



**XV ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**XI ELACAC** Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

## **ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL E DO PADRÃO DE CÉU NA REGIÃO AMAZÔNICA: MACAPÁ-AP, LAT. 0°.**

**Marcelle Vilar da Silva (1); Gabriel Hiroshi Okada Maia de Queiroz (2); João Vitor Vieira Pereira (3)**

(1) Mestra, Professora do curso de Arquitetura e Urbanismo, cellevilar86@yahoo.com.br

(2) Fisioterapeuta, graduando do curso de Arquitetura e Urbanismo, gabrielokada\_mq@hotmail.com

(3) Graduando, discente do curso de Arquitetura e Urbanismo, 2joaovp@gmail.com

Universidade Federal do Amapá, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Rod. Juscelino Kubitschek, KM-02, Jardim Marco Zero, Macapá – AP, CEP 68.903-419, Tel.: (96) 33121-1791

### **RESUMO**

Em que pese a importância da quantificação da luz natural disponível para dar base aos projetos dos edifícios e da cidade, esse dado nunca foi mensurado para a cidade de Macapá e é de fundamental importância para a elaboração de sistemas de janelamento que aproveitam melhor a luz natural, levam qualidade e eficiência energética para os ambientes tanto na escala edilícia, quanto na escala urbana, garantindo que a luz natural externa chegue às fachadas das edificações. Nesse sentido, o trabalho tem como objetivo caracterizar o comportamento do céu em Macapá, fornecendo uma estimativa da disponibilidade de luz e os padrões de céu, dados que podem embasar futuros estudos sobre a luz natural na capital amapaense. Para tal, foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre o tema, coleta de dados sobre nebulosidade, precipitação e insolação no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados sobre radiação solar incidente para superfície horizontal foram obtidos no programa Luz do Sol e foram realizadas medições dos níveis de iluminância para plano horizontal, juntamente com as tomadas de fotografia dos padrões de céu. Todos os dados foram coletados em solstícios e equinócios, ou datas próximas, no período de junho de 2017 a março de 2019, num intervalo de horário de 9h as 18h, com registros a cada hora, organizados em forma de gráficos e histogramas para caracterizar a frequência de ocorrência. Os resultados para o período demonstram que Macapá é uma cidade com variações extremas de regimes de chuva (33,7mm a 415mm), de nebulosidade (6,0 a 9,6) resultando em variações de radiação solar de 3.698Wh/m<sup>2</sup> e 8.153Wh/m<sup>2</sup> e de insolação entre 83,10horas e 282,3 horas, em que as máximas sempre figuram em setembro e as mínimas ora em março, ora em dezembro. Sobre as iluminâncias medidas, as médias diárias variaram entre 73.412 lux (setembro) e 11.888 lux (dezembro), mas os níveis chegaram a atingir 121.565 lux em setembro de 2017. O padrão de céu característico da cidade é o céu encoberto ocorrendo em 58,67% das horas e os níveis de luz disponível mais frequentes são os de intervalo entre 10.000 e 20.000lux, ocorrendo em 21,79% das horas. Palavras-chave: disponibilidade de luz natural, iluminâncias externas, padrão de céu, Macapá.

### **ABSTRACT**

Despite the importance of the quantification of the available natural light to provide basis to buildings and cities design, that kind of data has never been measured for the city of Macapá and it is the key to support the elaboration of window's systems that take advantage of the natural light, improving quality and energy efficiency to the environments on both the building scale and the urban scale, ensuring that external natural light reaches the façades of buildings. In this sense, the objective of this article is to characterize the behavior of Macapá's sky, providing an estimate of light availability and sky patterns, data that may support future studies on natural light in the capital of the state of Amapá. In order to achieve this, bibliographic research on the subject was carried out, collecting data on cloudiness, precipitation and insolation in the National Institute of Meteorology (INMET) database. The data on incident solar radiation for horizontal surface were obtained in "Luz do Sol" program and measurements were made of the levels of illuminance for horizontal plane, together with measurements of sky patterns. All data were collected at solstices and equinoxes, or near that dates, from June 2017 to March 2019, at a time interval from 9:00 am to 6:00 p.m., with hourly records organized in the form of graphics and histograms to characterize the frequency of occurrence. The results for

the period shows that Macapá is a city with extreme variations of rainfall regimes (33.7mm to 415mm), cloudiness (6.0 to 9.6) resulting in variations of solar radiation of 3,698Wh / m<sup>2</sup> and 8,153 Wh / m<sup>2</sup> and sunshine between 83.10 hours and 282.3 hours, in which the maximum illuminance always appears in September and the minimum illuminance appears in sometimes March and sometimes in December. On measured illuminances, daily averages ranged from 73,412lux (in September) to 11,888 lux (in December), but the levels reached 121,565lux in September 2017. The characteristic sky pattern of the city is the overcast sky occurring at 58, 67% of the measured hours and the most frequent available light levels are those between 10,000 and 20,000lux, occurring in 21.79% of the measured hours.

Keywords: availability of natural light, external illuminances, sky pattern, Macapá.

## 1. INTRODUÇÃO

Este estudo é proveniente de resultados do projeto de pesquisa “Avaliação da qualidade ambiental em espaços educacionais: diretrizes de conforto para edificações” registrado na Universidade Federal do Amapá (UNIFAP) desde 2016, o mesmo está inserido em um projeto multidisciplinar da administração da universidade, criado para reforma e melhoria de salas de aula, chamado Sala 2.0 e há três anos vem sendo realizado o monitoramento de uma sala aula, por meio da mensuração de dados de iluminâncias internas e externas.

