura 2 - Radiações direta e difusa.

Fonte: Calor do sol².

A interação entre a terra e o sol é responsável por determinar como e quanto de radiação chegara na superfície terrestre pelos movimentos de rotação e translação, onde o movimento de rotação é quando a terra gira em torno do seu próprio eixo e translação é quando a terra faz um movimento elíptico em torno do sol, como mostrado na Figura 3 os momentos que a terra está mais próxima do sol e em outros mais longe. “Estes pontos da elipse descrita são chamados de afélio, quando a terra está mais longe do sol e periélio quando a terra está mais próxima ao sol” (VIEIRA, 2014).

Figura 3 - Translação da terra entorn do sol.

Fonte: Departamento de física da UFPR³.

Para Roberto (2007) o ângulo de incidência dos raios solares (ângulo zenital, Z_h), em uma superfície horizontal, varia em função da latitude (Φ), da hora do dia (h), e da declinação solar (δ). A combinação desses fatores permite calcular Z_h em cada instante pela relação trigonométrica

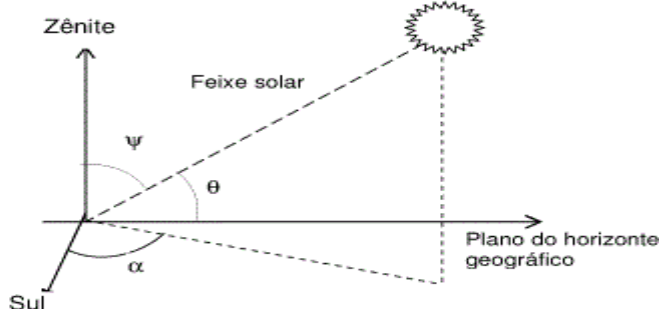
$$\cos Z_h = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos h \quad (4)$$

² Disponível em: <http://www.ebanataw.com.br/roberto/conforto/CS06quepassa.htm>, engenheiro Roberto Massaru Watanabe;. Acessado em mar. 2017.

³ Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>;. Acessado em mar. 2017.

Portanto, (δ) significa dia do ano, (Φ) localização na terra, e (h) representa hora do dia em ângulo (ângulo horário), que é formado pela posição do sol e o meridiano local. A passagem do sol pelo meridiano divide o dia em duas partes simétricas, como a rotação da terra é de 24 horas sendo este tempo duas passagens do sol pelo meridiano local, isso significa um percurso de 360° em 24 horas responsáveis pelas variações de ângulos zenital, de elevação e azimutal do sol como descrito na Figura 4.

Figura 4 - Ângulos que caracterizam o feixe de luz.



Ângulos zenital (ψ), de elevação (θ) e azimutal (α) do Sol.

Fonte: Scielo Brasil (Scientific Electronic Library Online).⁴

As mudanças de posicionamento da terra são responsáveis pela variação das radiações, sendo no caso do hemisfério sul o momento de maior índice na primavera e no verão, pois são estas estações que representam quando a inclinação da terra deixa mais próxima a região mencionada em relação ao sol capturando em um espaço de área maior os altos índices de radiação global. Uma observação importante é que o eixo da terra tem um ângulo de $23,45^\circ$ em relação ao plano equatorial, este fato é responsável pela localização do sol no horizonte no decorrer do ano.

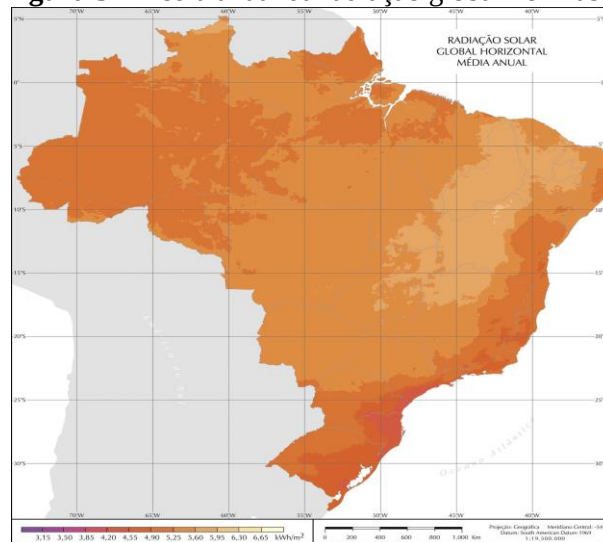
3.1.3 Distribuição da radiação na região nordeste

A região nordeste, como já comentado, está localizada próximo a linha do equador, pois o Brasil tem dimensões continentais, sendo que a mesma passa pelo extremo norte do país. Segundo o ABES a região Nordeste apresenta a maior disponibilidade energética com radiação global média de $5,9 \text{ KWh/m}^2$, sendo a região com a menor variabilidade inter-anual

⁴ Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162006000100029; Acessado em mar. 2017.

entre 5,7 e 6,1 KWh/m², a Figura 5 ilustra bem isso, mostrando a distribuição de radiação pelo país.

Figura 5 - Média anual da radiação global no Brasil.



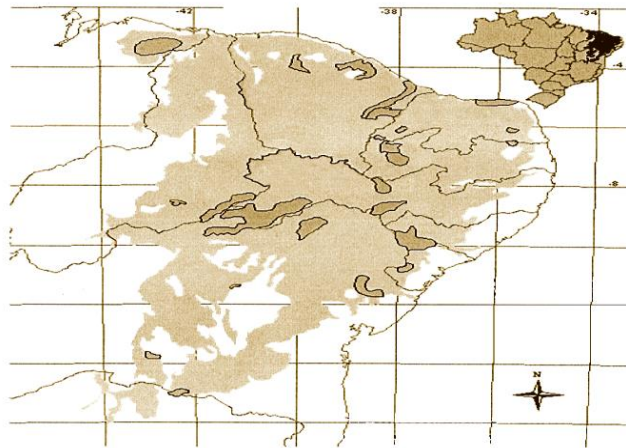
Fonte: AESO.

O bioma característico da região é a caatinga, ocupando cerca de 70% do território e 10% do território nacional. É um bioma com uma flora de arbustos baixos e que durante o período de seca perde suas folhas, com raízes profundas e longas para captação de água que armazenam a mesma para o tempo de estiagem.

A caatinga ocorre em sua maior parte na área do semi-árido nordestino, cujos solos variam de uma maneira geral, de extremamente rasos a moderadamente profundos. Comumente, nos cumes e nas encostas das colinas não resta mais solo e a rocha indecomposta está completamente descoberta (CAATINGA, p. 2).

Estas características do bioma da caatinga mostram que todo tipo de edifício construído nesta região terá forte impacto da radiação sobre ele, pois o ambiente é propício por não ter uma flora que possa proteger esta edificação, sendo necessário a implementação artificial de plantas que possam resguardar a construção das possíveis reflexos da radiação difusa melhorando os ambientes que compõem a mesma. A Figura 6 mostra a abrangência da caatinga no território nacional, onde abrange 10 estados federativos sendo um dos biomas mais importantes e também um dos mais degradados.

Figura 6 - Bioma da caatinga no território nacional.



Fonte: Bioma caatinga recursos florestais e fauna.

3.2 CONTROLE DA RADIAÇÃO SOLAR

O controle da radiação solar é importante para um ambiente harmônico e agradável, onde seus usuários sintam-se acolhidos auxiliando no rendimento das atividades exercidas. O controle da radiação solar deve ser planejado e projetado através de métodos já estabelecidos por autores conceituados como as senhoras Barros (2001) que pelo manual de conforto térmico discutem esses métodos e com o auxílio de software pode-se com precisão determinar esses parâmetros.

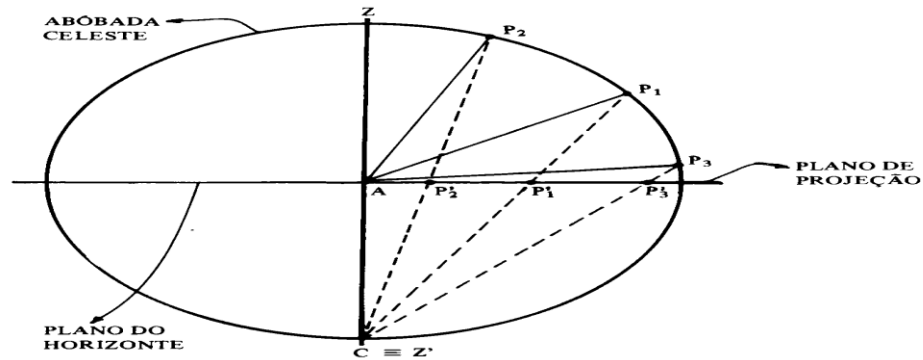
3.2.1 Cartas solares

O objetivo das cartas solares é representar graficamente a trajetória aparente do sol no plano horizontal e vertical do observador com latitudes específicas. Isso determina o ângulo de incidência do sol existindo vários métodos de projeção ortográfica para ilustrar a trajetória aparente do sol, entre elas o ortográfico, o equidistante e o estereográfico o qual será utilizado neste trabalho.

Em todos esses métodos a abóbada celeste é representada por um círculo cujo centro é a projeção do zênite do observador no plano do horizonte. Os azimutes solares são representados por linhas irradiadas do centro, e as alturas solares são indicadas por círculos concêntricos, em cada um dos métodos considerados (BARROS; RAMOS, 2001, p. 86).

A Figura 7 mostra as características do método estereográfico o qual é mais simples de representar pelas projeções dos ângulos no plano de projeção em relação ao ponto de referência o qual é o ponto A, tendo nesta Figura 7 um exemplo de três projeções.

