



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
COORDENAÇÃO GERAL DE PESQUISA



**TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA**  
**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA:**  
**IMPLICAÇÕES NO CONFORTO, NA SAÚDE E NO DESEMPENHO DE ALUNOS**  
**EM AMBIENTES DE ENSINO INTELIGENTES (NEWS ICT) EM ÁREAS DAS**  
**REGIÕES BRASILEIRAS**

**TÍTULO DO PLANO DE TRABALHO**  
**ANÁLISE DA RADIAÇÃO TÉRMICA EM AMBIENTES DE ENSINO**  
**INTELIGENTES:**  
**A INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS**

**BOLSISTA PIBIC/CNPQ/UFPB**

**Thainá Santiago do Rego Barros**

**ORIENTADOR**

**Prof. Luiz Bueno da Silva**

**João Pessoa,**  
**PB Agosto 2016**

**RESUMO**

Com o estudo do envelope construtivo e seus materiais constituintes, bem como do projeto arquitetônico é possível examinar o desempenho térmico de uma edificação. Um bom projeto aliado ao uso correto dos materiais pode contribuir para o conforto térmico. Nesta pesquisa investigou-se os materiais construtivos utilizados nos edifícios de estudo e a relação entre a temperatura do ar e a temperatura de globo. O objetivo é analisar os elementos do envelope construtivo em ambientes de ensino inteligentes (*news ICT*) a fim de determinar sua influência na temperatura interna dos ambientes. A escolha desse tipo de espaço se dá pelo fato de existirem outras fontes geradoras de calor trabalhando para aumentar a temperatura no ambiente. Assim, foram realizados levantamento das características dos ambientes escolhidos para análise e medições de temperatura *in loco* em duas cidades distintas Manaus (AM) e João Pessoa (PB). Para a análise do desempenho térmico e do projeto arquitetônico foi utilizado o método de Carl Mahoney (RORIZ, 1996); e para a avaliação dos materiais construtivos encontrados nos edifícios em estudo, foi utilizado a NBR 1522 (2003). Os resultados revelaram que em relação ao envelope construtivo, as vedações laterais se encontram, nos três laboratórios, dentro dos limites estabelecidos pelo método; a transmitância térmica  $U \leq 2,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , mas a cobertura está fora do limite estabelecido ( $U \leq 0,85 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ) em dois dos laboratórios estudados, sendo, desta forma, um contribuinte para a carga térmica dentro dos ambientes. Em relação à temperatura, constatou-se que em grande parte dos experimentos a temperatura de globo foi superior à temperatura do ar, o que implicaria afirmar que alguns fatores do envelope das edificações e as fontes de calor nos ambientes podem contribuir para o aumento da radiação térmica.

**PALAVRAS CHAVE:** desempenho térmico, envelope construtivo, temperatura.

## INTRODUÇÃO

A arquitetura tem um papel decisivo no conforto térmico do ambiente construído, portanto a concepção de um bom projeto arquitetônico é de extrema importância. Para tanto é necessário conhecer as variáveis que atuam no ambiente térmico.

Na concepção do projeto arquitetônico muitas variáveis ambientais externas influenciam no mesmo, por exemplo, a oscilação diária e anual de temperatura, umidade relativa, quantidade de radiação solar incidente, nebulosidade, época do ano, sentido dos ventos e índices pluviométricos (Frota, 2003 apud OLIVEIRA, 2015). Desta forma, de acordo com Keeler e Burke (2010) apud Ritter (2014) o desenvolvimento do projeto arquitetônico deverá contemplar vários aspectos, tais como, o conhecimento do clima local, das condições do lote e do seu entorno, do movimento solar e dos ventos dominantes, das condições de umidade, da forma e dos materiais do edifício, sempre buscando o aproveitamento ou a proteção das energias naturais que afetam a edificação, o entorno imediato também é um ponto muito importante, pois em locais arborizados a vegetação pode interceptar entre 60% e 90% da radiação solar, causando uma redução considerável da temperatura da superfície do solo (LAMBERTS et al, 1997), resfriando assim a ventilação que incide no ambiente.

Em uma edificação as trocas de calor entre os meios exterior e interior têm como meio o envelope construtivo. O envelope pode ser dividido em duas partes: os fechamentos opacos e os transparentes – a sua principal diferença é a sua capacidade ou incapacidade de transmitir radiação solar para o ambiente interno (LAMBERTS et al, 1997), por essa razão é tão importante a orientação geográfica do edifício e de suas aberturas, as proteções contra o sol, a organização do espaço e o pé direito (Candido et al. 2011 apud OLIVEIRA, 2015); bem como seus materiais constituintes, pois os mesmos têm uma relação direta com o desempenho térmico das edificações. Para tanto deve-se considerar a transmitância térmica ( $U$ ) de cada material, ela representa o fluxo de calor transmitido por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura (ANSI/ASHRAE 55-2004).

Um dos maiores contribuintes para o ganho térmico em edifícios é a radiação térmica (LAMBERTS et al, 1997), sua análise é, portanto, fundamental, uma vez que uma edificação má projetada pode contribuir para o aumento de radiação térmica nos ambientes. O estudo da temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) é importante, pois, a mesma é um fator significativo, especialmente em edifícios cujo envelope está exposto a radiação solar (ATMACA et al. 2007).

Um fato que vem sendo identificado em pesquisas recentes em ambientes de ensino com o uso de tecnologias de informação e comunicação (*news ICT*), é que, em alguns casos, a temperatura de globo ( $t_g$ ) é maior que a temperatura do ar ( $t_a$ ), o que por sua vez gera um aumento na temperatura radiante média dentro do ambiente (D'AMBROSIO ALFANO et. al. 2013). A temperatura de globo é a temperatura que indica a intensidade de radiação térmica existente num ambiente (COUTINHO, 2005); temperatura do ar é a temperatura em volta do ocupante; e a temperatura radiante média representa a temperatura de superfície uniforme de um ambiente imaginário em que um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação como no espaço real não uniforme (ASHRAE Standard 55-2004). Vale ressaltar que ao retratar o efeito resfriamento ou aquecimento no ambiente, utiliza-se a temperatura radiante média como uma variável determinante para avaliar esse efeito. O uso dos equipamentos antes citados e as características do envelope construtivo podem colaborar para o aumento da temperatura de globo e, caso ela supere a temperatura do ar, a temperatura radiante média será mais representativa no ambiente.

## OBJETIVOS

Investigar os elementos do envelope construtivo e o projeto arquitetônico em ambientes de ensino inteligentes a fim determinar a sua influência na temperatura interna desses ambientes; tem como objetivos específicos, estudar as variáveis arquitetônicas dos ambientes em estudo e também analisar o desempenho térmico no ambiente.

## MATERIAL E MÉTODOS

Essa pesquisa tem como objeto de estudo os ambientes de ensino inteligentes (*news ICT*) em duas cidades brasileiras, Manaus (AM) e João Pessoa (PB).

### Características climáticas de Manaus (AM)

Manaus situa-se próxima a linha do Equador, a 3,13° latitude Sul e 60,02° longitude Oeste, a incidência solar é praticamente perpendicular durante o ano. Possui clima tropical úmido, com temperatura média anual de 26,7°C. A umidade do ar é relativamente elevada durante o ano, devido sua proximidade à floresta, a ventilação Nordeste é predominante no ano inteiro. Os prédios foram implantados de forma que a maior fachada do edifício se encontra na posição Norte-Sul, conforme localização do ambiente (Fig.1), que neste trabalho vai ser chamado de ‘A’.

Figura 1 – Vista de satélite, ambiente A em Manaus



Fonte: Google Earth, editado pelo autor, 2016.

### Caracterização do Ambiente escolhido para análise – Manaus

Os materiais predominantes no projeto são estrutura metálica, concreto e alvenaria. A cobertura de estrutura metálica independente funciona como uma ampla proteção para o edifício e sua circulação, através dos seus beirais e, por ser acima da laje dos ambientes, forma um colchão de ar ventilado entre as telhas de fibrocimento e o forro de concreto. Com relação ao entorno, os jardins existentes ajudam a resfriar o fluxo de ar que penetra na edificação e funcionam também como proteção à radiação solar.

Figura 2 - Entorno ambiente A.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 3 - Grande cobertura metálica.



Fonte: Autor, 2016.

A tabela 1 apresenta uma especificação detalhada dos materiais construtivos e revestimentos utilizado na construção do prédio, dados necessários para avaliação do desempenho térmico da edificação.

Tabela 1 - Materiais construtivos e revestimentos das salas – Manaus (AM).

Componente do edifício	Material
Cobertura independente	Telha de fibrocimento
Estrutura da coberta	Metálica, pintada de verde
Forro	Laje de concreto, revestida com cortiça
Estrutura da sala	Concreto aparente
Vedação da sala	Tijolo cerâmico vazado
Esquadrias	Madeira e vidro incolor comum
Revestimento externo da vedação	Pastilha cerâmica
Revestimento interno da vedação	Fórmica bege até altura de 1,80m
Revestimento do piso	Cerâmica

Fonte: Autor, 2016.

O ambiente possui uma área de 69,42m<sup>2</sup> e pé direito de 3,40m na face Norte, 3,70m na face Sul e a parte mais alta possui um pé direito de 4,50m, dimensões da sala: 7,80 m por 8,90 m. Dispõe de dois aparelhos de ar condicionado *Split* e 18 luminárias, com duas lâmpadas fluorescentes cada. O layout estava distribuído de acordo com a Fig. 4; nos dias de coleta estavam presentes, em média, 30 alunos, 27 computadores tipo *desktop* e 3 *notebooks*.

Figura 4 – Modelo tridimensional - Ambiente A



Fonte: Autor, 2016.