A partir do projeto de pesquisa e da necessidade evidente de se coletar dados climáticos e reunir publicações sobre o clima de Macapá, notou-se a enorme dificuldade de se obter referências publicadas sobre o clima local, algumas bases de dados não contemplam a capital amapaense e muitos programas de simulação para Conforto Ambiental não possuem a cidade cadastrada, o que é corroborado por Tavares (2014) que afirma que, a falta de publicações científicas sobre os aspectos do clima do município de Macapá, tem sido um problema enfrentado por diversos setores produtivos, como a economia, a agricultura, a geração de energia, o planejamento urbano, a construção civil, etc.

A ausência de informações é ainda mais grave em relação aos níveis de iluminâncias para a cidade, por não ser uma variável base utilizada para previsões climáticas como a temperatura, por exemplo. Este é um problema comum para outras capitais também, pois os valores para a luz natural externa não estão disponíveis nos principais sites de obtenção dos dados climáticos, isto porque as estações meteorológicas utilizadas para a obtenção desses dados, que são as dos aeroportos, não registram dados de iluminância.

Portanto não há dados medidos e nenhuma publicação existente sobre a disponibilidade de luz para Macapá, tornando este trabalho relevante, como um indicativo do comportamento do céu e da quantidade de luz natural disponível para a cidade.

A importância da luz natural para o homem justifica-se pelo fato de que ele teve a maior parte de sua evolução, até os dias atuais, em um ambiente dominado predominantemente por esta fonte que lhe garante o contato com o meio externo, satisfazendo uma necessidade psicológica dos usuários dos espaços (MAJOROS, 1998).

De acordo com Lim e Ahmad (2014) como a luz do dia é dinâmica, não há uma solução comum para todos os cenários e o entendimento das condições do céu é o fundamento para uma iluminação natural eficaz nos recintos.

Segundo Souza e Pereira (2004) é mundialmente recente a quantificação da disponibilidade de luz natural, apenas em 1996 foi lançado o primeiro Atlas Europeu de Iluminação Natural. No Brasil, apenas a partir de dezembro de 2001, iniciou-se a medição sistemática de níveis de iluminação natural externa pela Estação de Medição de Iluminação Natural de Florianópolis/SC – EMIN Floripa, havendo uma segunda estação, localizada em Belo Horizonte/MG, em operação desde 2003.

É notória a necessidade de obtenção desses dados relativos à quantidade de luz natural externa disponível, pois não é possível avaliar e projetar um sistema de iluminação natural para um ambiente de forma eficiente sem essas informações, e isso interfere ainda no planejamento urbano da cidade uma vez que segundo Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1975) é necessário garantir que todos os edifícios recebam boa iluminação e isto está relacionado aos efeitos das obstruções circunvizinhas, que pode ser grave em áreas adensadas. Já existem vários códigos relacionados a isso e para salvaguardar esse direito os instrumentos urbanos precisam limitar a altura e estabelecer recuos para que a fachada de cada edifício receba uma quantidade adequada de luz natural.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é caracterizar o comportamento do céu em Macapá quanto à sua disponibilidade de luz e os padrões de céu e fornecer dados ainda não mensurados para embasar futuros estudos sobre a luz

natural e dar condições para que projetos que visam o aproveitamento da luz natural em ambientes tenham uma base de dados verificados *in loco*, logo mais real, como referencial.

### 3. MÉTODO

Primeiramente realizou-se um levantamento bibliográfico sobre a importância da luz natural na escala do edifício e na escala da cidade, assim como sobre o clima de Macapá. Para em seguida construir uma caracterização do céu de Macapá, por meio dos dados de nebulosidade, precipitação, insolação, radiação solar incidente na superfície horizontal, relacionando-os com medições dos níveis de iluminância externa e verificação do padrão de céu para a cidade Macapá, latitude 0°.

Os dados de nebulosidade e insolação foram obtidos a partir de tabelas mensais para os anos de 2017, 2018 e 2019, no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), organizados e demonstrados graficamente.

A radiação solar incidente foi obtida no programa Luz do Sol (RORIZ, 1995) para cada uma das oito datas das medições realizadas aplicando-se a nebulosidade mensal correspondente, obtida nas tabelas do INMET, das quais foi extraída apenas a coluna que representa a superfície horizontal (a cobertura) para quantificação da radiação recebida em cada uma das datas.

A caracterização dos tipos de céu foi realizada de acordo com a classificação da Comissão Internacional de Iluminação (CIE), utilizando de fotos do céu obtidas durante as medições das iluminâncias, onde a cada hora para as datas descritas anteriormente foi tomada uma imagem do céu, e sua ocorrência também foi organizada por meio de histogramas para demonstrar qual o tipo de céu mais frequente na cidade.

Para a verificação da disponibilidade de luz externa, foram realizadas medições dos níveis externos de iluminâncias no plano horizontal, a uma altura do solo de 70cm. O luxímetro foi colocado sobre o uma carteira escolar (Figura 1) em local o mais desobstruído possível de edificações, dentro do campus universitário, para ter uma base segura e nivelada. Estas medições foram realizadas a cada hora, de 9h as 18h e sempre que possível nos solstícios e equinócios ou em datas próximas, sendo realizadas nas oito datas seguintes: 29 de junho de 2017, 28 de setembro de 2017, 16 de dezembro de 2017, 07 de abril de 2018, 23 de junho de 2018, 22 de setembro de 2018, 15 de dezembro de 2018 e 23 de março de 2019. Os dados foram compilados e organizados em histogramas para demonstrar a frequência de ocorrência da iluminância em Klux para Macapá.