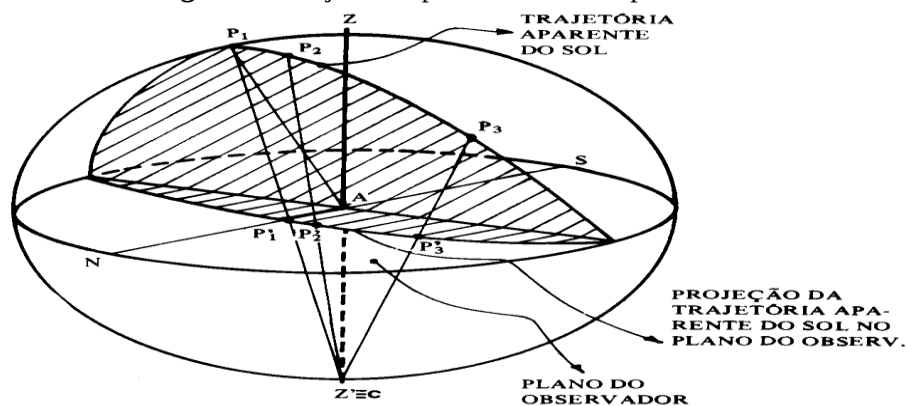
Figura 7 - representação da projeção estereográfica.



Fonte: Manual de conforto térmico.

A figura 8 traz no seu plano horizontal a projeção da trajetória aparente do sol no plano do observador a qual mais a frente será mostrado a linha que significa a projeção da proteção contra a radiação direta, já o plano vertical mostra a trajetória aparente do sol para que seja refletida essa imagem no plano horizontal sendo a projeção mencionada anteriormente.

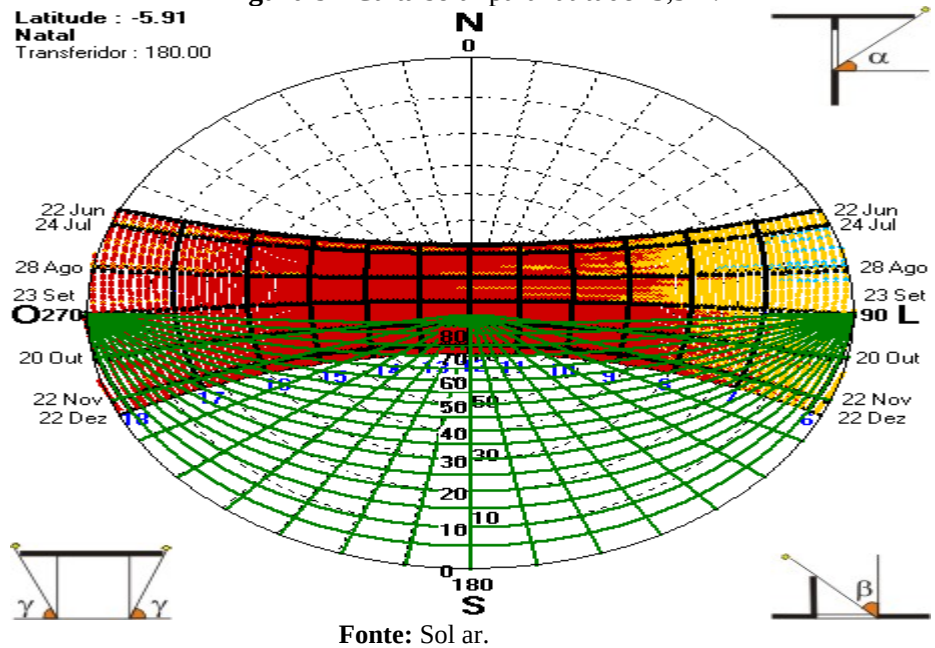
Figura 8 - Trajetória aparente do sol no plano do observador.



Fonte: Manual de conforto térmico.

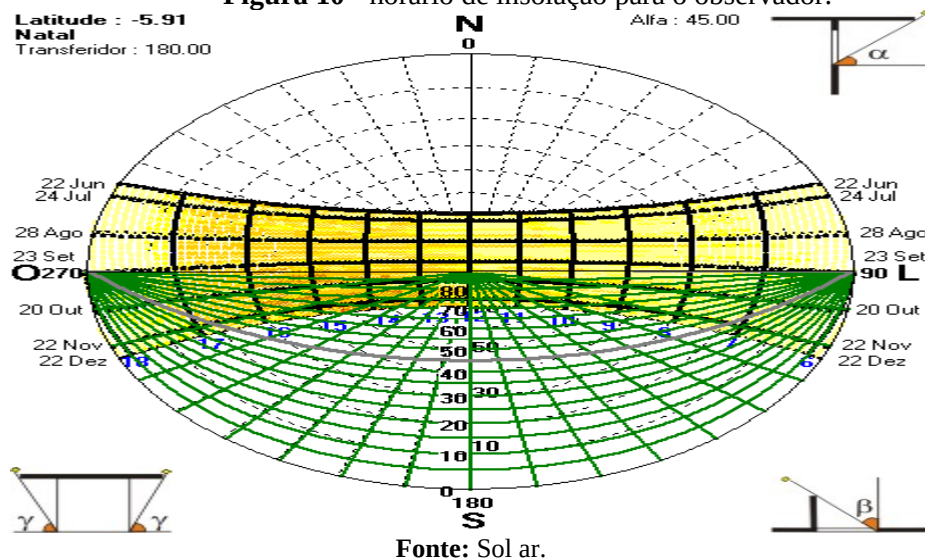
A carta solar onde registra a temperatura da cidade de Natal como exemplo na Figura 9 mostra as linhas em verde representam o transferidor que significa a posição da fachada da construção em avaliação, o ângulo escolhido foi de 180° só para ilustrar o posicionamento da fachada. Na configuração do programa também tem a opção de escolha por estações do ano, sendo apresentada duas por vez como primavera, verão e outono, inverno por ter a predominância de temperatura em média de acordo com a combinação entre elas. Para exemplo foi escolhidos primavera e verão que são as estações com maior índice de radiação e por consequência temperatura.

Figura 9 - Carta solar para latitude $-5,91^\circ$.



As informações encontradas nesta carta solar é a intensidade da radiação em determinados horários e estações do ano nas superfícies horizontais e verticais, como mostrado na Figura 10, com as mesmas configurações anteriores nesta etapa foi inserido o ângulo alfa de 45° , o qual é o meio de proteção escolhido para este projeto. A lista em cinza é a marcação da localização da máscara de proteção os números em azul seguidos por linhas verticais em preto são a marcação das horas de radiação no dia, podendo verificar que a proteção da máscara terá efeito a partir das 7:10 da manhã até as 16:50 da tarde.

Figura 10 - horário de insolação para o observador.

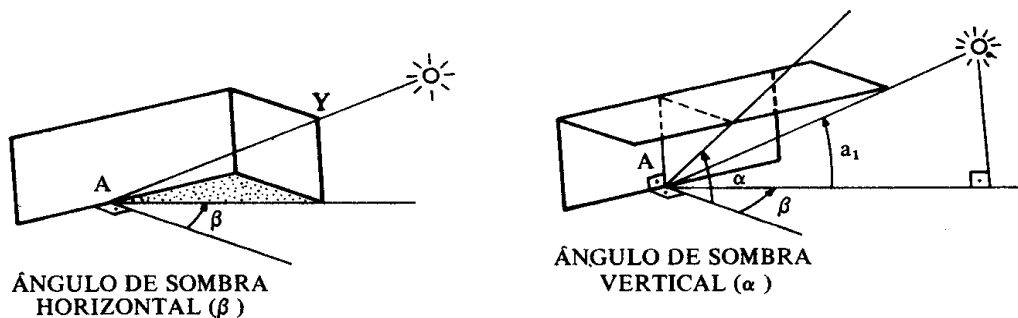


3.2.2 Determinação dos dispositivos de proteção

Como foi descrito no trabalho pela inclinação da terra no seu próprio eixo e as rotações em torno da mesma e do sol tem-se as estações do ano que em determinados momentos incide mais radiações que em outras, para evitar este problema utilizam-se meios de proteção para as superfícies atingidas. A determinação das características de um dispositivo de proteção solar será elaborada em função da eficácia desejada pelo seu projetista. Este dispositivo será eficaz quando for capaz de barrar a radiação solar direta sobre a superfície desejada no período julgado conveniente.

Para fazer o dimensionamento das proteções utiliza-se o método traçado de máscaras, o qual através dos ângulos de sombra resultantes de um dispositivo (brises fixos) externo em relação a um determinado ângulo de incidência traz valores necessários para sua criação no projeto. Os ângulos de sombra são medidos a partir da vista da posição do observador, assim para uma determinada posição do sol apenas parte da abertura pode estar sendo sombreada. Há três situações encontradas nos tipos de máscara, uma que o dispositivo de proteção solar é parcial, o outro total e por último a nula, onde pelo nome significa a quantidade de sombra disponível, pela Figura 11 pode ser visualizado o ângulo que a sombra gera pelo dispositivo de proteção.

Figura 11 - Ângulo de sombra.



Fonte: Manual de conforto térmico 2001.

Os ângulos de sombra utilizados não são expressos em valores numéricos, mas através de sua projeção estereográfica no plano horizontal do observador, onde α é o ângulo para a máscara horizontal e β para a vertical.

3.2.3 Programa utilizado

O software SOL-AR foi criado pela equipe do laboratório de eficiência energética em edificações do campus universitário reitor João David Ferreira Lima Trindade localizada na cidade de Florianópolis estado de Santa Catarina, com o objetivo de permitir a obtenção da carta solar da latitude específica, auxiliando no projeto de proteção solar através da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre o transferidor de ângulo, que pode ser plotado para qualquer ângulo de orientação. O programa permite a visualização dos horários disponíveis, de intervalos de temperatura anuais correspondentes às trajetórias solares ao longo do ano e do dia de cidades na base de dados cadastrados já no programa e também permite inserir cidades não cadastradas. O programa oferece também a possibilidade de obtenção da rosa dos ventos para frequência de ocorrência dos ventos e velocidade média para cada estação do ano em oito orientações (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO), como descrito pelo site da instituição.