### Características climáticas de João Pessoa – PB

João Pessoa é uma cidade litorânea, situada entre Latitude de 07° 06' Sul, a 47 metros do nível do mar. Possui clima tropical úmido, com índices relativamente altos de umidade do ar. Apresenta a média de temperatura anual em torno de 23°C. A ventilação Sudeste é predominante em todos os meses do ano.

Dois ambientes, localizados em João Pessoa, foram escolhidos para estudo, que neste trabalho vão ser chamados de ambiente 'B' e ambiente 'C'. A edificação onde o ambiente B situa-se, foi implantada de forma que a maior fachada do edifício se encontra na posição Norte-Sul, já na edificação onde situa-se o ambiente C, a maior fachada está voltada para a posição Leste-Oeste, conforme Fig. 5.

Figura 5 – Vista de satélite, ambientes B e C em João Pessoa



Fonte: Google Earth, editado pelo autor, 2016.

### Caracterização dos Ambientes escolhidos para análise – João Pessoa

Os materiais predominantes nos projetos são o concreto e a alvenaria. Em ambos os ambientes a cobertura se projeta ao redor da edificação, protegendo as janelas da incidência direta de raios solares; há um espaço fechado entre a coberta de telhas de fibrocimento e a laje da sala; na parte externa possuem vegetação, o que ajuda a proteger as fachadas da radiação solar.

Figura 6 – Beiral coberto ambiente B



Fonte: Autor, 2016.

Figura 7 – Fachada Leste ambiente C.



Fonte: Autor, 2016.

As tabelas 2 e 3 apresentam uma especificação detalhada dos materiais construtivos e revestimentos utilizados na construção dos prédios B e C respectivamente, dados necessários para avaliação do desempenho térmico da edificação.

Tabela 2 - Materiais construtivos e revestimentos do prédio B – João Pessoa.

Componente do edifício	Material
Cobertura	Telha de fibrocimento
Estrutura da coberta	Madeira
Forro	Laje de concreto, pintada na cor branca
Estrutura da sala	Concreto aparente, pintado de bege
Vedação da salas	Tijolo cerâmico vazado
Esquadrias	Madeira e vidro incolor comum, pintado de preto
Revestimento externo da vedação	Argamassa, pintada de branco
Revestimento interno da vedação	Argamassa, pintada de branco
Revestimento do piso	Cerâmica

Fonte: Autor, 2016.

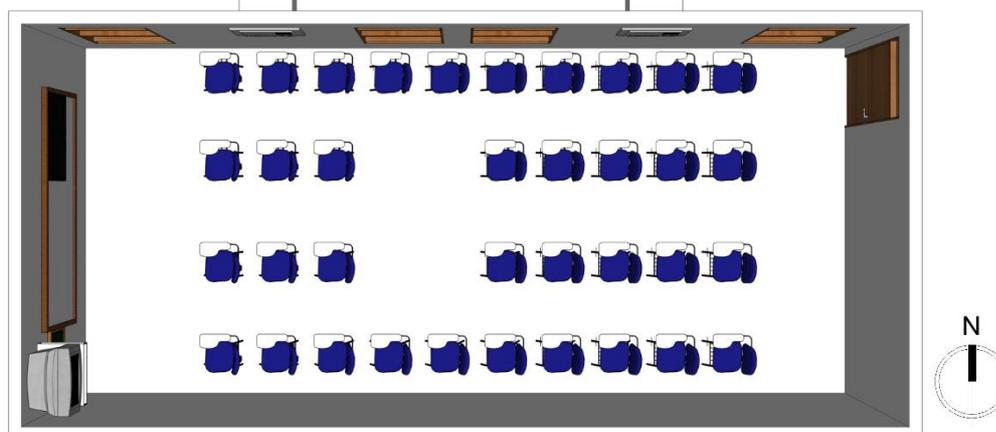
Tabela 3 - Materiais construtivos e revestimentos do prédio C– João Pessoa.

Componente do edifício	Material
Cobertura	Telha de fibrocimento
Estrutura da coberta	Madeira
Forro	Laje de concreto, pintada na cor branca
Estrutura da sala	Concreto aparente, pintado de bege
Vedação da salas	Tijolo cerâmico vazado
Porta	Vidro incolor comum
Revestimento externo da vedação	Argamassa, pintada de branco
Revestimento interno da vedação	Argamassa, pintada de branco
Revestimento do piso	Cerâmica

Fonte: Autor, 2016.

O ambiente B possui uma área de 48,41m<sup>2</sup> e pé direito de 2,80m, dimensões da sala: 4,70m por 10,30m. Dispõe de dois aparelhos de ar condicionado, 3 luminárias com uma lâmpada fluorescente cada, duas televisões uma de LED, e uma com tubo de imagem. O layout estava distribuído de acordo com a Fig. 8; nos dias de coleta estavam presentes, em média, 27 alunos, cada um com computadores do tipo *notebook*.

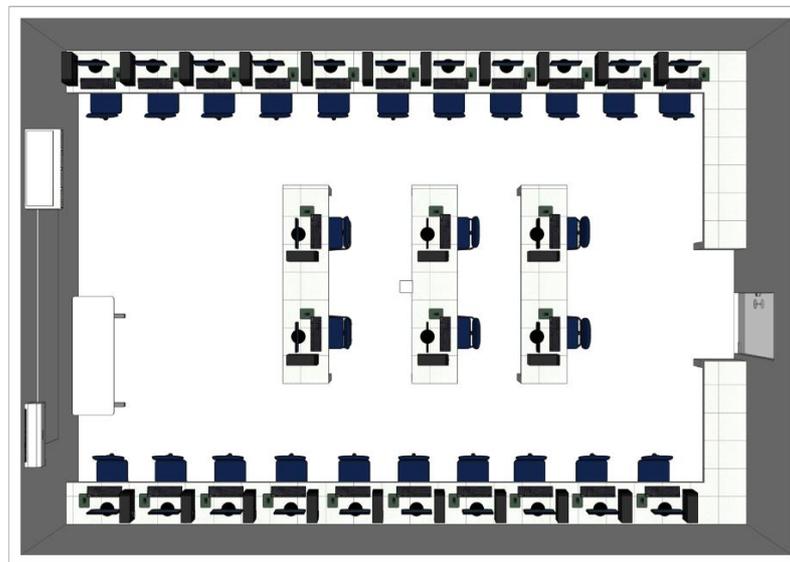
Figura 8 – Modelo tridimensional laboratório B



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

O ambiente C possui uma área de 65,96m<sup>2</sup> e pé direito de 2,90m, dimensões da sala: 6,80m por 9,70m. Dispõe de dois aparelhos de ar condicionado *Split* e 7 luminárias com uma lâmpada com diodo transmissor de luz, LED, cada. O layout estava distribuído de acordo com a Fig. 9; nos dias de coleta estavam presentes, em média, 27 alunos, cada um com computadores do tipo *desktop*.

Figura 9 – Modelo tridimensional laboratório C



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

### Coleta de dados

*In loco* foram realizados levantamentos fotográficos, dos espaços e seu entorno, bem como o levantamento físico e medição dos parâmetros de conforto. Inicialmente é aferido as dimensões desses ambientes: largura, comprimento e pé-direito; das aberturas: comprimento, altura e peitoril; e dos elementos de proteção solar, quando existentes, utilizando-se a trena metálica, gerando um croqui inicial do ambiente. Outras informações também são levantadas, a saber: localização, as características do entorno e a orientação geográfica dos espaços analisados (auxílio de bússola). Todas as informações auxiliam na construção do modelo tridimensional com o *software Sketchup*, ferramenta de desenho 3D. Para a medição dos parâmetros de conforto térmico foram utilizados dois equipamentos: estação microclimática BABUC/A e o Termômetro de Globo Digital (TGD-300); os dois equipamentos possuem um *software* para o *download* dos dados no computador. Através da estação microclimática mediu-se a temperatura de globo; com o TGD-300, a temperatura de bulbo úmido, temperatura de bulbo seco e a temperatura de globo. Para a correta obtenção dos dados é necessário configurar os dois aparelhos, colocando os dados de data e horário; é importante ajustar o início das medições para no mínimo meia hora antes do início do experimento, para que seja respeitado o tempo de estabilização dos aparelhos. A estação microclimática deve estar a uma altura de 60 cm do chão, conforme norma ISO 7726 (1998), e deve estar localizada, juntamente com o TGD-300, no centro da sala. É imperativo configurar a estação para o registro dos dados, com leitura a cada minuto e acionar o registro do TGD após o referido tempo de estabilização.

As coletas são realizadas em três dias consecutivos, em horário similar, com duração de no mínimo uma hora. Os ambientes permanecem com os equipamentos de refrigeração do ar ligados, onde no primeiro dia procura-se ajustar os mesmos para uma temperatura no em torno de 20°C, no segundo dia 25°C e no terceiro dia 30°C. É importante salientar que durante o experimento os computadores tipo *desktops* e/ou *notebooks* permanecem ligados e há também a presença de estudantes nos ambientes de ensino.

Na avaliação do desempenho térmico foi utilizado o método de Mahoney (RORIZ, 1996), e a para a avaliação dos materiais construtivos encontrados nos três ambientes em estudo, foi utilizado a Norma

ABNT NBR 15220 (2003), onde a mesma apresenta recomendações de desempenho térmico das edificações, bem como uma tabela com dados de transmitância térmica (U), capacidade térmica ( $C_T$ ) e atraso térmico ( $\varphi$ ) de paredes e coberturas; apresenta métodos de cálculo dessas variáveis, e também, dados de condutividade térmica ( $\alpha$ ) e calor específico de alguns materiais.