Figura 1 – Ponto de medição externa, a direita, visto da sala de aula e a esquerda, visto de cima (círculo vermelho).

O equipamento utilizado para a medição foi o luxímetro, marca Intrutherm, modelo LD -300, (Figura 2).



Figura 2 – Luxímetro digital portátil modelo LD300

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1. Caracterização do céu de Macapá

Situada no estado do Amapá, na região norte do país, Macapá é a única capital brasileira cortada pela Linha do Equador, por essa condição, recebe durante todo o ano uma grande quantidade de energia solar, configurando-se num clima quente e úmido, que se caracteriza principalmente pelo regime de precipitação, sujeito a grandes variações sazonais devido à migração anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (TAVARES, 2014).

Segundo Tavares (2014) o regime de chuva de Macapá tem 169 dias com chuva, durante a estação chuvosa e 196 dias sem chuva, durante a estação seca. A estação chuvosa se estende de dezembro a julho e a estação seca se estende de agosto a novembro, sendo o mês de julho, o mês de transição entre as duas estações. Com relação às datas das medições realizadas nesta pesquisa, os meses de março de 2016 e 2018 dezembro de 2018, foram os mais chuvosos, porém cabe destacar que em março de 2019, não se manteve a alta quantidade de chuva padrão dos anos anteriores. Já setembro foi o mês menos chuvoso, ou também caracterizado como seco. (Figura 3).

Vilhena (2017) afirma que “de acordo com a classificação de Köppen, a Ilha de Santana possui domínio climático do tipo “Am”. Equatorial Úmido que corresponde a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Sob o domínio das Massas de Ar Equatoriais (ME) e Massas Tropicais Marítimas Quentes (MTMq)”. Uma vez que a Ilha de Santana faz parte da Região Metropolitana de Macapá, na metodologia de Köppen, a cidade de Macapá também é classificada como “Am”. Já na metodologia de classificação climática de Strahler o clima da cidade é equatorial úmido, controlado pelas massas de ar equatoriais e tropicais, continentais e marítimas, segundo Tavares (2014 *apud* MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

É possível fazer uma aproximação com as classificações gerais de clima, realizadas por Romero (2013), apesar da autora utilizar médias anuais, ao avaliarmos o mês em que a precipitação foi menor, setembro de 2018, com 33,7mm, chega-se a uma situação considerada como desértica, já a máxima registrada de 415mm, em dezembro de 2018, enquadra-se em uma classificação de semi-árido, o que evidencia que há uma grande variação na quantidade de chuva registrada no período.

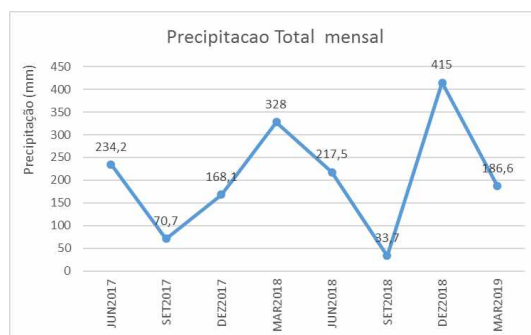


Figura 3 – Precipitação total mensal para os meses medidos

Sabe-se que, a formação de nuvens está diretamente ligada à precipitação, uma vez que a evaporação das águas de superfície leva à formação de nuvens que redistribuem a água através das chuvas. (ROMERO, 2013). A nebulosidade expressa essa quantidade de nuvens no céu, sendo registrada no período destacado, entre 6,0 e quase 10,0, apresentando-se mais elevada em março 2018 e 2019, dezembro de 2018 e junho de 2017, estando entre 8,0 e 10,0 e em setembro de 2017 e 2018 tem os menores valores registrados em torno de 6,0 (Figura 4).

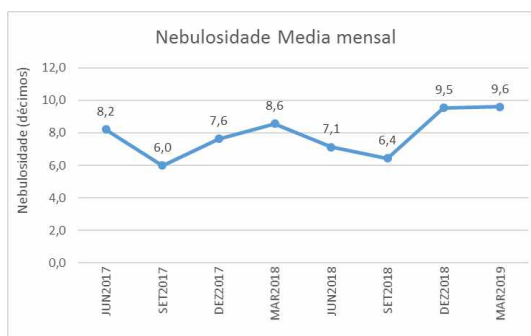


Figura 4 – Nebulosidade média mensal em décimos para os meses medidos

A cobertura do céu também influencia diretamente na radiação terrestre, pois segundo Romero (2013) ela será maior quando a atmosfera está clara e seca e menor quando quantidade de vapor d'água, poeira e nuvens aumentam, já que elas formam uma barreira a radiação. Como pode-se notar no gráfico da figura 5, os meses de setembro apresentam maior quantidade de radiação e menor nebulosidade, já dezembro de 2018 e março de 2019 são os de maior nebulosidade e menor radiação.