3.3 RECOMENDAÇÕES DAS NORMAS

Para qualquer projeto existem normas que servem de parâmetro para sua criação e implantação, onde deve-se seguir as mesmas para o projeto ter o mínimo de segurança e qualidade para seus frequentadores. Visando melhorar as estruturas das escolas o ministério da educação por meio da FUNDESCOLA criou uma cartilha técnica com recomendações a serem seguidas.

Para iluminar um ambiente, utilizando-se os recursos naturais, artificiais ou ambos, deve se atender a vários requisitos quantitativos ou qualitativos. Quando podemos optar por iluminação natural ou artificial, a natural deve ser escolhida (VIEIRA, 2002, p. 42).

Como já visto a radiação difusa é a reflexão da radiação nos objetos, como Vieira (2002) descreve. A reflexão em ambientes quentes e secos terá uma maior intensidade, sendo influenciado também pela cor, textura e tipo de material do objeto, na Tabela 1 é mostrado a reflexão em cores diferentes.

Tabela 1 - Porcentagem da reflexão de acordo com a cor do material.

Tipo de superfície	Reflexão estimada (%)
Cores muito claras	50 a 70
Cores claras	50 a 70
Cores médias	30 a 50
Cores escuras	15 a 30
Cores muito escuras	0 a 15

Fonte: FUNDESCOLA⁵.

Dois aspectos que devem ser considerados no projeto de proteção contra a radiação direta são o dimensionamento correto do controle de radiação, assim podendo ter até uma área maior de dimensão, no entanto, caso seja mal dimensionado, ele pode acarretar em grande quantidade de radiação dentro do ambiente aumentando a temperatura e a radiação difusa excessiva. O outro aspecto é que esse dimensionamento deve ser considerado no momento de céu claro e com alto índice de radiação, pois se for considerado em tempo de chuva ou nublado, em um momento de céu claro, trará altos índices de radiação trazendo desconforto para seus usuários, outro fator preponderante é a latitude do local como exemplificado por (VIEIRA, 2002).

A latitude exerce uma influência importante sobre a insolação porque a situação geográfica de uma região determina a duração do dia e também a distância que os raios oblíquos do sol atravessam a atmosfera. A disponibilidade de luz natural para qualquer região é determinada pela quantidade de radiação solar (luminosa) incidente nas diferentes estações do ano. As regiões que recebem, durante a maior parte do ano, raios solares com ângulo de incidência próximo a uma perpendicular à superfície são as mais quentes e luminosas (VIEIRA, 2002, p. 45).

Outras recomendações sugeridas por Vieira (2002) é que devem ser colocadas nas salas, janelas contínuas para evitar sombreamento indesejável, alguns ambientes (sanitário, vestiário e área de serviço) devem ter a iluminação natural por algumas horas, seja pela manhã ou pela tarde, por motivos de higiene. Pinturas de cor clara refletem a luz enquanto cores escuras absorvem o calor e o vidro transparente deixa passar luz e imagens enquanto os translúcidos só a luz.

⁵Energia na edificação – estratégias para minimizar seu consumo, valores entre o branco teórico (100%) e o negro absoluto (0%).

Os “brises” permitem reflexões da luz, evitando insolação direta e, por conseguinte, a luz difusa, não direta. Eles só devem ser utilizados pelo lado exterior às esquadrias, para que a radiação difusa sofra aeração, perdendo o calor, antes de penetrar no ambiente. Para isso, entre o “brise” e a esquadria, prever um espaço mínimo de 30 cm (VIEIRA, 2002, p. 48).

A correta instalação de esquadrias permite a melhor iluminação evitando ofuscamentos e reflexões prejudiciais e como já descrito a pintura de paredes e teto com cores claras é recomendado, pois reflete a iluminação. Visando parâmetros mínimos a ABNT criou a norma brasileira para padronizar e diminuir os problemas em instalações elétricas. Com o auxílio de normas internacionais foi criado a norma de iluminância de interiores que mais tarde foi renovada em convenções pela norma NBR-5413, sendo agora novamente atualizada pela ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013). Os principais parâmetros impostos pela norma são: Distribuição da luminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, aspectos da cor da luz e superfícies, cintilação, luz natural e manutenção.

A luminância é responsável pela adequação dos olhos no campo de visão, uma iluminação bem distribuída amplia nitidez da visão, a sensibilidade ao contraste e a eficiência das funções oculares. De acordo com a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) “As luminâncias de todas as superfícies são importantes e são determinadas pela refletância e pela iluminância nas superfícies. As faixas de refletâncias úteis para as superfícies internas mais importantes são” de acordo com a Tabela 2 onde foi utilizada como um dos parâmetros do trabalho.

Tabela 2 - Valor da iluminância nos objetos.

Teto	0,6 – 0,9
Paredes	0,3 – 0,8
Planos de trabalho	0,2 – 0,6
Piso	0,1 – 0,5

Fonte: NBR ISO/CIE 8995-1, 2013.

A iluminância e sua distribuição no ambiente de trabalho tem impactos diretos do desenvolvimento das atividades que estão sendo executadas com segurança e conforto. O valor descrito nesta norma é pensado na segurança e conforto visual. Segundo a norma “ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão, que pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto como um ofuscamento inabilitador”. É importante limitar o ofuscamento aos usuários para prevenir erros, fadiga e acidentes. Em ambientes internos o ofuscamento geralmente surge de luminárias brilhantes ou janelas. Para evitar ofuscamento pode se utilizar anteparos, os quais reduzem a intensidade da iluminância como por exemplo brises e persianas. A iluminação

direcional é o meio de destacar objetos, texturas e melhorar o aspecto do ambiente, melhorando aspecto visual. O aspecto da cor da lâmpada deve ser o mais próximo da cor branca, pois é a que os olhos se adaptam melhor, onde são divididas em três grupos como descrito na Tabela 3 a baixo.

Tabela 3 - Valor da temperatura de correlação dos grupos de cores.

Aparência da cor	Temperatura de cor correlata (K)
Quente	Abaixo de 3300
Intermediária	3300 a 5300
Fria	Acima de 5300

Fonte: NBR ISO/CIE 8995-1, 2013.

Um fator que não pode ser ignorado, e é objeto de estudo deste trabalho, é a iluminação natural que é comentado pela ABNT, a norma também cita a importância da iluminação natural principalmente por janelas, pois é um modo de interação do usuário do ambiente com o mundo externo. A norma ressalta que além de janelas pode ser utilizado o método zenital o qual não será tratado neste trabalho pois o mesmo não será um método utilizado para a utilização da iluminação natural, mas com a ressalva de evitar o contraste excessivo e o desconforto térmico causados pela exposição direta do sol através de persianas ou brises evitando assim a luz direta do sol. Os problemas de conter só uma iluminação natural tem uma variação em nível e composição espectral sofrendo variações e diminui sua intensidade de acordo com a distância da janela prejudicando as atividades exercidas, sendo descrito pela norma a porcentagem mínima de utilização da iluminação natural.

Não é recomendável, nestes interiores, que o fator de luz natural seja inferior a 1 % no plano de trabalho a 3 m da parede da janela e a 1 m das paredes laterais. Recomenda-se que uma iluminação suplementar seja fornecida para garantir a iluminância requerida no local de trabalho e o balanceamento da distribuição da iluminância no interior da sala. Um acionamento automático ou manual e/ou um sistema de dimerização pode ser utilizado para garantir uma integração apropriada entre a luz artificial e a luz natural (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013, p. 10).

Para o funcionamento pleno das instalações deve se ter uma manutenção periódica preventiva e corretiva para a durabilidade do sistema e sua eficácia. Também é importante a utilização adequada das instalações com consciência do usuário, sendo recomendado até informar a melhor maneira de utilizar.

A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) quantifica critérios mínimos sendo recomendados para iluminação artificial, a seguir são mostrados fatores como lista de ambientes ou tarefas para os quais requisitos são específicos, iluminância mantida em (lux),

índice limite de ofuscamento unificado (UGRL), o índice de reprodução de cor mínimo (R_a) e na última coluna recomendações para exceções e aplicações especiais a segunda coluna até a quarta são de acordo com as especificações da primeira como mostrado na Tabela 4 os valores para salas em ambiente escolar.

Tabela 4 - Planejamento de ambientes de acordo com as medições recomendadas.

Tipo de ambiente	Em (lux)	GR_L	R_a	Observações
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	9	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável
Quadro negro	500	9	80	Prevenir reflexão especulares

Fonte: NBR ISO/CIE 8995-1, 2013.

A norma ainda descreve especificações da área de trabalho e área de entorno, sendo critérios mínimos adequados para o desenvolvimento de atividades escolares em sala de aula como exposto a seguir.

Quando a imediação da área da tarefa é uma faixa marginal, convém que esta não seja avaliada separadamente, porque, como regra geral, os requisitos que precisam ser atendidos para o entorno são atendidos automaticamente. Recomenda-se tomar cuidado para que não exista qualquer área da tarefa na faixa marginal. A área de trabalho (amarelo) compreende a superfície de trabalho (tampo cinza) e o espaço do usuário (rosa). De acordo com a imagem ilustrativa (NBR ISO/CIE 8995-1, 2013, p. 26).

Figura 12 - Ilustração da área de trabalho.



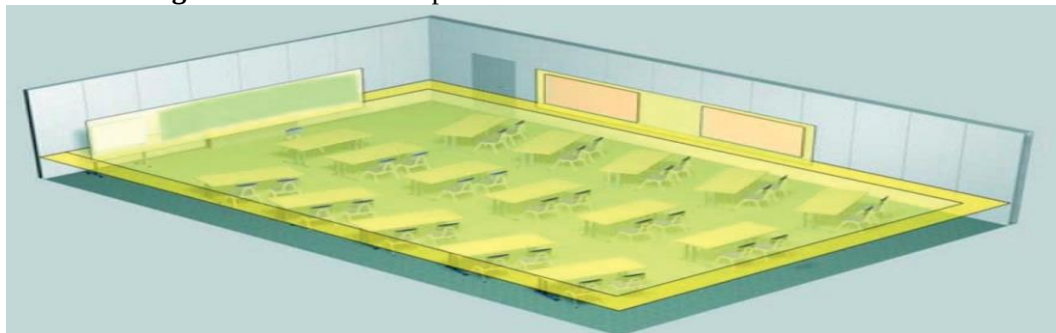
Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013.