O método de Carl Mahoney vem sendo aplicado em diversos países como um importante instrumento auxiliar no projeto de edificações, foi desenvolvido por solicitação da ONU na década de 70. A sua principal contribuição é a proposta de diretrizes básicas para uma construção adequada em termos de conforto. Zonas de conforto são estabelecidas para cada clima específico, organizado em grupos, onde cada grupo possui diversas recomendações quanto à aspectos do projeto. Para a aplicação do método basta reunir um pequeno conjunto de dados climáticos da localidade considerada e anotá-los em planilhas, a comparação dessas planilhas com a zona de conforto estabelecida torna possível identificar grupos de problemas climáticos dominantes, gerando indicadores ou diretrizes que influenciam nas decisões de projeto (RORIZ, 1996). Essas diretrizes auxiliaram na análise dos ambientes de estudo, fornecendo subsídios para avaliação de aspectos de implantação, adequabilidade dos materiais construtivos utilizados na construção e aberturas.

As Normais Climatológicas publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMet), referentes ao período de 1961 a 1990 são, pela definição da organização Meteorológica Mundial (OMM), valores médios calculados para um período que compreende no mínimo três décadas consecutivas. As mesmas foram utilizadas para o preenchimento das tabelas, na primeira etapa; o modelo dessas tabelas se encontra em anexo. Na segunda são dadas recomendações para o projeto.

### Primeira etapa: Preenchimento das tabelas - Manaus

Para o preenchimento da tab. 4 é necessário anotar as médias mensais das temperaturas máximas (Média das Máximas) e das temperaturas mínimas (Média das Mínimas), retiradas dos dados das Normais Climatológicas; a variação das médias é obtida pela diferença desses valores. Deve anotar, também, a temperatura média anual, calculada como a média aritmética entre a mais alta das médias das máximas e a mais baixa das médias das mínimas (RORIZ, 1996).

Tabela 4 – Normais Climatológicas: Manaus.

Localidade: Manaus – AM													
Latitude: 3,1 Longitude: 60,0 Altitude: 72													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Média das Máximas (° C)	30,5	30,5	30,5	30,5	31	31	31,5	32,5	33	33	32	31,5	31,5
Média das Mínimas (° C)	23	23	23	23,5	23,5	23	23	23	23,5	24	24	23,5	23,5
Variação das médias	7,5	7,5	7,5	7	8,5	8	8,5	9,5	9,5	9	8	8	8
Umidade relativa média (%)	86	87	88	87	87	83	80	77	77	79	81	85	83
Pluviosidade (mm)	260	288	314	300	256	114	88	58	83	126	183	217	2286
<b>Temp. mais alta das médias das máximas</b>						33							
<b>Temp. mais baixa das médias das mínimas</b>						23							
<b>Temp. Média Anual</b>						28							
<b>Amplitude Média Anual</b>						10							

Fonte: Roziz, 1996, preenchida pelo Autor, 2016.

A tabela 5 apresenta um diagnóstico da cidade de Manaus. O grupo de umidade (GU) representa a média mensal de umidade, sua classificação de 1 a 4 se dá de acordo com os valores da umidade relativa (UR), desta forma, no grupo 1,  $UR < 30\%$ ; no grupo 2,  $30\% \leq UR < 50\%$ ; no grupo 3,  $50\% \leq UR < 70\%$ ; e no grupo 4  $UR \geq 70\%$ . Para cada mês do ano é registrado os limites de conforto superiores e inferiores estes limites são fornecidos em função da temperatura Média Anual da localidade e em função do grupo de umidade. Para preenchimento do item rigor térmico é necessário comparar as temperaturas Médias das Máximas mensais com os limites diurnos de conforto e as Médias das Mínimas, com os limites noturnos, de acordo com a seguinte classificação - quando a temperatura é superior ao intervalo de conforto: Q (quente); quando a temperatura está dentro do intervalo: C (confortável); quando inferior ao intervalo: F (frio) (RORIZ, 1996).

Tabela 5 – Diagnóstico: Manaus.

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Grupo de umidade		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Média das Máximas		30,5	30,5	30,5	30,5	31	31	31,5	32,5	33	33	32	31,5
Bem-estar diurno	Máximo	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	Mínimo	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Média das mínimas		23	23	23	23,5	23,5	23	23	23	23,5	24	24	23,5
Bem-estar noturno	Máximo	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	Mínimo	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Rigor térmico	Dia	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
	Noite	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q

Fonte: Roziz, 1996, preenchida pelo Autor, 2016.

Os indicadores de umidade (U1, U2, U3) e de aridez (A1, A2, A3) podem ser identificados a partir do rigor térmico diurno e do grupo de umidade (GU). O indicador U1 indica que o movimento do ar é indispensável, se aplica quando o rigor térmico diurno=Q e a GU=4 ou quando o rigor térmico diurno=Q se combina com GU=2 ou 3 e amplitude média mensal de temperatura inferior a 10°C. U2 revela que a ventilação é recomendável, se aplica para um rigor térmico=C combinado com GU=4. U3 indica a necessidade de se adotar precauções contra a penetração de chuvas, quando a pluviosidade ultrapassa 200mm por mês. O indicador de aridez A1 indica a necessidade de inércia termica dos materiais, é aplicável quando a amplitude média mensal é superior a 10°C e  $GU < 4$ . A2 significa a conveniência de se dispor de espaço para dormir ao ar livre, se aplica quando o rigor térmico noturno=Q e  $GU = 1$  ou 2. O indicador A3 informa que existem problemas de inverno ou de estação fria, ocorre quando o rigor térmico diurno=F. Na tabela 6 anota-se os meses em que aplicam os indicadores e soma-se o total de meses correspondentes (RORIZ, 1996).

Tabela 6 – Indicadores: Manaus

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Umidade	U1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
	U2													0
	U3	X	X	X	X	X							X	6
Aridez	A1													0
	A2													0
	A3													0

Fonte: Roziz, 1996, preenchida pelo Autor, 2016.

## Segunda etapa: Recomendações construtivas

Após o somatório dos indicadores de um ano inteiro é possível formular as recomendações; é marcado na tab. 7 os valores dentro do intervalo indicado, esses valores de referência se encontram no anexo.

Tabela 7 – Recomendações para o projeto (RORIZ, 1996): Manaus

Total dos Indicadores - AM							
U1	U2	U3	A1	A2	A3		
12	0	6	0	0	0		
							Recomendações para o projeto arquitetônico
							<b>A - IMPLANTAÇÃO</b>
			X		X	2	Edifícios alongados, com fachadas maiores voltadas para Norte e Sul, para reduzir a exposição ao sol
						0	Edifícios compactos, com pátio interno
							<b>B – ESPAÇAMENTOS ENTRE AS EDIFICAÇÕES</b>
X						1	Aumentar distâncias entre edificações para melhor ventilação
						0	Como 3, mas com possibilidade de controlar a ventilação
						0	Aproximar as edificações para aumentar a inércia
							<b>C - VENTILAÇÃO</b>
X			X			2	Para obter uma ventilação cruzada permanente, as habitações devem ser dispostas em fila simples ao longo do edifício
						0	Fila dupla de habitações ao longo do edifício, com dispositivos que permitam controlar a ventilação
	X					1	Ventilação mínima, apenas para a renovação do ar
							<b>D – TAMANHO DAS ABERTURAS</b>
			X		X	2	40 a 80 % das fachadas Norte e Sul (ao nível corpos das pessoas)
						0	25 a 40 % das fachadas Norte e Sul e/ou Leste e Oeste quando o período frio for predominante
						0	15 a 25 % das fachadas, com controle de radiação solar
					X	1	10 a 20 % das fachadas, com controle de radiação solar
						0	25 a 40 % das fachadas, permitindo sol no período frio
							<b>E – POSIÇÃO DAS ABERTURAS</b>
X			X			2	Nas fachadas Norte e Sul, permitindo ventilação ao nível dos corpos dos ocupantes
						0	Como 14, mas com aberturas nas paredes internas
							<b>F – PROTEÇÃO DAS ABERTURAS</b>
					X	1	Evitar radiação solar direta nos interiores da edificação
		X				1	Proteger da chuva, permitindo ventilação
							<b>G – PAREDES E PISOS</b>
			X			1	Leves, refletoras, $U \leq 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , $\phi \leq 3$ horas, fator sol $\leq 4 \%$
						0	Pesadas, $U \leq 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , $\phi \geq 8$ horas, fator sol $\leq 4 \%$
							<b>H - COBERTURAS</b>
X						1	Leves, refletoras, $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , $\phi \leq 3$ horas, fator sol $\leq 4 \%$
			X			1	Leves isolantes, $U \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , $\phi \leq 3$ horas, fator sol $\leq 3 \%$

					0	Pesadas, $U \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ , $\varphi \leq 8$ horas, fator sol $\leq 3 \%$
<b>I – EXTERIOR DA EDIFICAÇÃO</b>						
					0	Prever espaço ao ar livre para dormir
	X				1	Proteger contra as chuvas

Fonte: Roziz, 1996, preenchida pelo Autor, 2016.

### Primeira etapa: Preenchimento das tabelas – João Pessoa

Tabela 8 – Normais Climatológicas: João Pessoa.

Localidade: João Pessoa – PB
Latitude: 7,1 Longitude: 34,9 Altitude: 7

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Média das Máximas (° C)	32	30,5	30	30	29,5	28,5	27	28	28,5	29,5	30	30	29,5
Média das Mínimas (° C)	23	22,5	21,5	23	22,5	22	20,5	22	19	23,5	23,5	23	22
Variação das médias	9	8	8,5	7	7	6,5	6,5	6	9,5	6	6,5	7	7,5
Umidade relativa média (%)	77	75	81	79	81	81	87	75	67	73	74	74	77
Pluviosidade (mm)	81	138	238	313	308	382	290	202	41	58	45	37	2133
<b>Temp. mais alta das médias das máximas</b>							30,5						
<b>Temp. mais baixa das médias das mínimas</b>							19						
<b>Temp. Média Anual</b>							25						
<b>Amplitude Média Anual</b>							11,5						

Fonte: Roziz, 1996, preenchida pelo Autor, 2016.