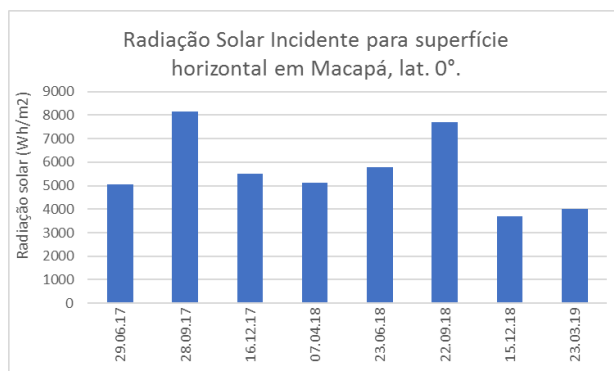


Figura 5 – Radiação Solar para superfície horizontal nos dias medidos

Quanto às horas de sol disponível (Figura 6), para os meses do período medido, com exceção de junho e dezembro de 2017 e abril de 2018 que não tinham registro nas tabelas de dados do INMET, setembro continua com mais horas de sol disponível, já que tem também a maior quantidade de radiação solar e menor nebulosidade e março de 2019 com menos horas de sol, menos radiação e mais nebulosidade.

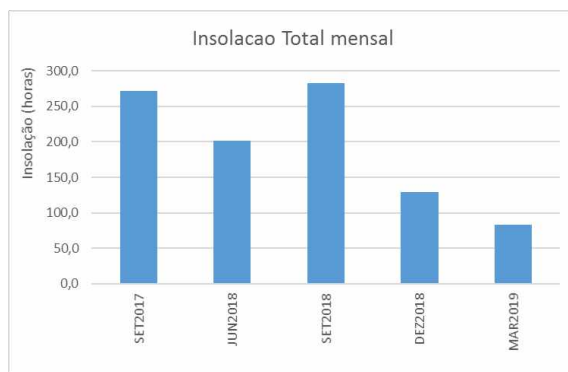


Figura 6 – Insolação total mensal para os meses medidos

Segundo Tavares (2014) essa grande quantidade de energia que chega à superfície contribui para as temperaturas sempre elevadas em Macapá. E devido à alta umidade ao longo de todo o ano, a amplitude térmica é muito pequena, não excedendo 10°C, os maiores valores ocorrem nos meses de equinócios, quando o sol passa na vertical da Linha do Equador, em março e setembro, porém no período registrado março não é um mês que se caracteriza por grande quantidade de radiação e insolação uma vez que é o mês que se apresenta como o mais chuvoso e de maior nebulosidade, logo, apesar de ser um mês do equinócio as condições do céu em Macapá, o tornam um mês de radiação baixa.

## 4.2. Padrão de céu registrados

A CIE<sup>7</sup> propõe cinco tipos de céu homogêneos, baseados na nebulosidade: encoberto, encoberto intermediário, médio intermediário, claro intermediário e claro. No entanto, considera-se que são três as categorias de céu mais relevantes para a caracterização das condições de iluminação natural: céu encoberto, céu claro e céu intermediário (ou parcialmente encoberto) (SOUZA e PEREIRA, 2004)

De acordo com Santos (2003 *apud* COUTINHO, 2009, p. 5) a CIE estabelece três tipos de céu para os estudos quantitativos e qualitativos da luz natural:

<sup>7</sup> COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (CIE) - **Spatial Distribution of Daylight: Luminance Distribution of Various Reference Skies**. Technical Report. CIE, Pub. CIE N° 110, Vienna, 1994

- a) Céu Claro – o céu encontra-se azul sem nuvens e o sol é visível. A luminosidade varia tanto no horizonte como no zênite, dependendo também da posição do sol, onde a zona mais próxima deste chega a alcançar uma intensidade luminosa 40 vezes maior que na linha do horizonte;
- b) Céu intermédio – representa uma situação intermédia entre céu limpo e céu encoberto. Esta situação representa o céu parcialmente encoberto ou parcialmente limpo e é considerado o tipo de céu mais freqüente.
- c) Céu encoberto – condições de céu completamente coberto por espessas nuvens escuras.

Apesar de receber grande quantidade de radiação solar, devido à sua localização, o padrão de céu de Macapá é decisivo na quantidade de radiação que chega a superfície terrestre e conseqüentemente na quantidade de luz, logo, é fundamental entendermos qual o padrão de céu é mais característico para a cidade, a Figura 7, mostra os padrões de céu que ocorreram durante as medições.

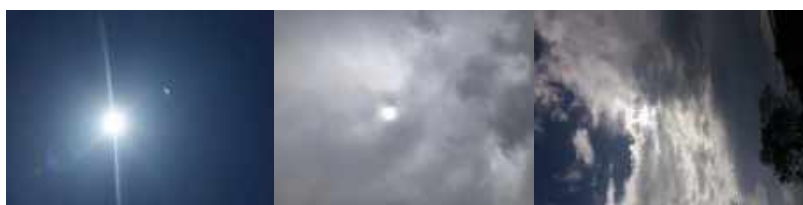


Figura 7 – Padrões de céu em Macapá: céu claro a esquerda (22.09.18 – 12h), céu encoberto ao centro (23.03.19 – 13h) e céu parcialmente encoberto a direita (23.06.18 – 16h).

É preciso frisar que, segundo Franco (2012 *apud* SILVA, 2013, p.66), a nebulosidade é um valor médio mensal que não representa o comportamento do céu real, pois a nebulosidade não acontece como um valor médio durante todo o dia, por isso para demonstrar esse comportamento é fundamental o registro dos tipos de céu a cada medição.