O anexo A.3.3 descreve salas de aula sem uma localização pré determinada, a qual é recomendada, pois caso queira arranjar as posições deixando livre sua escolha. Quando leva em consideração esse critério e não sendo especificado a função da sala o valor de iluminação

deve ser de 300 lux para salas pro primário e secundário enquanto 500 lux para salas utilizadas no noturno e educação de adultos o anexo A.3.4 da norma exemplifica.

As mesas dos estudantes são muitas vezes reorganizadas nas salas de aulas, portanto a área de trabalho deve ser considerada a sala inteira menos uma faixa marginal de 0,5 m de largura. A uniformidade planejada pode ser $U1 \geq 0,6$. A experiência mostra que isto é suficiente para garantir que uma uniformidade mínima de 0,7 seja observada nas mesas individuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013, p.28).

Figura 13 - Áreas onde podem ser localizados as áreas de trabalho.



Fonte: ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013.

3.4 EFEITOS DA ILUMINAÇÃO SOBRE O SER HUMANO

Os efeitos de uma iluminação ineficiente prejudicam a qualidade de vida do indivíduo, nas questões físicas, como dores de cabeça, tonturas e dor nos olhos, já na psicológica altera o humor, deixa mais cansado e falta de concentração acarretando no stress prejudicando o convívio social. Segundo Tschiedelt “a qualidade da luz recebida é diferente entre a fonte natural e a artificial. Os comprimentos de onda atingem o olho e diferentes profundidades na pele, onde desencadeiam reações fisiológicas de produção de substancias que organizam o equilíbrio metabólico”.

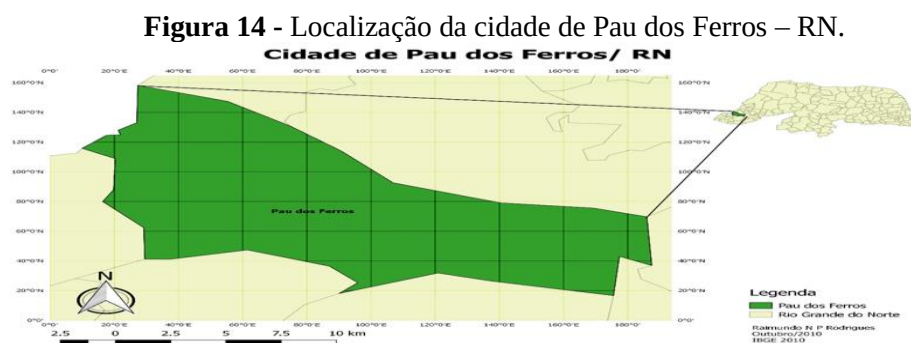
De acordo com Araújo (2004, p. 294) o sistema de tempo circadiano é o mecanismo que mede a interdependência da fisiologia humana e os ciclos ambientais. O núcleo supra-quiasmático, localizado na região ventral inferior do hipotálamo é considerado como marca-passo neural que mantém sincronização entre o ritmo fisiológico e o comportamental [...].

Ou seja, é o sistema circadiano que controla as funções do corpo humano interagindo com o mundo exterior diferenciando o horário diurno do noturno, controlando as reações biológicas corporais. “A luz natural, pela sua concentração de azul, produz no organismo, através do sistema nervoso central, o hormônio adrenocorticotróficos (ACTH) e esteroides, e, pela pele, elementos que neutralizam essas substâncias e equilibram o corpo (como a vitamina

D)” (TSCHIEDEL, p.56). Já a iluminação artificial não terá este mesmo efeito no organismo, pois terá intensidade diferente, comprimentos de luz diferente do natural entre outros aspectos que não será detectado pelo corpo, colaborando pra uma disfunção no sistema biológico trazendo os problemas já citados. Um exemplo prático do cotidiano é quando as pessoas estão em um passeio pelo shopping e não conseguem diferenciar o horário do dia sem olhar para o relógio, deixando a percepção confusa e fora de ritmo temporal.

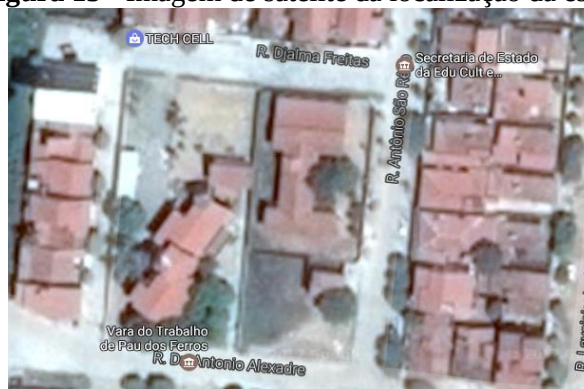
4 ESCOLA MUNICIPAL PROF(A) NILA RÊGO

A cidade de Pau dos ferros está na região nordeste, especificamente no estado do Rio Grande do Norte no auto oeste potiguar⁶, sendo localizada na Figura 14 em uma das sete microrregiões onde a mesma é uma das cidades polo.



A escola municipal prof(a) Nila Regô está localizada na rua Raimundo S. do Rego, bairro Princesinha do Oeste, Pau dos Ferros. A escola municipal é composta pela secretaria, 6 salas de aula, 2 banheiros e pátio, também podendo ser observado espaços ociosos nos fundos do prédio. Contém 143 alunos no período da manhã e 140 no período da tarde somando um total 183 alunos. Seu horário de funcionamento pela manhã é das 7:00 às 11:30 h, com um intervalo das 9:30 às 9:50 h e no horário da tarde das 13:00 às 17:30 h, com um intervalo de 15:30 às 15:50 h, a Figura 15 mostra a localização da escola com precisando podendo ser visualizado toda sua área ocupada.

Figura 15 - Imagem de satélite da localização da escola.



Fonte: Google maps.

⁶ Termo popularmente utilizado pela população da região do interior do estado do Rio Grande do Norte, onde o termo formal seria mesorregião do oeste potiguar dividindo o estado nessas quatro mesorregiões a qual agrupa 62 municípios.

As duas salas em estudo são compostas pela manhã com 31 alunos na primeira série do fundamental e 25 alunos na segunda série pela tarde as salas contem cerca de 20 alunos na quinta série e 17 também da quinta série do ensino fundamental. A diretora da escola é a senhora Antônia Maria da Silva ⁷ e a secretária responsável é a senhora Poliana Meire.

⁷ Numero para contato: (84) 996584628

5 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia teve como recorte espacial, duas salas de aula, onde funcionam 1º e 2º séries pela manhã e 5º-A e 5º-B pela tarde na Escola Municipal Prof.(a) Nila Rêgo no município de Pau dos Ferros no Alto Oeste Potiguar. Foram retiradas fotografias do ambiente para que ilustrassem fielmente para o leitor. Houve uma breve conversa com os funcionários da escola como professoras, secretária e diretora para obter informações do cotidiano da mesma, após esta etapa foram encontradas as angulações das salas através de uma bússola digital, com o auxílio do programa AutoCad® e da plataforma google maps®, encontrando a posição das salas em relação ao norte. Por fim utilizando o programa SOL ar®, encontrou-se as proteções adequadas para as salas de aula.

Num outro momento analisou-se quais os métodos para melhorar o ambiente de estudo, assim utilizando maior iluminação natural, reduzindo o custo de energia convencional (elétrica) e melhorando a qualidade de vida dos usuários que a utilizam. Desde Janeiro foi feito a pesquisa bibliográfica, sendo até o início de Março esta etapa. Foram discutidos com o orientador e coorientador as informações obtidas e elaborados meios de minimizar a problemática. Para finalizar foi exposto aos envolvidos a problemática através de dados e indicação das soluções para minimizar o mesmo.

5.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados foram para medição:

- Luxímetro digital Minipa MLM-1011;
- Bússola digital;

Os programas foram:

- AutoCad®;
- SOL AR®;
- Google maps®.

5.2 MEDIÇÕES

- A primeira etapa foi a medição com o Luxímetro seguindo os seguintes passos primeiramente colocando o instrumento em cima da mesa dos alunos onde é

considerado a região de trabalho, após retirado a tampa de proteção e posicionado o botão de unidades para W/m^2 foi acionado o instrumento e aguardado a definição da medição, em seguida repetindo esta sequência nas outras mesas nas duas salas de aula.

- No segundo momento, utilizando a bússola, se posicionou nas paredes onde estava instalado as janelas e na parede onde achou oportuna sua instalação, e através da bússola encontrado os ângulos de referência com o norte. Na outra etapa foi utilizado o google maps® encontrando a localização da escola retirando uma imagem da plataforma e inserida no AutoCad® para a correção desses ângulos colocando linhas paralelas nas fachadas necessárias e outra linha perpendicular as mesmas para, a partir do norte mostrado no programa seguir, o sentido anti-horário para obter os ângulos e verificar os valores correspondentes. O último processo dessa etapa foi inserir estes ângulos no programa SOL ar® e utilizar os gráficos.
- Por fim a utilização da câmera fotográfica, com o intuito de ilustrar melhor o trabalho através de imagens de diversas posições como da fachada da escola, do interior das salas e da região externa, a Figura 16 mostra alguns programas utilizados no trabalho meramente ilustrativo, e o instrumento utilizado para a medição de Lux nas salas.

Figura 16 – Bússola digital aplicativo em celular, Auto Cad e Luxímetro Digital Minipa MLM-1011.



Fonte: blog do Aiphone⁸, Seeklogo⁹, ANT ferramentas.

⁸ Disponível em: <https://blogdoiphone.com/2013/07/aperitivo-ios-7-bussola-do-iphone-totalmente-redesenhada/>. Acessado em mai. 2017.