Tabela 9 – Diagnóstico: João Pessoa.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Grupo de umidade	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
Média das máximas	32	30,5	30	30	29,5	28,5	27	28	28,5	29,5	30	30
Bem estar diurno	Máximo	27	27	27	27	27	27	27	27	29	27	27
	Mínimo	22	22	22	22	22	22	22	22	23	22	22
Média das mínimas	23	22,5	21,5	23	22,5	22	20,5	22	19	23,5	23,5	23
Bem estar noturno	Máximo	21	21	21	21	21	21	21	23	21	21	21
	Mínimo	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Rigor térmico	Dia	Q	Q	Q	Q	Q	Q	C	Q	Q	Q	Q
	Noite	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	C	Q	Q

Fonte: Roziz, 1996, preenchida pelo Autor, 2016.

Tabela 10 – Indicadores :João Pessoa.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Umidade	U1	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	11
	U2							X						1
	U3			X	X	X	X	X	X					6
Aridez	A1									X				1
	A2													0
	A3													0

Fonte: Roziz, 1996, preenchida pelo Autor, 2016.

### Segunda etapa: Recomendações construtivas

Tabela 11 – Recomendações para o projeto (RORIZ, 1996): João Pessoa.

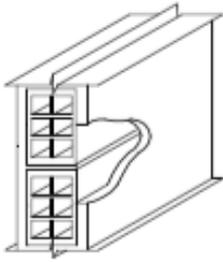
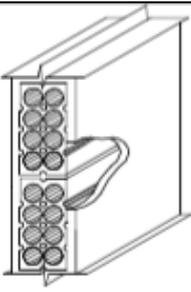
Total dos Indicadores - JP							Recomendações para o projeto arquitetônico
U1	U2	U3	A1	A2	A3		
11	1	6	1	0	0		
			X		X	2	Edifícios alongados, com fachadas maiores voltadas para Norte e Sul, para reduzir a exposição ao sol
						0	Edifícios compactos, com pátio interno
							<b>B – ESPAÇAMENTOS ENTRE AS EDIFICAÇÕES</b>
X						1	Aumentar distâncias entre edificações para melhor ventilação
						0	Como 3, mas com possibilidade de controlar a ventilação
						0	Aproximar as edificações para aumentar a inércia
							<b>C - VENTILAÇÃO</b>
X			X			2	Para obter uma ventilação cruzada permanente, as habitações devem ser dispostas em fila simples ao longo do edifício
						0	Fila dupla de habitações ao longo do edifício, com dispositivos que permitam controlar a ventilação
	X					1	Ventilação mínima, apenas para a renovação do ar
							<b>D – TAMANHO DAS ABERTURAS</b>
			X		X	2	40 a 80 % das fachadas Norte e Sul (ao nível corpos das pessoas)
						0	25 a 40 % das fachadas Norte e Sul e/ou Leste e Oeste quando o período frio for predominante
						0	15 a 25 % das fachadas, com controle de radiação solar
						0	10 a 20 % das fachadas, com controle de radiação solar
						0	25 a 40 % das fachadas, permitindo sol no período frio
							<b>E – POSIÇÃO DAS ABERTURAS</b>
X			X			2	Nas fachadas Norte e Sul, permitindo ventilação ao nível dos corpos dos ocupantes
						0	Como 14, mas com aberturas nas paredes internas
							<b>F – PROTEÇÃO DAS ABERTURAS</b>
					X	1	Evitar radiação solar direta nos interiores da edificação
		X				1	Proteger da chuva, permitindo ventilação
							<b>G – PAREDES E PISOS</b>

			X			1	Leves, refletoras, $U \leq 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , $\varphi \leq 3$ horas, fator sol $\leq 4 \%$
						0	Pesadas, $U \leq 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , $\varphi \geq 8$ horas, fator sol $\leq 4 \%$
<b>H - COBERTURAS</b>							
X						1	Leves, refletoras, $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , $\varphi \leq 3$ horas, fator sol $\leq 4 \%$
			X			1	Leves isolantes, $U \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , $\varphi \leq 3$ horas, fator sol $\leq 3 \%$
						0	Pesadas, $U \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ , $\varphi \leq 8$ horas, fator sol $\leq 3 \%$
<b>I – EXTERIOR DA EDIFICAÇÃO</b>							
						0	Prever espaço ao ar livre para dormir
		X				1	Proteger contra as chuvas

Fonte: Roziz, 1996, preenchida pelo Autor, 2016.

Na obtenção dos dados relativos as vedações laterais e à cobertura foi utilizado a NBR15220, 2003, onde os dados utilizados estão descritos na tab. 12.

Tabela 12 – Transmitância térmica (U), capacidade térmica ( $C_T$ ) e atraso térmico ( $\varphi$ ) para paredes e cobertas.

Parede	Descrição	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	$C_T$ [kJ/m <sup>2</sup> .K]	$\varphi$ [horas]
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5cm Espessura total da parede: 14,0cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5cm Espessura total da parede: 15,0cm	2,24	167	3,7
Cobertura	Descrição	U [W/m <sup>2</sup> .°C]	$C_T$ [kJ/m <sup>2</sup> .K]	$\varphi$ [horas]
	Cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje mista Espessura da telha: 0,7cm Espessura da laje: 12,0cm $R_t(\text{laje}) = 0,0900 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ $C_T(\text{laje}) = 95 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	1,93	106	3,6

Fonte: NBR15220, 2003.

## RESULTADOS

Para a análise do desempenho térmico dentro dos ambientes foi utilizado as planilhas de Mahoney, o resultado das recomendações está detalhado abaixo (RORIZ, 1996):

**Implantação:** edificações alongadas, com as fachadas maiores voltadas para Norte e Sul para reduzir as cargas térmicas devidas à radiação solar. Pode haver um ligeiro desvio nessa orientação para facilitar a captação das brisas dominantes nos meses mais úmidos ou para permitir um aquecimento por ação solar durante o período mais frio.

**Espaçamentos entre as edificações:** deverão ser acentuadas as distâncias entre edificações, para permitir a passagem livre das brisas. De modo geral, para serem realmente eficientes, essas distâncias devem ser, no mínimo, cinco vezes maiores que as alturas dos edifícios. Nesse mesmo sentido, edifícios sobre pilotis também podem contribuir.

**Ventilação:** Os projetos devem otimizar a ventilação cruzada. Para tanto, é preferível que as habitações, ou seus aposentos, sejam dispostos em "filas simples" ao longo dos edifícios.

**Tamanho das aberturas:** as aberturas devem ser grandes, ocupando entre 40 e 80% das fachadas Norte e Sul e permitindo que a ventilação atravesse os ambientes ao nível dos corpos dos ocupantes.

**Posição das aberturas:** nas fachadas Norte e Sul, permitindo que a ventilação atravesse os ambientes ao nível dos corpos dos ocupantes. Em dormitórios, onde as pessoas estarão deitadas próximas ao solo, as aberturas devem chegar praticamente ao piso. Para otimizar a velocidade do ar no interior dos ambientes, as aberturas de saída devem ser ligeiramente maiores e mais altas que as de entrada.

**Proteção das aberturas:** os ambientes deverão ser protegidos contra a radiação solar direta; proteger cuidadosamente as aberturas contra as chuvas.

**Paredes e pisos:** paredes leves (pouca inércia térmica) e com superfícies externas de cores claras para refletirem a radiação solar: Transmitância Térmica (U) não superior a  $2,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$ , Retardamento máximo de 3 horas e Fator de Calor Solar igual ou inferior a 4%.

**Coberturas:** as coberturas devem ser leves, mas deverão apresentar maior resistência térmica. Este maior isolamento será especialmente importante para evitar que a face inferior da cobertura (forro) se aqueça excessivamente. Adotar Transmitância Térmica não superior a  $0,85 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$ , Retardamento máximo de 3 horas e Fator de Calor Solar igual ou inferior a 3%.

**Exterior da edificação:** Proteger contra as chuvas. Em climas de forte pluviosidade, a água que escorre das coberturas pode provocar erosão ao redor das edificações bem como comprometer os revestimentos exteriores.

### Desempenho térmico das edificações

Quanto à implantação, os edifícios A e B, estão na orientação indicada, reduzindo assim a exposição à radiação solar, pois sua maior fachada está voltada para Norte-Sul; a forma alongada das edificações também ajuda neste aspecto. Já o edifício C está na situação inversa, desta forma mais exposto à radiação solar.

Todos os edifícios em estudo estão afastados em relação aos outros do seu entorno, permitindo a passagem de brisas. Apenas o edifício A tem a preocupação com a ventilação cruzada, possui janelas nas fachadas Norte e Sul; o ambiente B possui janelas apenas na fachada Norte, não havendo a possibilidade de circulação de ar; por fim o ambiente C não possui janelas.

O exterior do ambiente A possui bastante vegetação o que intercepta uma parte da radiação solar, já nos ambientes B e C sua presença é muito escassa.

Quanto às aberturas no ambiente A (Fig. 10 e 11), as mesmas estão bem dimensionadas e localizadas, ocupando uma área de 17,85m<sup>2</sup>, ou 61,78%, na fachada Norte e uma área de 14,5m<sup>2</sup>, ou 42,37%, na fachada Sul, com proteção para a radiação solar direta pelo grande beiral da coberta, corroborando com as recomendações de Mahoney.

Figura 10 – Janelas fachada Norte, ambiente A.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 11 – Janelas fachada Sul, ambiente A.



Fonte: Autor, 2016.