Nota-se na tabela 1, a seguir, que ao longo do dia o céu de Macapá sofre pouca variação, para o intervalo demonstrado (9h as 18h), o padrão de céu se manteve estável, onde nos meses chuvosos, e de maior nebulosidade, menos insolação e radiação, dezembro e março, o padrão de céu é encoberto. Já no equinócio de setembro, mês mais seco e com menor nebulosidade, maior radiação e insolação, o padrão de céu é claro, sendo que em 28.09.2017, o dia permaneceu com céu claro pela manhã e céu parcialmente encoberto a tarde, os meses de junho caracterizam-se com um céu intermediário, parcialmente encoberto, variando em 29.06.2017, em que o céu permaneceu encoberto e apenas às 14h e 15h ele se apresenta como parcialmente encoberto, o que caracteriza justamente que junho é um mês intermediário entre os secos e chuvosos, tendo uma nebulosidade e quantidade de radiação também intermediárias (estando em uma posição entre os máximos e mínimos).

Tabela 1 – Tipos de céu registrados nas medições.

Hora/Data	23.03.19	15.12.18	22.09.18	23.06.18	07.04.18	16.12.17	28.09.17	29.06.17
9H	céu encob.	céu encob.	Céu claro	sem registro	céu encob.	céu encob.	sem registro	céu encob.
10H	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu parcial. encob.	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu encob.
11H	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu parcial. encob.	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu encob.
12H	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu parcial. encob.	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu encob.
13H	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu parcial. encob.	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu encob.
14H	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu parcial. encob.	céu encob.	céu encob.	céu parcial. encob.	céu parcial. encob.
15H	céu encob.	céu encob.	Céu claro	céu parcial. encob.	céu encob.	céu encob.	sem registro	céu parcial. encob.
16H	céu encob.	céu encob.	sem registro	céu parcial. encob.	céu encob.	céu encob.	céu parcial. encob.	céu encob.
17H	céu parcial. encob.	céu encob.	Céu claro	céu parcial. encob.	sem registro	céu encob.	céu parcial. encob.	céu encob.
18H	céu parcial. encob.	céu encob.	Céu claro	céu parcial. encob.	céu encob.	céu parcial. encob.	céu parcial. encob.	céu encob.

Dos três tipos de céu, verifica-se que, para o período estudado o céu que mais ocorre em Macapá é o céu encoberto, ocorrendo em 58,67% das vezes, seguido do parcialmente encoberto que ocorre em torno de 25% e por último do céu claro com 17,33% (Figura 8).



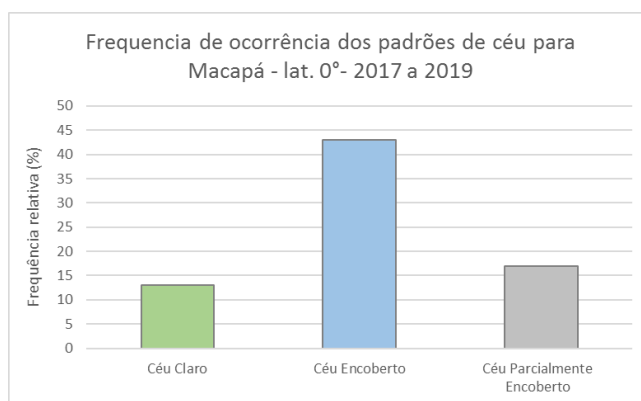


Figura 8 – Ocorrência dos tipos de céu em Macapá.

### 4.3. Níveis de iluminâncias externas

Os níveis de iluminância externa medidos em 29 de junho de 2017, 28 de setembro de 2017, 16 de dezembro de 2017, 07 de abril de 2018, 23 de junho de 2018, 22 de setembro de 2018, 15 de dezembro de 2018 e 23 de março de 2019, foram organizados graficamente para fazer uma estimativa da disponibilidade de luz natural para a cidade de Macapá.

Na Figura 9 e 10, observa-se, como esperado, que as datas que possuem as médias mais elevadas de iluminância são as de setembro em torno de 60.000 a 70.000 lux, seguido de 29.06.17 entre 40.000 e 50.000 lux, já na escala de 30.000 a 40.000 lux, seguem os dias 23.03.19 e 23.06.18, e por último entre 10.000 e 20.000 lux encontram-se os dias de 07.04.18 e 15.12.18. O comportamento da luz ao longo do dia no plano horizontal, configura-se pelo pico que ocorre às 12h, com níveis de aproximadamente 65.000 lux e dentro do horário mensurado (9h às 18h) o fim da tarde, onde encerra-se a iluminação, tem a menor média registrada às 18h de 2.500 lux.