⁹ Disponível em: <https://seeklogo.com/vector-logo/236870/autodesk-autocad-2014#>. Acessado em mai. 2017.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram comparados com parâmetros normativos, os quais foram estudados, testados e estipulados por instituições compostas por equipes altamente qualificadas como a ABNT e o MEC, encontrando parâmetros mínimos para iluminação artificial e a utilização da natural. Como descrito no capítulo 2 a norma da ABNT utilizada é a NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), a qual aborda a iluminação artificial em ambientes e também o FUNDESCOLA (Fundo de Fortalecimento da Escola) oferecendo diretrizes técnicas para a elaboração e acompanhamento em projetos arquitetônicos.

Por ser uma escola de pequena dimensão, com uma quantidade de alunos limitada, os problemas estruturais encontrados poderiam ser solucionados mesmo com o funcionamento da mesma em etapas planejadas por uma equipe qualificada. O fator espaço físico não mostra ser o impecílio para uma edificação bem elaborada, mas sim o mal planejamento e acompanhamento ineficaz da obra por ser observado muitos espaços ociosos nas dependências como mato alto ou até mesmo só o espaço livre.

Quando foram colhidos os dados de iluminação nas salas de aula também obteve um depoimento de uma das professoras da escola a qual relatou que antes de uma pequena reforma a iluminação era precária e após a mesma houve uma melhora considerável, mas ainda há o problema da temperatura em sala de aula. Um ponto importante citado pela professora é que o MEC está recomendando todas as salas fechadas e com ar condicionado, mas pode ser observado que isso ainda não foi implantado, no caso da escola só há uma sala já com este sistema, sendo no caso a sala para alunos especiais composta por dois alunos e a professora. As salas em estudo serão chamadas de sala 1 e sala 2 para facilitar o decorrer das observações. As observações foram feitas seguindo uma sequência da região do teto e iluminação artificial, em seguida as paredes, após o piso e por ultimo as janelas, pois entende-se que será a melhor maneira de transitar a iluminação natural no ambiente.

A estrutura do teto da sala não apresenta forro deixando exposto cabos elétricos e a madeira de sustentação, também facilitando a transferência de calor pois a única barreira para a radiação solar são os telhados isso contribui desativamente para o desconforto de temperatura na sala. Como a sala não apresenta forro e seu pé direito ser no máximo de 2,57 m não é recomendado a utilização da iluminação zenital, pois contribuiria para o aumento da temperatura interna da sala assim ficando imprópria para o ensino. A Figura 18 mostra a distribuição de pontos de iluminação no teto e sua estrutura.

Figura 17 - Pontos de iluminação no teto.

Fonte: Autor, 2017.

A utilização de forro contribuiria para o reflexo da iluminação tanto artificial quanto natural, sendo utilizado uma superfície de coloração clara como a Tabela 1 descreve refletindo cerca de 50% a 70% auxiliando em uma iluminação harmoniosa que acarreta na iluminância que para o teto deve estar entre 0,6 e 0,9 como mostra a Tabela 2. Na Tabela 5 está o valor de iluminação da sala de aula 1 quando as janelas estão fechadas, ou seja, quando só está sendo captado a iluminação artificial das luminárias.

Tabela 5 - Iluminação artificial das luminárias por W/m².

Fileiras											
1º		2º		3º		4º		5º		6º	
Ordem	W/m²	Ordem	W/m²	Ordem	W/m²	Ordem	W/m²	Ordem	W/m²	Ordem	W/m²
1º	174	1º	232	1º	240	1º	187	1º	285	1º	277
2º	190	2º	207	2º	224	2º	217	2º	289	2º	275
3º	174	3º	236	3º	239	3º	201	3º	337	3º	311
4º	137	4º	206	4º	-	4º	211	4º	456	4º	-

Fonte: Autor, 2017.

Os valores na Tabela 5 mostram a distribuição ineficaz da iluminação artificial onde como mostrado as fileiras 1º, 2º e 3º as quais ficam mais distantes dos pontos de iluminação alcançam valores menores que 240 W/m², enquanto as 4º, 5º e 6º estão próximas aos pontos de iluminação. De acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) o valor de iluminação deve ser no mínimo 300 w/m² para salas de aula do primário e secundário caso não seja especificado seu funcionamento, mas como observado nem uma das fileiras correspondem a este critério sendo alcançado só em três mesas que estão logo abaixo das luminárias. No caso do quadro negro foi deduzido que como a sala no geral não alcança o valor mínimo de 300 W/m² o quadro também não constará com a iluminação mínima, pois é de 500 W/m² como mostra a

Tabela 4. A temperatura das iluminárias está de acordo com a tabela 3 com um valor intermediário entre 3300 K e 5300 K sendo considerável apropriado, mas não o ideal. Este fato mostra que primeiramente deve-se corrigir a iluminação artificial, pois caso não seja possível a utilização da iluminação natural será suprida com a mesma, mas como este trabalho não foca-se nessa dinâmica não será adentrado os meios de correção.

Outro ponto são as paredes que influenciam também na reflexão da iluminação, foi constatado que as mesmas são divididas em cor branca e cinza onde a melhor opção seria ser totalmente branca pois a reflexão seria entre 50% a 70% como já descrito na Tabela 1 e a iluminância entre 0,3 a 0,8 como mencionado na Tabela 2, mas a região da parede mais próxima a área de trabalho dos alunos é de cor cinza como já citado sendo a porcentagem de reflexão entre 15% a 30%, portanto diminuindo a visibilidade dos alunos em sala de aula. A Figura 19 mostra a tonalidade das paredes da sala.

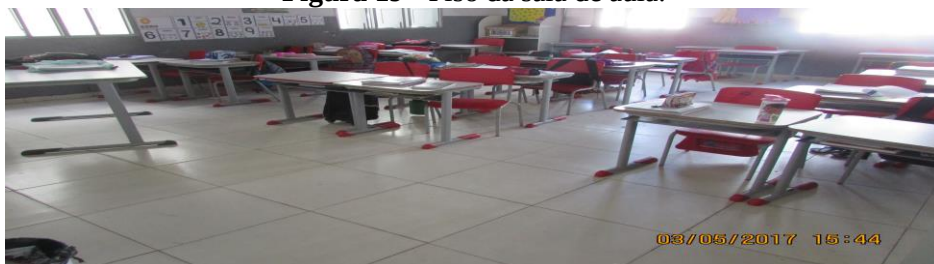
Figura 18 - Cores das paredes da sala de aula.



Fonte: Autor, 2017.

O piso segue os preceitos de reflexão que no caso é de 50% a 70% para cores claras e a iluminância é de 0,1 a 0,5 conforme a norma, ou seja no caso do piso segue os parâmetros mínimos recomendados pela norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), a Figura 20 mostra que a cor do piso da sala é branca.

Figura 19 - Piso da sala de aula.



Fonte: Autor, 2017.

Por fim foi medido com o luxímetro a iluminação com as janelas abertas mostrando-se um pequeno aumento na iluminação interna, pois por serem mal dimensionadas e por este tipo de janela ser projetada para a utilização residencial não permitem com um maior controle a radiação solar ser utilizada como iluminação auxiliar. A Tabela 6 mostra o pequeno aumento da iluminação em decorrência da radiação solar.

Tabela 6 - Iluminação artificial mais a natural por W/m².

Fileiras											
1º	2º	3º	4º	5º	6º	1º	2º	3º	4º	5º	6º
Ordem	W/m ²	Ordem	W/m ²	Ordem	W/m ²	Ordem	W/m ²	Ordem	W/m ²	Ordem	W/m ²
1º	252	1º	184	1º	150	1º	289	1º	261	1º	233
2º	228	2º	179	2º	135	2º	269	2º	252	2º	180
3º	256	3º	210	3º	138	3º	309	3º	326	3º	220
4º	223	4º	202	4º	129	4º	377	4º	418	4º	320

Fonte: Autor, 2017.

O tipo de janela utilizada impossibilita o controle eficaz da iluminação natural adentrar na sala de aula, pois ocorre da radiação ser além do recomendado atrapalhando os alunos pelos efeitos de temperatura, reflexão excessiva e ofuscamento. Assim diminuindo a interação dos alunos com o meio externo, o interesse no aprendizado e em decorrência prejudicando o rendimento escolar dos alunos.

Pela Figura 21 pode-se notar a falta de manutenção nas janelas da sala, também sua configuração que no caso não tem como possibilidade a regulagem manual na posição horizontal só na vertical, mas com uma regulagem ineficiente para salas de aula.

Figura 20 - Vista externas das janelas dos fundos.



Fonte: Autor, 2017.

Pela imagem acima pode ser observado que este tipo de janela dificulta a entrada de radiação solar adequada na sala em um determinado momento e em outro colabora para a entrada em excesso, pois seu formato não colabora com a mesma sendo que por este motivo a

melhor alternativa para os alunos é deixá-las fechadas, na Figura 22 pode-se notar seu acabamento inadequado e a falta de manutenção.

Figura 21 – Estrutura e estado físico das janelas.



Fonte: Autor, 2017.

As janelas laterais da sala de aula tem o mesmo problema estrutural porque são do mesmo tipo das já citadas, ocorrendo a mesma interação de ineficácia da iluminação natural no interior da sala, com o fator adicional de estar voltada para um corredor que serve como acesso a outras salas de aula, a Figura 23 ilustra a descrição do local citado.

Figura 22 - Janelas instaladas no corredor de acesso.



Fonte: Autor, 2017.

Na parte interna pode ser observado pela Figura 24 que a iluminação artificial é dispersa por toda sala, mas não com o valor mínimo de 300 Lux pois como mostrado na Tabela 6 são lugares pontuais que alcançam esse valor.

Figura 23 - Iluminação artificial distribuída em sala.



Fonte: Autor, 2017.