No ambiente B as aberturas (Fig. 12) estão localizadas corretamente na fachada Norte e ocupam uma área de 7,61m<sup>2</sup>, ou 25,01%, nessa fachada; quanto a sua proteção, o beiral da coberta protege as mesmas.

Figura 12 – Janelas fachada Norte, ambiente B.



Fonte: Autor, 2016.

O ambiente C não possui janelas, o que não recomenda Mahoney, pois o espaço deveria ter aberturas grandes ocupando de 40 a 80% da fachada.

### **Desempenho térmico dos materiais**

Para a análise do desempenho térmico dos materiais foi utilizado como parâmetro a ABNT NBR 15220 (2003). No tocante aos materiais de vedação laterais no ambiente A, onde as paredes possuem

revestimento externo de cerâmica a transmitância térmica dessas paredes é de  $2,24\text{W/m}^2\cdot\text{°C}$  (NBR15220, 2003), o que está dentro do limite recomendado por Mahoney, onde o valor máximo é de  $2,8\text{W/m}^2\cdot\text{°C}$ . O fator de calor solar ( $F_{so}$ ) pode ser calculado com a Eq. (1):

$$F_{so}=4.U.\alpha \quad (1)$$

Sendo  $U$ , transmitância térmica e  $\alpha$ , absorptância à radiação solar. O revestimento exterior é de pastilhas cerâmica na cor bege, que possui  $\alpha=0,3$ , desta forma o fator de calor solar é de 2,7%, o que está dentro do limite recomendado por Mahoney, que é de até 4%. O atraso térmico das paredes, porém, é de 3,7 horas (NBR15220, 2003), acima do limite recomendado.

Nos ambientes B e C os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de 6 furos rebocado com transmitância térmica de  $2,48\text{W/m}^2\cdot\text{°C}$  (NBR15220, 2003), o que está dentro do limite, como a cor utilizada é a branca ( $\alpha=0,2$ ), seu fator de calor solar, calculado pela Eq. (1), é de 1,5%, também dentro do limite recomendado; o atraso térmico da parede é de 3,3 horas (NBR15220, 2003), o que ultrapassa um pouco o recomendado por Mahoney, que seria de no máximo 3 horas.

Quanto a cobertura, todos os ambientes, A, B e C, utilizam o fibrocimento com laje de concreto. Ao analisar as propriedades térmicas desse material pode-se observar que é um material leve e possui uma elevada condutividade térmica -  $\lambda=0,95\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  - e baixa capacidade térmica -  $c=0,84\text{KJ}/(\text{Kg}\cdot\text{K})$  (ABNT NBR 15220, 2003), ou seja, ele transmite grande quantidade de calor. Isso se agrava com o enegrecimento que o material sofre com o passar do tempo, processo esse que ocorre mais rápido devido a umidade elevada, condição encontrada em ambas as cidades. Um meio de melhorar a resposta térmica desse material é sua pintura com cores claras, o que auxilia na redução da absorção da radiação incidente, visto que a absorptância para radiação solar de branco é de 20%, enquanto do preto é de 97% (ABNT NBR15220, 2003).

O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento com forro de laje mista de 12cm de espessura é de  $1,93\text{W/m}^2\cdot\text{°C}$  (NBR15220, 2003), valor bem acima do recomendado por Mahoney, que é de no máximo  $0,85\text{W/m}^2\cdot\text{°C}$ , quando encontrado na cor branca ( $\alpha=0,2$ ) seu fator de calor solar é de 1,5%, mas, enegrecido ( $\alpha=0,7$ ) esse valor sobe para 5,4%; o valor recomendado é de no máximo 3%. Haja vista que o fibrocimento dos três laboratórios se encontra enegrecido o fator de calor solar ultrapassa os limites estabelecidos; da mesma forma o atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas, ultrapassando o limite recomendado de 3 horas. Vale salientar, entretanto, que no ambiente A, a laje possui um isolamento térmico de cortiça, o que reduz sua transmitância térmica e melhora o desempenho térmico da mesma.

### **Dados das medições de campo**

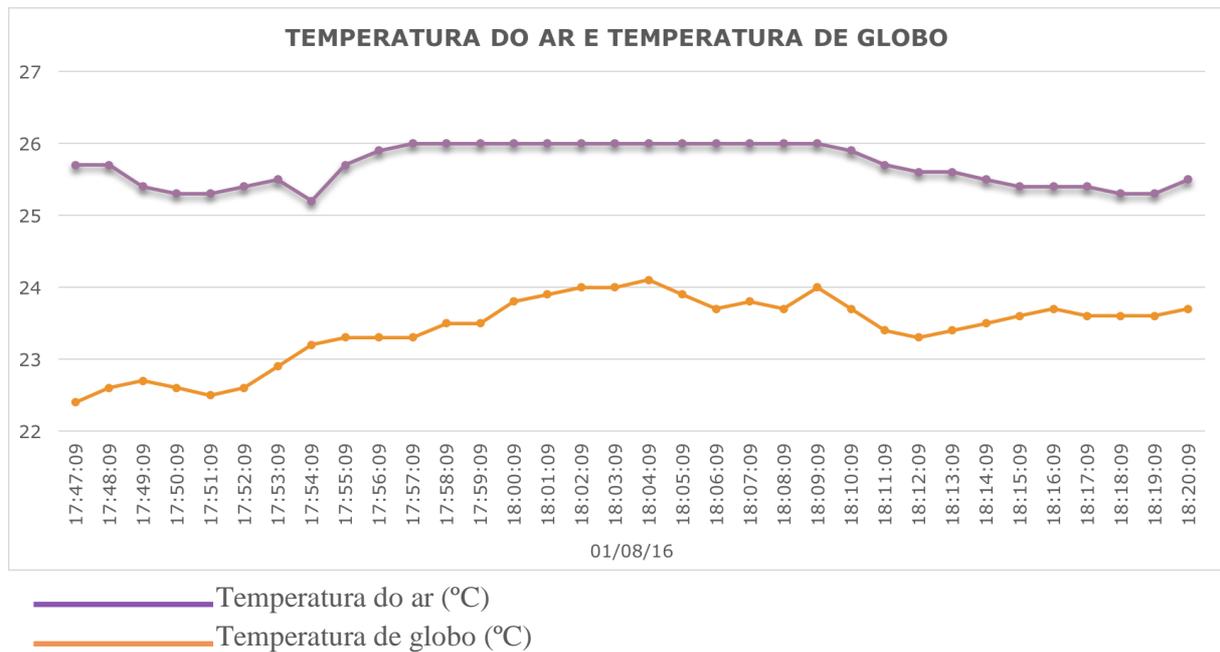
Após a análise das recomendações de projeto e do desempenho térmico dos materiais é apresentado a seguir os gráficos que apresentam os dados obtidos de temperatura do ar ( $t_a$ ) e temperatura de globo ( $t_g$ ), com o propósito de verificar se nos ambientes de ensino a  $t_a$  está próxima ou não da  $t_g$ , ou se  $t_a$  é inferior à  $t_g$ , o que pode caracterizar relação representativa entre  $t_m$  e ( $t_g-t_a$ ), ou seja, investigar se há troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente.

Para cada dia de coleta foi elaborado um gráfico, mostrando o comportamento dessas temperaturas ao longo do experimento bem como as defasagens entre elas.

### **Dados obtidos da temperatura do ar e da temperatura de globo - Ambiente A: Manaus**

A seguir são apresentados três gráficos referentes à  $t_a$  e  $t_g$ , na ordem em que foram feitas as coletas. Nos três dias as mesmas foram realizadas no período da tarde entre 15h30min e 18h00min.

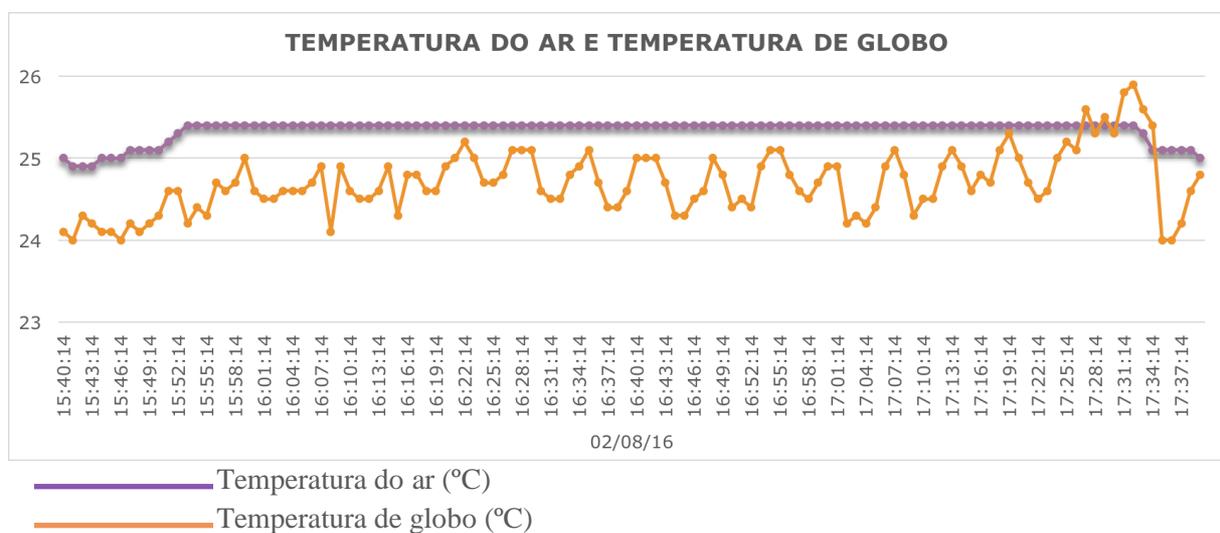
Gráfico 1 – Temperatura do ar e temperatura de globo no primeiro dia de coleta com temperatura do ar no entorno de 22°C - Ambiente A: Manaus.