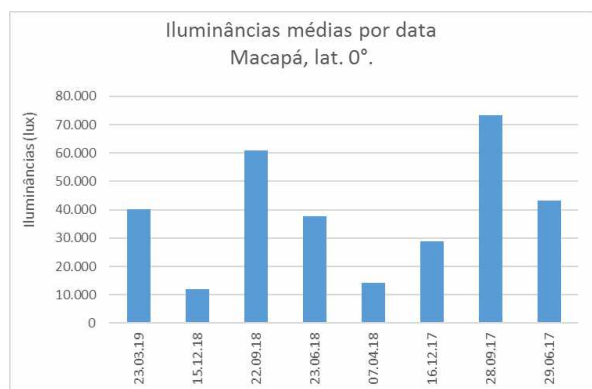


Figura 9 – Iluminâncias médias diárias

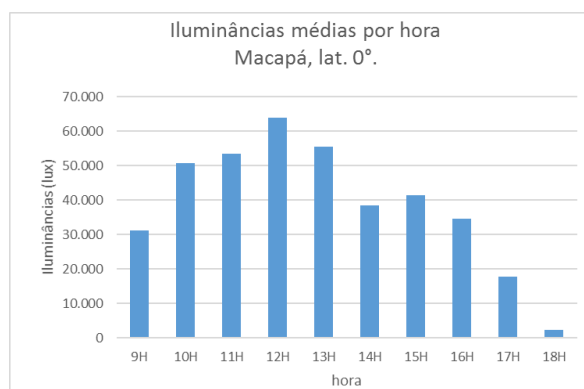


Figura 10 – Iluminâncias médias horárias

Depois de uma análise horária e diária, faz-se necessária a compilação de todos os valores medidos para compreender qual a escala dos níveis de iluminância seria mais representativa para caracterizar a disponibilidade de luz natural em um plano horizontal para a cidade de Macapá. Na figura 11 apresenta-se um histograma com escalas de intervalo de 10.000 lux, onde percebe-se que a escala de valores que mais ocorre entre as medições é a de 10.000 a 20.000 lux, tendo uma frequência de ocorrência 21,79% dentre os dados, mas também nota-se um destaque dos níveis de até 10.000 lux e entre 20.000 e 30.000 lux apresentando-se com uma ocorrência em torno de 15% destacando-se dos demais. A máxima registrada no período medido foi de 121.565 lux em 28.09.17 às 12h, que representa o momento em que sol está mais alto, tendo uma inclinação de 90° com relação a superfície terrestre atingindo-a de forma perpendicular, logo apresentando-se com a maior quantidade de radiação recebida durante o ano todo e que é caracterizado pelo padrão de céu claro e a mínima de 1.148lux em 07.04.18 às 18h, no momento do fim do dia, o pôr-do-sol, quando o sol está a quase 0° com relação a superfície e a média foi de 38.923lux.

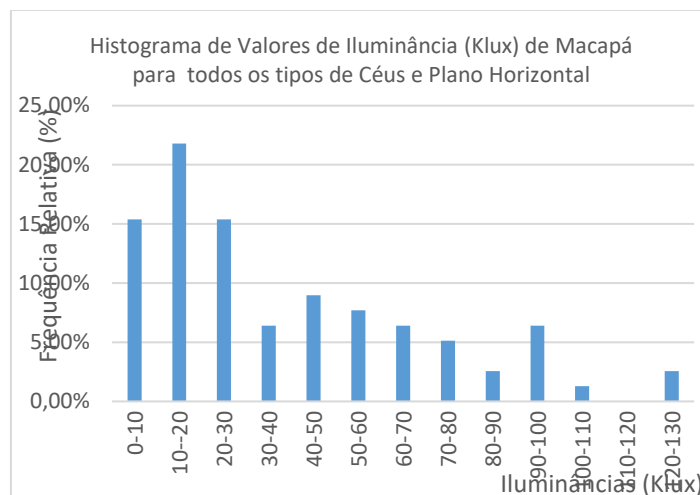


Figura 11 – Frequência de ocorrência das iluminâncias em Klux para plano horizontal

Conhecendo-se agora o padrão de céu que mais ocorre em Macapá, céu encoberto e os níveis de iluminâncias para plano horizontal, sendo entre 10.000 e 20.000 lux, é importante relacionar essas duas variáveis, demonstrando qual a média de iluminância em Klux, disponível para cada tipo de céu. O céu claro tem uma disponibilidade média de 77.000 lux, o céu parcialmente encoberto gera uma disponibilidade média de 39.700 lux e por último o céu encoberto com uma média de 28.800 lux disponível. (Figura 12)

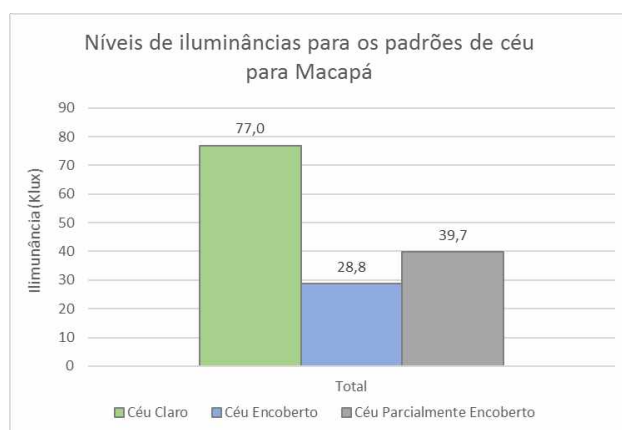


Figura 12 – Níveis de iluminâncias para cada tipo de céu

## 5. DISCUSSÕES

Observando outros estudos em climas tropicais, destacam-se pesquisas realizadas para a cidade de Belém, latitude  $-1,40^\circ$ , capital do Pará, estado vizinho ao Amapá, que possui latitude muito próxima à Macapá e para Malásia, com clima também equatorial, quente e úmido, e localidades próximas a Linha do Equador, mais especificamente as cidades de Subang Jaya (latitude  $03,03^\circ$ ), Kota Kinabalu (latitude  $5,58^\circ$ ), Johor Bahru (latitude  $1,33^\circ$ ), Shah Alam (latitude  $3,08^\circ$ ) e Bangi (latitude  $2,90^\circ$ ).