Com as janelas abertas pode verificar o aumento de iluminação interno, mas como a radiação não é constante tendo picos e vales de fluxo fica incapaz de supri-as necessidades de iluminação da sala. Como não há dispositivos capazes de regular essa fonte de iluminação natural na escola, torna-se um desperdício de meio para melhorar o ambiente escolar diminuindo o custo de energia elétrica.

Após a exposição geral da problemática em detalhes utilizando como suporte as normas regulamentadoras, será explicitado os mecanismos para a solução da problemática utilizando as normas já citadas e critérios de projeto arquitetônicos para a conformidade estrutural da sala e assim melhorando o ambiente escolar e diminuindo a utilização de energia elétrica para iluminação artificial. Como foi determinado no início das discussões será seguido uma sequência de passos para o melhor esclarecimento da problemática sendo da região do teto e iluminação artificial, em seguida as paredes, após o piso e por último as janelas onde será o foco da solução para a problemática.

A solução adequada para o teto que está descoberto com sua estrutura exposta seria forrar com os meios mais conhecidos e baratos pelo mercado como por exemplo com isopor, gesso, pvc e madeira. Seu acabamento deve ser de cor branca porque a reflexão será entre 50% a 70% como descrito na Tabela 1 e sua iluminância nos objetos ficará entre 0,6 e 0,9 como informado pela Tabela 2, com essa modificação estará colaborando para a dispersão da iluminação natural e melhor hegemonia da mesma, a Figura 25 ilustra exemplos de forros adequados para a sala.

Figura 24 - Tipos de forros.



Fontes: Dvimix¹⁰, Arts forros e telhados¹¹, Albino Silva¹² e Cemear distribuidora¹³.

¹⁰ Disponível em: <http://www.divmix.com.br/forro-drywall.html>; Acesso em mar. 2017.

¹¹ Disponível em: <http://mrforrosedivisorias.com.br/forros-em-fibra-mineral-pvc-gesso-acartonado-e-removivel/>; Acesso em mar. 2017.

¹² Disponível em: http://www.albinosilva.com.br/?page_id=89; Acesso em mar. 2017.

¹³ Disponível em: <http://www.cemear.com.br/produtos/forros/>; Acesso em mar. 2017.

Como já mencionado não será discutido os meios para adequação da iluminação artificial em vista que o trabalho não se adentra nessa temática, mas é importante relembrar que é necessária sua modificação para o valor mínimo de 300 Lux como informado pela norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013).

As paredes que compõe a sala devem ser pintadas de cores claras para que sua reflexão seja entre 50% a 70% e sua iluminância nos objetos seja de 0,3 a 0,8 como previsto na Tabela 2 auxiliando em uma iluminação harmoniosa, a Figura 26 mostra exemplos de cores a serem utilizadas na pintura das paredes da sala.

Figura 25 - Cores para paredes em sala de aula.



Fontes: Prefeitos online¹⁴, escola divina providência¹⁵ e trisóft¹⁶.

Como já mencionado anteriormente o piso foi trocado antes do ano letivo da escola, de um piso escuro e com falta de manutenção contendo buracos trazendo riscos de acidentes para os alunos para um piso uniforme e branco tendo uma reflexão de 50% a 70% e uma iluminância nos objetos entre 0,1 a 0,5 como provado pela Tabela 2. Portanto não há necessidade de nenhuma intervenção nesse quesito, só a necessidade de uma manutenção preventiva.

O método para proporcionar uma iluminação de qualidade integrando artificial com natural, inicia-se com um planejamento adequado levando em consideração a localidade da sala, o clima da região e sua funcionalidade. O primeiro passo é a criação da carta solar específica para esta sala, na qual demonstrará como a radiação direta atinge a superfície da janela sendo o parâmetro para determinar como será sua proteção. Para cada região externa de proteção da sala de aula foi criado uma carta solar, no caso para os três lados atingidos pela radiação direta sendo no fundo da sala e nas suas laterais, a Figura 27 mostra as regiões atingidas pela radiação direta e portanto as escolhidas para a elaboração das cartas solares.

¹⁴ Disponível em: <http://www.prefeitosonline.com.br/site/seminario-mostra-inovacoes-na-educacao-brasileira.html>;. Acessado em mar. 2017.

¹⁵ Disponível em: <http://www.divina.com.br/instalacoes/salas-de-aula/>;. Acessado em mar. 2017.

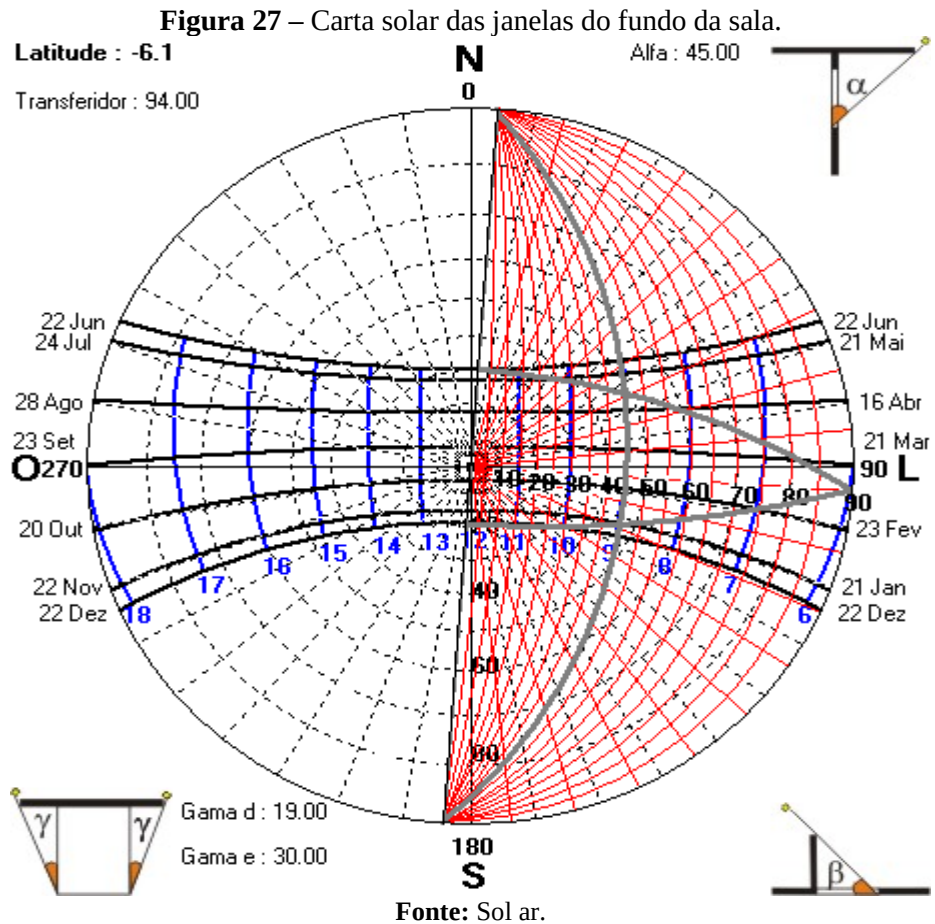
¹⁶ Disponível em: <http://www.trisoft.com.br/blog/tratamento-acustico-em-salas-de-aula-favorece-o-aprendizado/>;. Acessado em mar. 2017.

Figura 26 - Regiões atingidas pela radiação direta.



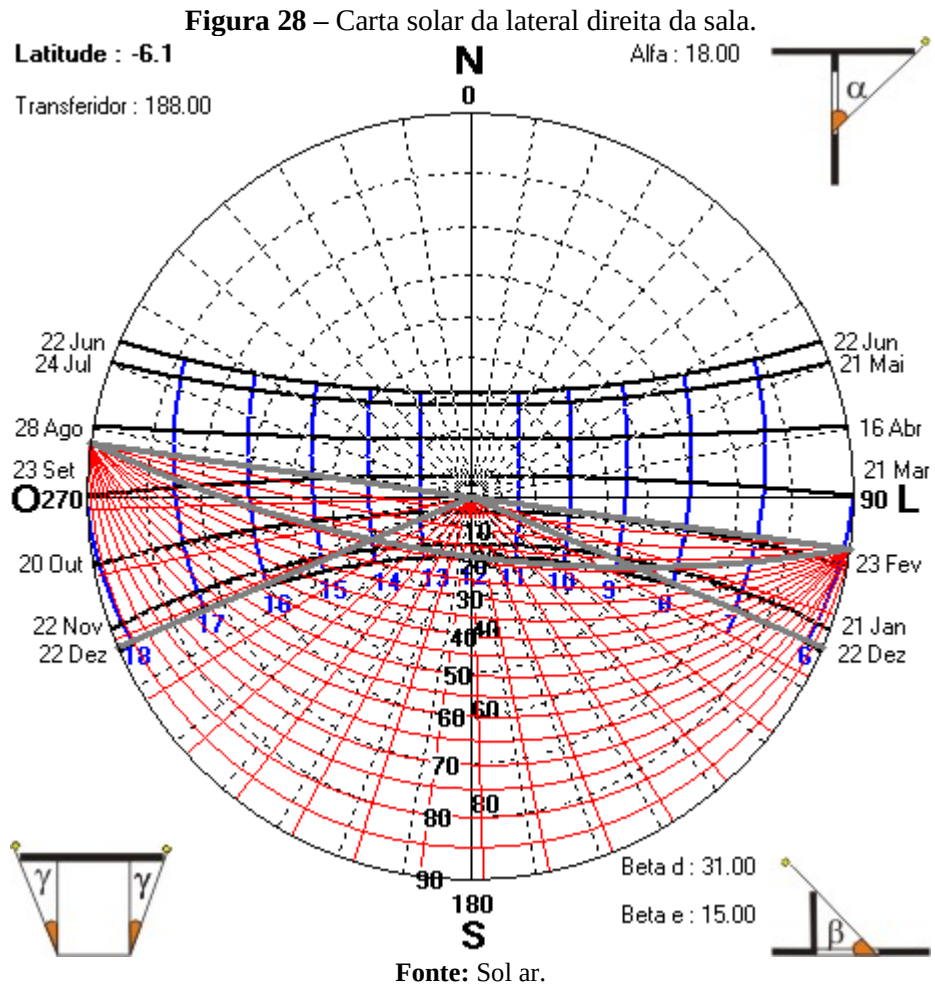
Fonte: Autor, 2017.