Fonte: Autor, 2016.

No primeiro dia de coleta haviam no ambiente 30 alunos, sendo 27 utilizando computadores do tipo *desktop* e 3 com *notebooks*; o ambiente também era provido de rede Wi-Fi, sistemas de climatização e iluminação. Pelo gráfico acima pode-se observar que a temperatura de globo (entre 22°C e 24,1°C) foi inferior à temperatura do ar (de 25,2°C a 26°C) em todo o experimento, o pico de temperatura do ar foi de 26°C, já o da temperatura de globo foi de 24,1°C. A amplitude térmica da  $t_a$  foi de 0,8°C, em um intervalo de 40min, indicando que nesse período de tempo a temperatura do ar não oscilou muito, ficando entre 25 e 26°C. Como se observa no gráfico 1, há uma defasagem representativa entre  $t_a$  e  $t_g$ , sinalizando que  $(t_g - t_a) < 0$ , isto é,  $t_g < t_a$ , o que caracteriza uma temperatura radiante média pequena, constatando que não houve troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente.

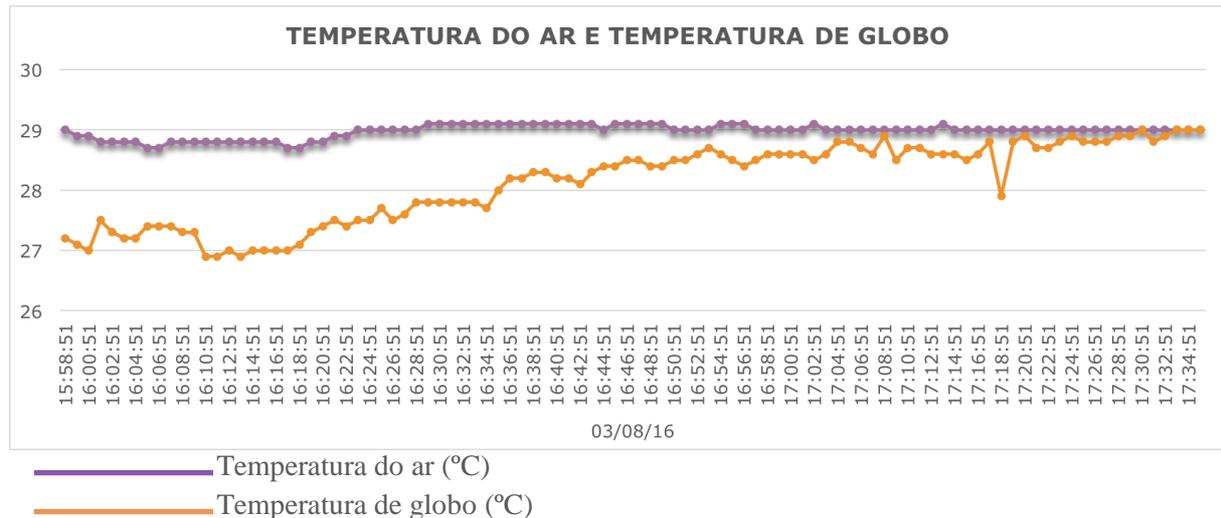
Gráfico 2 – Temperatura do ar e temperatura de globo no segundo dia de coleta com temperatura do ar no entorno de 25°C - Ambiente A: Manaus.



Fonte: Autor, 2016.

No segundo dia de coleta, as condições ambientais dentro da sala eram as mesmas do dia anterior. A temperatura de globo (entre 24°C e 25,9°C) foi inferior à temperatura do ar (de 24,9°C a 25,4°C) em grande parte do experimento. A amplitude térmica de  $t_a$  foi de 0,5°C, em um intervalo de 2hrs, nesse período de tempo a temperatura do ar não oscilou muito, permanecendo constante em praticamente todo o experimento. Como se observa no gráfico 2, há uma defasagem entre  $t_a$  e  $t_g$ , mas não similar à apresentada no gráfico 1, sinalizando que  $(t_g - t_a) < 0$ , isto é,  $t_g < t_a$ , caracterizando assim uma temperatura radiante média um pouco pequena, constatando que não houve troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente, mas essa troca foi inferior à constatada no gráfico 1.

Gráfico 3 – Temperatura do ar e temperatura de globo no terceiro dia de coleta com temperatura do ar no entorno de 30° - Ambiente A: Manaus.



Fonte: Autor, 2016.

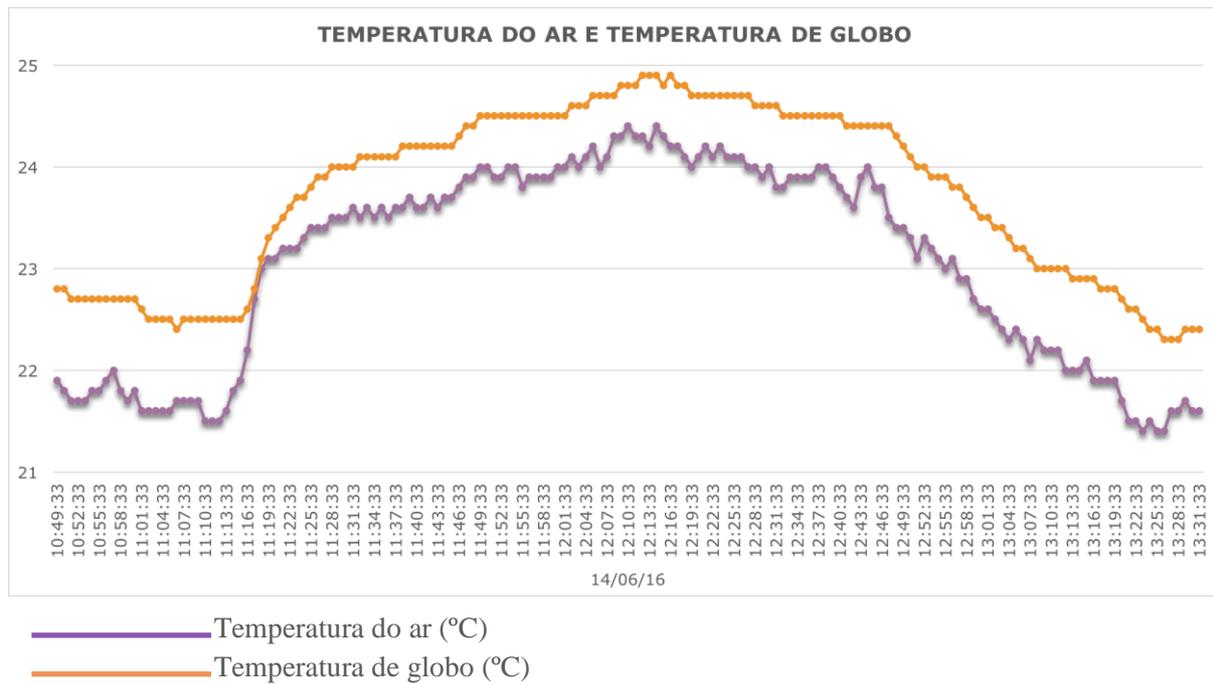
No terceiro, e último dia de coleta em Manaus, as condições ambientais dentro da sala eram similares as encontradas nos dias anteriores, porém o número de alunos caiu para 26, permanecendo a mesma quantidade de computadores ligados. A temperatura do ar sofre pouca variação, permanecendo constante ao longo do experimento, em torno de 29°C sua amplitude térmica foi de 0,4°C e o pico de temperatura do ar foi de 29,1°C, ao longo do experimento (1h30min). A temperatura de globo vai crescendo ao longo do experimento e alcança seu pico em 29°C.

Vale ressaltar que a temperatura de globo, no início do experimento estava próximo de 27°C (15h58min) e, ao longo do experimento, ela foi crescendo até se aproximar da temperatura do ar, 29°C (17h04min). Logo, entre 15h58min e 17h02min,  $(T_g - T_a) < 0$ , isto é,  $T_g < T_a$ ; mas entre 17h04min e 17h34min,  $T_g$  se aproxima de  $T_a$ . Assim, ao longo do primeiro período a troca de calor por radiação entre o aluno e o ambiente vai aumentando; e ao longo do segundo período essa troca vai diminuindo, caracterizando que a temperatura radiante média se aproxima da temperatura de globo.

### Dados obtidos da temperatura do ar e da temperatura de globo - Ambiente B: João Pessoa

A seguir são apresentados três gráficos referentes à  $t_a$  e  $t_g$ , na ordem em que foram feitas as coletas. Nos três dias as mesmas foram realizadas no período da manhã, entre 10h30min e 13h00min.

Gráfico 4 – Temperatura do ar e temperatura de globo no primeiro dia de coleta com temperatura do ar no entorno de 24°C - Ambiente B: João Pessoa.