Sobre os padrões de céu, Scarazzato (1995 apud SILVA, 2013) criou um programa, o DLN (Disponibilidade de Luz Natural) que reúne valores de iluminâncias para as cidades brasileiras para os planos verticais e para o plano horizontal dividido em verão, inverno, outono e primavera. No caso de Belém, o céu parcialmente encoberto foi considerado a condição típica de céu para a cidade, um pouco diferente de Macapá que tem como céu típico o céu encoberto de acordo com as medições (com 58,67% das ocorrências, restando apenas 25% parcialmente encoberto e 17,33% com céu claro), porém em uma outra pesquisa Silva (2015) mostra através de medições realizadas entre julho de 2013 e junho de 2014, que Belém apresentou na maior parte do ano uma predominância de horas com céu encoberto, com uma média de 54% das horas diurnas do ano com esse padrão. O mês com maior percentual de horas diurnas com padrão de céu encoberto ocorreu em fevereiro, com 85%, já o menor percentual foi encontrado em julho com quase 36%.

Já nos estudos sobre a Malásia, segundo Ahmed et al. (2002 apud LIM, 2014), o céu em Subang, Malásia Ocidental, indica que 85,6% do tempo o céu foi predominantemente intermediário, 14% nublado e 0% azul. Djamilia et al. (2011 apud LIM, 2014) estudaram ainda mais a condição de céu em Kota Kinabalu,



Malásia do Leste, os resultados mostraram de 70 a 90% de ocorrências de céu intermediário, nos estudos de Zain-Ahmed *et al.* (2002) verifica-se que em 85,6% do tempo, o céu também foi predominantemente intermediário (2,3% nublado intermediário, 66% média intermediária e 16,3% intermediário azul) e 14% nublado, e destacou que na região o céu nunca é azul (ou sem nuvens). Assim a variação predominante para céu tropical ocorre entre o céu intermediário (parcialmente encoberto ou parcialmente claro) e o céu encoberto.

Quanto aos níveis de iluminâncias, do período medido em Macapá, a média foi de 38,92Klux atingiu-se a máxima de 121,56 Klux em setembro (primavera) às 12h e mínima de 1,14 Klux em abril (outono) às 18h, mas com maior ocorrência de valores entre 10 e 20Klux. Já em Belém, segundo simulações, Scarazzato (1995 apud SILVA, 2013) apresenta maior ocorrência de valores entre 90,1 Klux e 100 Klux, com máxima de 98,2Klux as 12h no verão e mínima de 0,3Klux as 18h na primavera e média de 58,92 Klux e nos estudos de Silva (2015), apesar de não organizar as iluminâncias por hora ou data, as tabelas de dados externos mostram valores com médias acima de 100Klux, e ocorrências em torno de 100 a 150Klux.

Nos estudos realizados na Malásia, segundo Zain-Ahmed *et al.* (2002) os níveis globais de iluminância são geralmente elevados, com médias horárias que excedem 80 KLux, as 12h, e as máximas ocorreram em março, mês mais quente e de irradiação solar mais elevada. Mesmo durante os meses de menor irradiação solar, a iluminância pode chegar a 60 KLux, as mínimas foram registradas no mês de dezembro, mês mais frio e no mês de agosto foram registrados os valores médios, sendo este mês um intermediário entre os mais quentes e mais frios.

Lim (2014) afirma que no clima tropical, a iluminância global pode ser muito elevada e que a aplicação dos padrões para a simulação de um céu tropical realizada pela CIE, apresentam valores subestimados, isto porque, a iluminância externa no trópicos pode ser tão alta quanto 130 Klux, enquanto a simulação da CIE fornece valores de iluminância externa abaixo de 20Klux.

As medições na Malásia mostraram que, em céu intermediário às 12h, a média da iluminância global máxima foi de 81,26 Klux, pela manhã e pela tarde, a média ficou entre 40 a 50 Klux. Mesmo durante o céu nublado, a iluminância global média atingiu 27,81 Klux (LIM, 2014). Esses valores se encontram muito próximos às médias verificadas para Macapá, onde a disponibilidade para céu encoberto (nublado) foi de 28,8Klux e para céu parcialmente encoberto (intermediário) foi 39,7 Klux, caracterizando como elevada a disponibilidade de luz natural em cidades próxima a Linha do Equador.

Segundo Lim *et al.*, (2012), a principal desvantagem para o aproveitamento da luz do dia no clima tropical é alta intensidade de radiação solar que resultará em energia solar indesejada e ganho de calor. A luz do dia não controlada pode levar ao brilho excessivo, especialmente em tarefas que utilizam computador (CARMODY *et al.*, 2004 apud LIM *et al.*, 2012). Dubois (2005 apud LIM *et al.*, 2012) afirma que a iluminância sobre o plano de trabalho superior a 500 lux é excessiva para as tarefas com computador, porém segundo Zain-Ahmed *et al.* (2002) a iluminância global no céu tropical pode ser superior a 100Klux, o que foi perfeitamente corroborado pelas medições/simulações em Macapá, Belém e Malásia, sendo assim, a disponibilidade de luz do dia, no clima tropical é elevada e causará desconforto para os ocupantes dos edifícios que utilizam a luz natural, sem os estudos necessários para adequação climática.