Uma observação importante a ser mencionada é que o programa não contém os dados climatológicos da cidade de Pau dos Ferros, foi pesquisado no site do LABEEE e constatou-se que os dados climatológicos são de cidades já cadastradas no programa. Mas para o presente trabalho utilizando a latitude de Pau dos Ferros a qual é $-6,1^\circ$ o programa proporciona os meios suficientes para a pesquisa. A primeira elaboração de carta solar foi criada para as janelas do fundo da sala obtendo um ângulo entre o norte real de 94° , onde de acordo com Barros (2001) para uma maior proteção da radiação direta no plano horizontal considerando como ponto de referência o observador deve-se verificar qual será o ângulo alfa adequado para ser eficiente no momento necessário, o qual para esta fachada foi de 45° . Como a Figura 28 mostra o resultado da carta solar para esta localização.



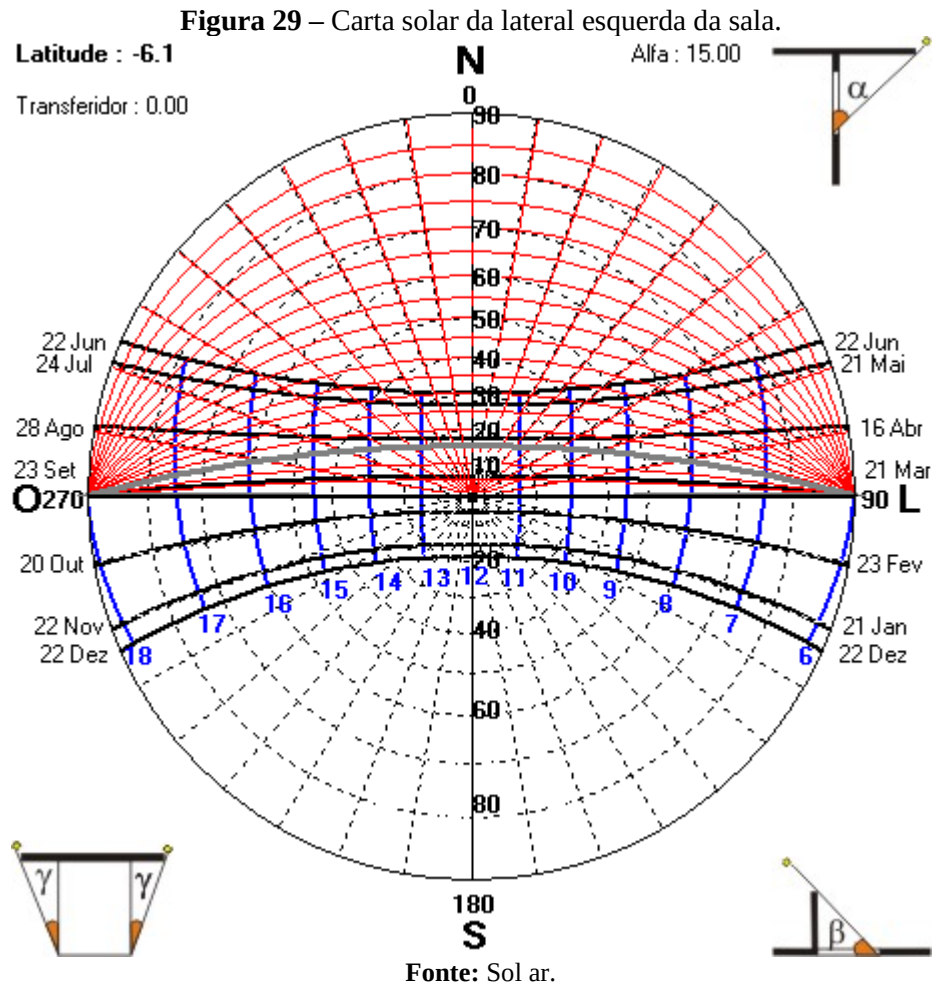
De acordo com a Figura 28 a radiação solar nesta região inicia-se de 5:45 da manhã até 12:00 aproximadamente, com o ângulo gama pela esquerda de 30° e o da direita de 19°, sua proteção inicia-se a partir das 9:00 no sentido horizontal, já pelo ângulo gama na estação do verão a proteção inicia-se pelas 6:00 até as 9:00 da manhã e no inverno também com o mesmo horário, mas é importante observar que ambos os lados não protegem integralmente a região de iluminação no horário citado. É importante a proteção contra a radiação pela manhã evitando o aquecimento interno neste horário melhorando o clima integralmente em ambos os horários, neste gráfico pode-se observar que as estações influentes são o inverno e verão no qual a proteção foi inserida na estação do verão, a qual, tem o maior índice de radiação, portanto a mesma será executada em todo momento de maior necessidade.

A próxima carta solar construída foi projetada para a lateral direita, a qual seria que dá acesso ao pátio da escola, como mostrada na Figura 29, sendo projetada para que se possa instalar janelas neste local para um acesso visual aos alunos.



Como visualizado na Figura 29 tem-se uma radiação solar inicial de 5:50 até as 18:10h da tarde, onde foi determinado a proteção vertical a partir das 5:50 com um ângulo de máscara de 31° pela direita, 15° pela esquerda e 18° na horizontal protegendo contra a radiação direta até as 18:10 horas da tarde, funcionando pelo o início da manhã e toda a tarde sendo o horário das atividades escolares. Neste gráfico é observado que há influência das duas estações, pois a fachada está em uma posição a qual sofre radiação a todo momento das estações com maior índice de radiação e no com maior intensidade a tarde.

A última carta solar construída foi da lateral esquerda onde as janelas da sala estão localizadas no corredor de acesso a outras salas de aula. O ângulo de localização da sala é de 0° pois está no sentido norte. A Figura 30 mostra a carta solar para a região direita da sala de aula.



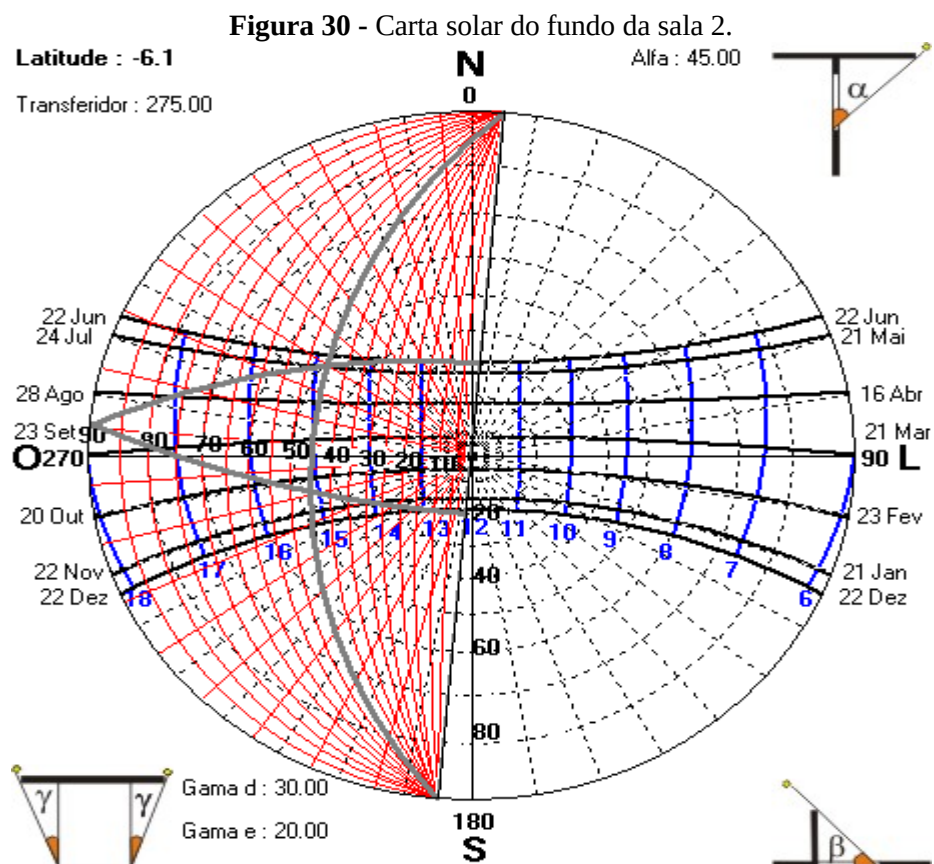
Nesta situação foi decidido colar a proteção da horizontal com um alfa de 15° só para assegurar que em momentos de radiação maior não possibilite a entrada da mesma, pois esta região compartilha com outras salas um corredor coberto o qual faz sombra em grande parte do tempo, mas a estrutura encontra-se com uma fresta que ainda deixa adentrar uma iluminação considerável. Esta região é irradiada das 6:00 da manhã até as 18:00, onde a proteção alcança todos os horários sendo que com maior área das 8:00 as 16:00, na estação do outono e inverno, os quais vão de Junho a Setembro, estações com média de radiação menor que as outras estações. A Tabela 7 mostra os intervalos da radiação direta representadas pela intensidade das cores, esta tabela serve como identificação dos níveis pelas estações do ano onde a média no inverno é entre 600 W/m², enquanto na primavera a média foi maior que 600 W/m² sendo intensificados nos horários da tarde, esta relação é importante para a proteção do ressoito.

Tabela 7 - Valores da intensidade da radiação direta.