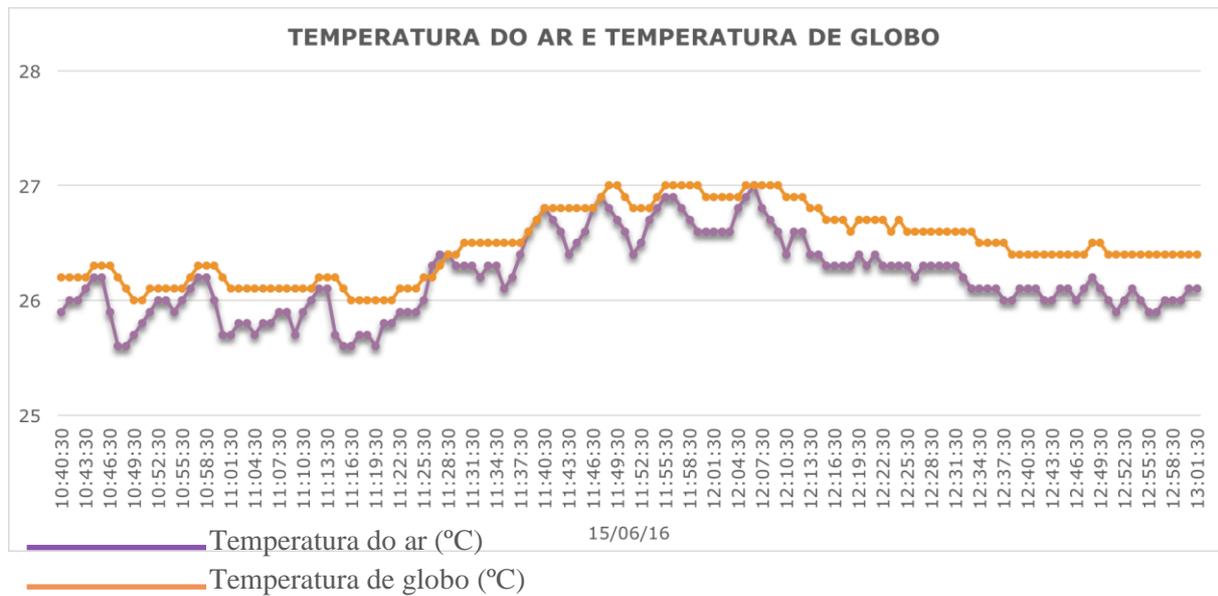


Fonte: Autor, 2016.

No primeiro dia de coleta haviam no ambiente 27 alunos, cada um com seus respectivos *notebooks*, o ambiente também era provido de rede Wi-Fi, sistemas de climatização e iluminação.

Pelo gráfico acima podemos perceber que a  $t_g$  foi superior à  $t_a$  em grande parte do experimento, ficando seus valores bem próximos no período entre 11h16min e 11h19min. Ocorre um grande aumento da temperatura de globo a partir das 11h20min, momento em que os alunos permaneceram no ambiente; o pico de temperatura do ar registrado foi de 24,4°C, já o pico da temperatura de globo foi de 24,9°C. A amplitude térmica registrada foi de 3°C, em um intervalo de 2h40min. Mas observa-se que entre 11h29min e 13h31min a  $t_g$  foi superior a  $t_a$ , e defasagem dos comportamentos entre essas temperaturas foram constantes, sinalizando que a temperatura radiante média foi positiva nesse intervalo tempo.

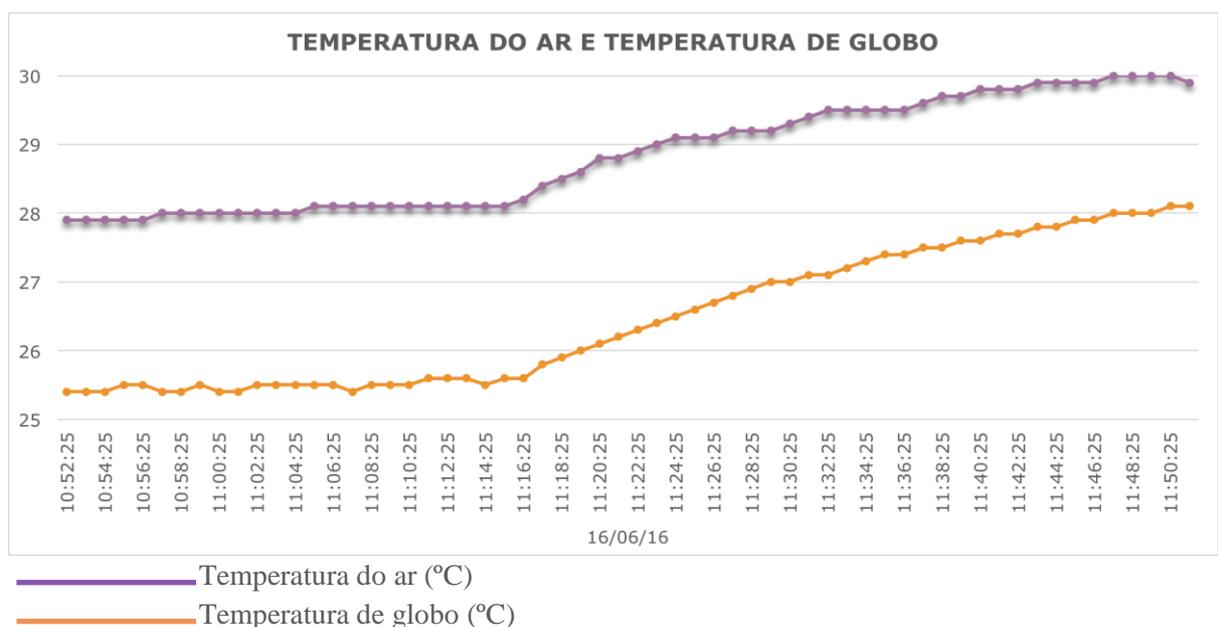
Gráfico 5 – Temperatura do ar e temperatura de globo no segundo dia de coleta com temperatura do ar no entorno de 27°C - Ambiente B: João Pessoa.



Fonte: Autor, 2016.

No segundo dia de coleta, as condições ambientais dentro da sala eram as mesmas do dia anterior. Pelo gráfico acima podemos observar que na maior parte do experimento a temperatura de globo foi maior que a temperatura do ar, esta última ultrapassando apenas no período entre 11h25min e 11h28min. O pico de temperatura do ar e da temperatura de globo foi de 27°C, a amplitude térmica foi de apenas 1,4°C, em um intervalo de 2h20min. As defasagens dos comportamentos dessas temperaturas são pequenas, mas a  $t_g$  foi sempre superior à  $t_a$  ao longo do experimento, donde a troca de calor por radiação foi inferior à apresentada no gráfico 4, o que não deixa também de caracterizar uma temperatura radiante média positiva.

Gráfico 6 – Temperatura do ar e temperatura de globo no terceiro dia de coleta com temperatura do ar no entorno de 30°C - Ambiente B: João Pessoa.



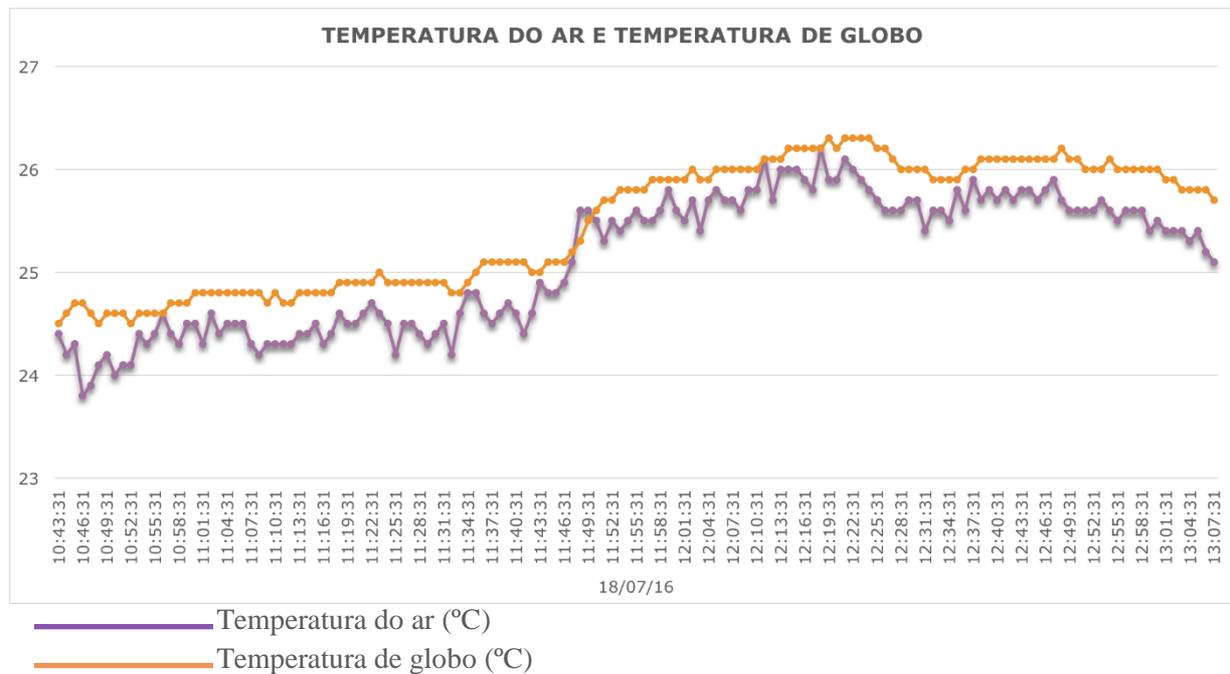
Fonte: Autor, 2016.

No terceiro, e último dia de coleta, haviam 21 alunos no laboratório, com seus respectivos *notebooks*. Pelo gráfico podemos perceber uma grande mudança entre a temperatura do ar e a de globo, onde a última se encontra bem abaixo em relação à temperatura do ar, chegando a apresentar uma diferença de 2,7°C entre as duas; no período entre 11h06min e 11h08min, essa diferença diminui um pouco a partir das 11h16min, ficando em 1,8°C às 11h50min. A amplitude térmica foi de 2,1°C, em um intervalo de aproximadamente 1h. A defasagem entre o comportamento entre as temperaturas foram representativas e constante ao longo do experimento, evidenciando  $(t_g - t_a) \ll 0$ , donde a temperatura radiante média foi ínfima.