## 6. CONCLUSÕES

A cidade de Macapá apresenta diferenças extremas exemplificadas pelo mês de setembro, caracterizado por ser o período menos chuvoso, menos nebuloso, com grande quantidade de radiação e insolação, com padrão de céu claro e disponibilidade média de luz natural para plano horizontal entre 60.000 e 75.000 lux e pelo mês de março, mais chuvoso, com maior nebulosidade, menor quantidade de radiação e insolação, padrão de céu encoberto. Porém quanto à disponibilidade média de luz, as datas representativas do equinócio de março, 23.03.19 e 07.04.18, tem variações com valores em torno de 40.000 lux (março) e 15.000 lux (abril) e, apesar de terem o mesmo padrão de céu, o encoberto, 07 de abril (data mais próxima do equinócio de março que foi possível medir) está um pouco distante do momento em que o equinócio ocorre, faz-se então necessária essa observação para a análise, que pode ter interferido no comportamento padrão dos valores do equinócio de março. Então, após essas duas datas destacadas anteriormente, quanto à disponibilidade de luz o período com menores valores registrados foi dezembro variando entre 10.000 lux em 2018 e 30.000 lux em 2017, meses que seguem o mesmo padrão de março com céu encoberto, nebulosidade elevada e baixa quantidade de radiação comparada aos outros períodos registrados.

O céu de Macapá caracteriza-se como encoberto, esta é a situação de céu mais frequente para a cidade, diferenciando-se do tipo de céu considerado mais frequente por Souza e Pereira (2004), o céu parcialmente encoberto, não ocorrendo variações representativas ao longo do dia, com uma disponibilidade de luz entre 10.000 e 20.000 lux, na maior parte do período registrado que compreende junho 2017 a março de 2019.

Nota-se que por sua localização no globo, estando numa latitude 0°, Macapá recebe grande quantidade de radiação solar, quando o céu está claro, ou seja, limpo e sem nuvens. Como esta capital é caracterizada, como demonstrou-se, por elevado regime de chuva e nebulosidade, este é um fator primordial que reduz os níveis da radiação que chegam na cidade, o céu prioritariamente encoberto altera esta condição, apesar de, se compara a outras capitais, seus níveis de radiação solar recebida ainda serem bastante elevados. Já que não possui variação entre duração do dia no inverno e verão, e a duração dos dias é igual a das noites (FROTA e SCHIFFER, 2003) oferecendo sempre 12 horas insolação em qualquer época do ano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COUTINHO, Mónica Sofia. **Avaliação das condições de iluminação natural através de simulações em modelos virtuais: o estudo de caso da Reitoria da Universidade Nova de Lisboa**. 2009. 134f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**. 6. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.
- HOPKINSON, R.G., PETHERBRIDGE, P., LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975. 776 p.
- INMET - Instituto Nacional De Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), Série Histórica - Dados Mensais**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 8 abr. 2019.
- MAJOROS, András. **Daylighting**. PLEA Notes, Note 4. PLEA in Association with Department of Architecture, the University of Queensland Edited by S. V. Szokolay, 1998.
- LIM, Yaik-wah. **Dynamic daylight and solar control in tropical climate**. American Journal Of Applied Sciences, Malásia, v. 11, n. 10, p.1766-1772, 1 out. 2014. Science Publications. <http://dx.doi.org/10.3844/ajassp.2014.1766.1772>.
- LIM, Yaik-wah; AHMAD, Mohd Hamdan. **The effects of direct sunlight on light shelf performance under tropical sky**. Indoor And Built Environment, Malásia, v. 24, n. 6, p.788-802, 26 maio 2014. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1420326x14536066>.
- LIM, Yaik-wah et al. **Building façade design for daylighting quality in typical government office building**. Building And Environment, Malásia, v. 57, p.194-204, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.015>
- ROMERO, M. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 2. Ed. São Paulo 2000.
- RORIZ, Mauricio. **Luz do Sol: software para estimar o calor e a luz provenientes do sol. Versão 1.1**. [S. l.: s. n.], junho 1995. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/luz-do-sol>. Acesso em: 15 mar. 2019.
- SCARAZZATO, Paulo Sergio. **DLN: Software preditivo da disponibilidade de luz natural em planos horizontais e verticais externos as edificacoes**. São Paulo, 1995. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/pesquisa-novo/laboratorios-de-pesquisa/labaut/software-de-conforto/>. Acesso em: 30 mar. 2019
- SOUZA, Roberta V. G. de; PEREIRA, Fernando Oscar R. **Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 79-94, jul./set. 2004.
- SILVA, Marcelle V. **Técnicas para avaliação do desempenho térmico e lumínico associado a sistemas de prateleira de luz em clima quente e úmido**. 2013.176f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- SILVA, Paulo André Dantas. **Análise comparativa entre sistemas de prateleira de luz, com o uso de placas vazadas, em clima quente e úmido equatorial**. 2015. 159f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.
- TAVARES, J. P. N. **Características da climatologia de Macapá – AP**. Revista Caminhos de geografia. Uberlandia, v.15, n.50, p. 138-151, Jun/2014.
- ZAIN-AHMED, A. et al. **The availability of daylight from tropical skies: a case study of Malaysia**. Renewable Energy, Malásia, v. 25, p.21-30, 2002.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Profa. Ma. Patrícia Takamatsu pelo empréstimo dos luxímetros, por ter participado como colaboradora desta pesquisa, ao arquiteto Tiago Vieira Pereira, que durante muito tempo foi bolsista voluntário, a todos os alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo que participaram voluntariamente das medições e à UNIFAP pelo provimento recente de uma bolsa de iniciação científica para o projeto de pesquisa.