Representação de acordo com a intensidade da radiação direta	Intervalo em relação a Lux por W/m ²
	$I_b \leq 250$
	$250 < I_b \leq 500$
	$500 < I_b \leq 850$
	$850 < I_b \leq 1000$
	$1000 < I_b \leq 1300$

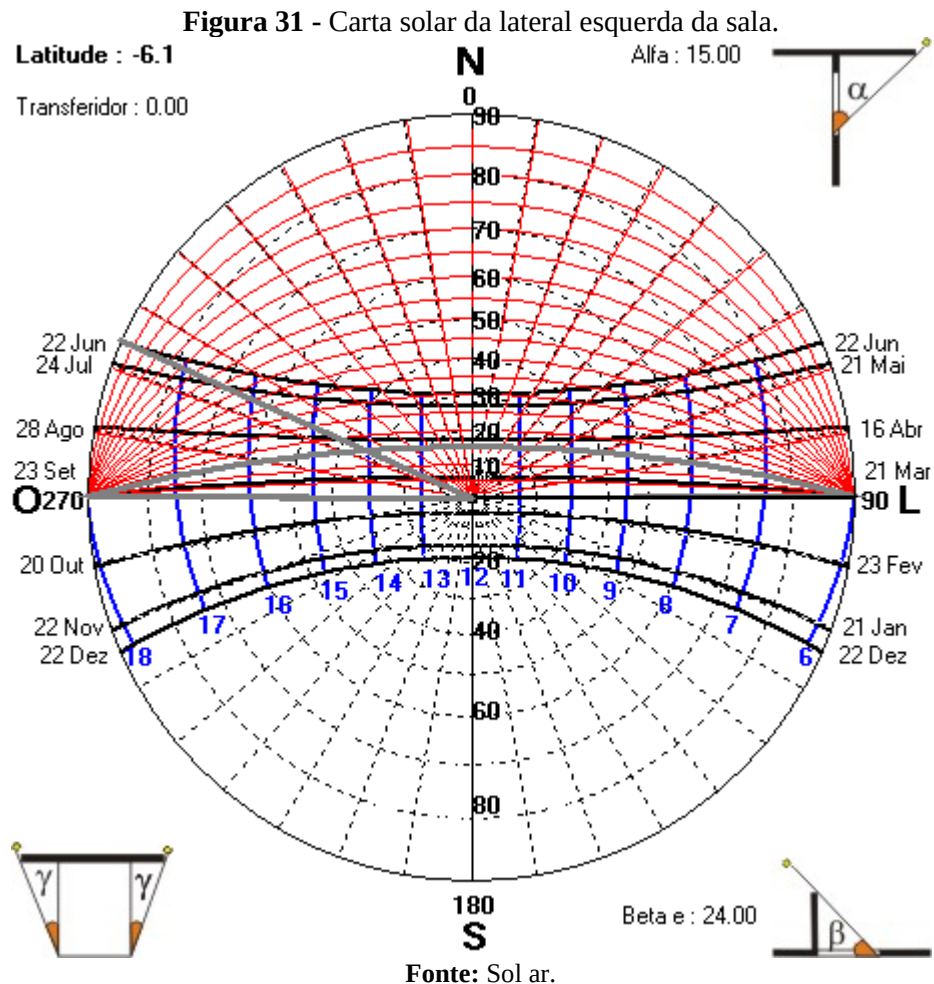
Fonte: Sol ar.

A carta solar também foi feita para a sala 2, onde os fundos da mesma se encontra com um ângulo em relação ao norte de 275° sofrendo diretamente pela radiação direta, pois é a região com a fachada de frente para o poente. A Figura 31 mostra o gráfico onde a fachada está sendo influenciada na estação do inverno e da primavera, sendo o período da tarde que afeta esta região. Os ângulos escolhidos para uma maior proteção em horários de maior índice de radiação são o alfa de 45° e os ângulos gama de 40° ambos, assim protegendo 12:50 até 16:00 totalmente e parcialmente até as 17:00.



Esta carta solar da Figura 31 foi projetada considerando uma possível instalação de janelas nesta região pois como descrito sua fachada está de frente para o poente sendo útil para o aumento de iluminação natural interna, mas seguindo os devidos cuidados. A lateral esquerda é uma parede

continua a da sala 1, por isso teria uma pequena modificação na carta solar que seria a posição da máscara de proteção vertical, a qual seria de acordo com a Figura 32.



A proteção nesta região seria no período da tarde sendo observado pela intercessão das linhas cinzas que iniciaria as 14:10 continuando até as 17:40, mas parcialmente sendo as estações desse momento o outono e inverno.

Como pelas cartas solares já foram determinados os brises e portanto sofrendo aeração diminuindo os efeitos térmicos, faltará a composição das janelas e a proteção interna. As laterais terão uma estrutura semelhante enquanto a parte do fundo será diferente pois é uma região que sofre mais com a intervenção da radiação direta e difusa.

As janelas laterais seguiram as recomendações da cartilha do FUNDESCOLA que deveram ser continuas, a fim de evitar sombreamentos indesejáveis como se encontra no atual momento. A escolha das janelas deve promover luz natural uniforme sobre o plano de trabalho em todos pontos do ambiente. Escolher persianas de cores claras que podem ser controladas manualmente e com uma variação de modificações para os ajustes de acordo com

as necessidades do momento. Como descrito na cartilha a eficiência do fator de sombra da radiação solar por vidro comum e persianas claras fica entorno de 55% sendo um valor considerado suficiente pois na parte externa conterà as máscaras de proteção.

A instalação das janelas do fundo devem ter uma proteção maior por ter a reflexão da radiação difusa e a radiação direta sobre esta região, podendo ser as próprias persianas com seus feixes fechados e sendo de cor clara a porcentagem de obstrução seria de 80%, mas com a possibilidade de controlar para verificar a melhor maneira de configurar que possa adentrar uma quantidade adequada de luz natural.

Portanto seguindo essas recomendações seria o suficiente para a sala 1 estar em conformidade trazendo conforto e eficiência para os alunos que a utilizam. A sala 2 passaria pelo mesmo processo, mas no caso só contendo a lateral esquerda e o fundo seguindo as instruções já descritas acima, para modificações na lateral direita a parede tem só dois terços do espaço vago pois está localizada próxima a outra sala, tendo só este espaço para implantação da estrutura.

Deixando claro que deve-se adotar para tomar as devidas medidas em conjunto para não ter ganho de temperatura internamente, um mecanismo auxiliar seria a rosa dos ventos a qual seria a posição de maior vento para se instalar as janelas contribuindo para um resfriamento interno, mas com os devidos cuidados também pelo fato do ar na região nordeste ser geralmente quente. Então com esses fatores pode-se encontrar um equilíbrio para implantação desse sistema de proteção, assim aumentando a iluminação natural em decorrência desse fato diminuindo a utilização da energia elétrica trazendo benefícios econômicos e de conforto ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados obtidos pode-se determinar que a eficácia da iluminação só poderá ser alcançada através da conformidade do teto da sala, das paredes, de brises externos para a proteção contra a radiação direta e janelas específicas para o ambiente escolar.

Deve-se tomar cuidado para não colocar em pratica somente uma medida colaborando para o aumento da temperatura interna das salas de aula. Vale salientar que um projeto deve seguir as normas regulamentadoras, as quais, expõem caminhos mínimos para sua adequação sendo importante o estudo detalhado e prévio através de mecanismos já encontrados no mercado como por exemplo o softawere SOL ar[®] utilizado neste trabalho.

Por fim colocando em prática esses métodos a utilização de energia elétrica será secundaria, pois com um ambiente iluminado naturalmente há uma menor necessidade da iluminação artificial ocorrendo uma economia de energia e assim financeira.

REFERÊNCIAS

ADELMO, M. V. S. **Meteorologia e climatologia**. Recife – PE, 2006. Disponível em:< http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>. Acesso em jan. 2017.

ALBUQUERQUE, A. M; FERRAZ, S. A; Et. al. Projeto eficiente: **Demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar**. XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, Florianópolis – SC, 2006, p. 3392-3401.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho parte 1**. Rio de Janeiro, 2013.

BARROS, M. S. **Potencial de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC, 2003.

BARROS, A. F. RAMOS, S. S. **Manual de conforto térmico**. São Paulo – SP. 5. ed. São Paulo: Nobel, 2001.

BERTOLOTI, D. Iluminação natural em projetos de escolas: **Uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia**. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo – USP, São Paulo-SP, 2007.

BUENO, E. P; RAMOS, F. M; Et. al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos – SP, 2006.

CARLO, J; LAMBERTS, R. et. Al. **Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando propostas de eficiência energética para o código de obras do Recife**. I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Julho 2004. São Paulo.

CAVALCANTE, C. M. **Análise do desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol**. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC, 2002.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas edificações e no espaço urbano**. Disciplina desempenho térmico de edificações.

GUIMARÃES, B. T. **Integração de iluminação natural e artificial: Métodos e guia prático para projeto luminotécnico**. Tese de Mestrado. Universidade de Brasília - UNB, Brasília, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rio grande do norte- Histórico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em:< <http://cod.ibge.gov.br/1MUX>>. Acessado em mar. 2017.

NELSON, F. C; LUIZ, G. B; Et. al. **Bioma caatinga: Recursos florestais e fauna.** Natal – RN. 2. Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.

REJANEDRUMOND. **Aproveitando iluminação e ventilação natural.** 2013. Disponível em: <<http://www.arquitetaresponde.com.br/aproveitando-iluminacao-e-ventilacao-natural/>>. Acesso em 28 jan. 2017.

SAITER, J. G. AMORIM, C. N. D. **Luz natural e projeto de arquitetura: Estratégias para iluminação zenital em centros de compras.** I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTAVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Julho 2004. São Paulo.

TSCHIELDE, B. M. **A luz além da visão.** p. 54 – 61.

VIEIRA, R. C; BRAGA, M. S; Et. al. **Cadernos técnicos 4: Espaços educativos ensino fundamental subsídios para elaboração de projetos e adequação de edificações escolares.** Brasília – DF, 2002.