### Dados obtidos da temperatura do ar e da temperatura de globo - Ambiente C: João Pessoa

A seguir são apresentados três gráficos referentes a  $t_a$  e  $t_g$ , na ordem em que foram feitas as coletas. Nos três dias as mesmas foram realizadas no período da manhã, entre 10h30min e 13h00min. Havia no ambiente 27 computadores do tipo *desktop* nos dias da coleta, o que varia é apenas o número de alunos presentes em cada dia; o ambiente também era provido de rede Wi-Fi, sistemas de climatização e iluminação.

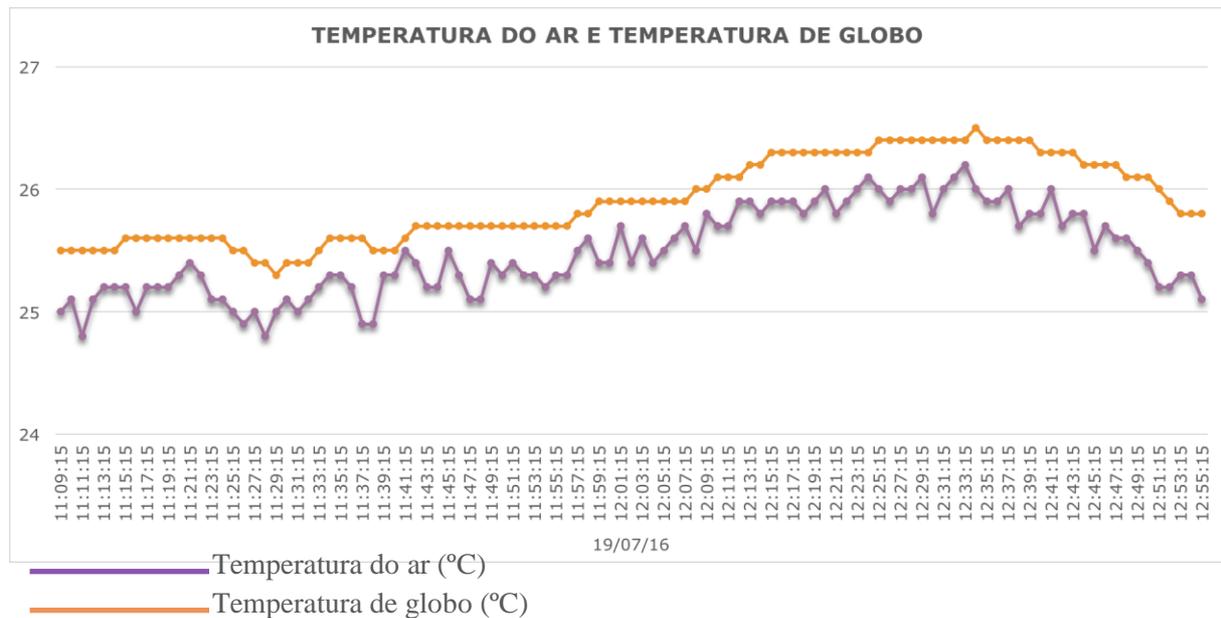
Gráfico 7 – Temperatura do ar e temperatura de globo no primeiro dia de coleta com temperatura do ar no entorno de 26°C - Ambiente C: João Pessoa.



Fonte: Autor, 2016.

No primeiro dia de coleta havia 23 alunos no ambiente; a temperatura de globo foi superior à temperatura do ar em praticamente todo o experimento, tendo um pico de 26,3°C, ficando abaixo apenas por um curto período de tempo, das 11h46min às 11h50min. Também é possível observar que a partir desse horário a temperatura do ar aumenta (anteriormente estava no em torno dos 24°C), próximo a 26°C, tendo um pico de 26,2°C. A amplitude térmica registrada foi de 2,4°C, em um intervalo de 2h20min. Observa-se também que a defasagem do comportamento entre  $t_g$  e  $t_a$  é constante com  $t_g > t_a$  em quase todo experimento, com exceção das 11h34min, 11h50min, 12h11min 12h19min, indicando uma temperatura radiante média positiva.

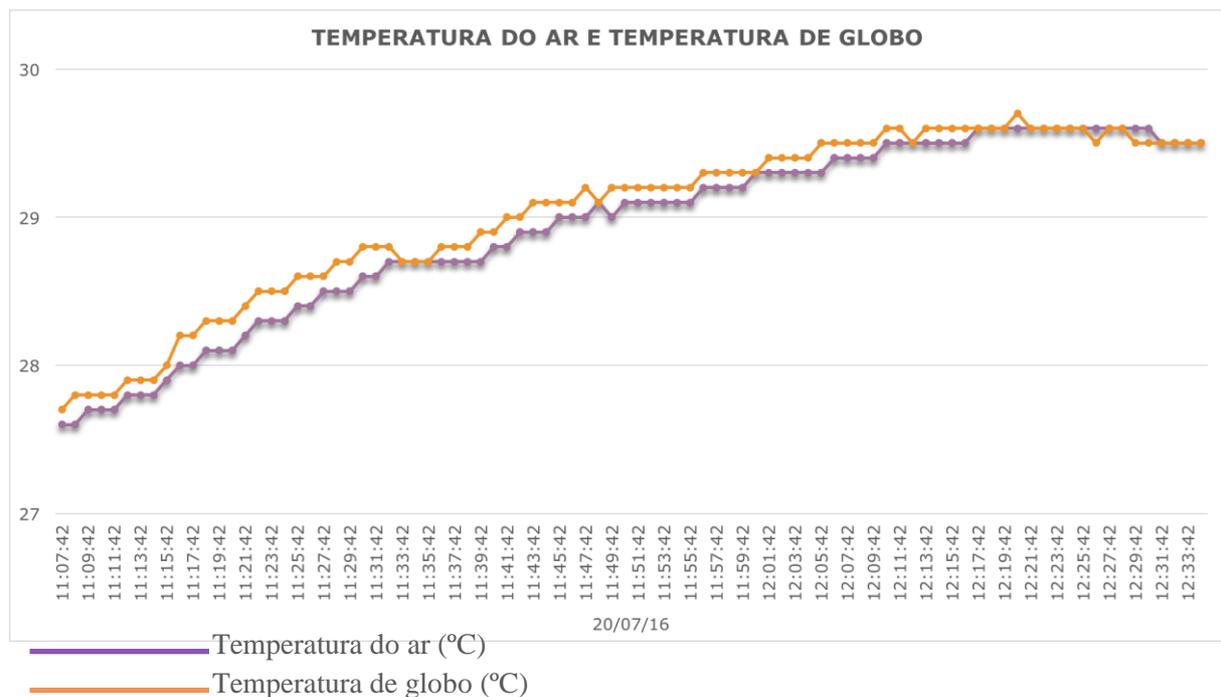
Gráfico 8 – Temperatura do ar e temperatura de globo no segundo dia de coleta com temperatura do ar no entorno de 26°C- Ambiente C: João Pessoa.



Fonte: Autor, 2016.

No segundo dia de coleta havia 20 alunos no ambiente. Pelo gráfico 8 podemos perceber que novamente a temperatura de globo é maior que a temperatura do ar em todo o experimento, tendo comportamento e a defasagem entre  $t_g$  e  $t_a$  próximos às apresentadas no gráfico 7, com  $t_g$  atingindo um pico de 26,5°C. A temperatura do ar se mantém praticamente constante no início do experimento, em torno dos 25°C, a partir do meio dia, porém, sofre um aumento, ficando em torno dos 26°C e atingindo um pico de 26,2°C. A amplitude térmica registrada foi de 1,4°C, em um intervalo de 2h.

Gráfico 9 – Temperatura do ar e temperatura de globo no terceiro dia de coleta com temperatura do ar no entorno de 29,6°C - Ambiente C: João Pessoa.



Fonte: Autor, 2016.

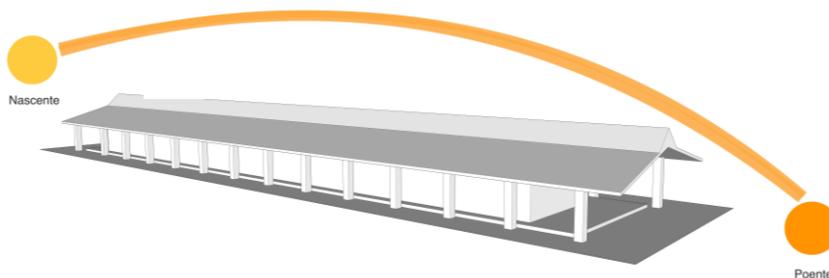
No terceiro, e último, dia de coleta no ambiente C, havia 20 alunos no mesmo. Novamente a temperatura de globo foi superior à temperatura do ar, porém com valores muito próximos, chegando a igualar no final do experimento, às 12h21min. O comportamento e defasagem são similares aos gráficos anteriores (7 e 8). É possível perceber pelo gráfico que a temperatura do ar sobe gradativamente desde o início do experimento, se estabilizando apenas no final do mesmo, tendo um pico de 29,6°C. A temperatura de globo segue o mesmo comportamento, atingindo um pico de 29,7°C. A amplitude térmica registrada foi de 2°C, em um intervalo de 1h30min.

## DISCUSSÃO

De acordo com os resultados de temperatura de globo e temperatura do ar obtidos foi possível fazer uma análise do desempenho térmico das edificações por ambiente bem como realizar uma comparação entre as temperaturas.

Verificou-se no ambiente A que em todo o experimento a temperatura de globo se manteve abaixo da temperatura do ar. Essa característica, aliada aos dados obtidos de desempenho dos materiais, somada ao bom projeto arquitetônico do edifício, onde vale destacar que sua orientação no sentido Norte-Sul, reduz sua exposição à radiação solar, como pode ser observado na Fig. 13; torna possível afirmar que o edifício foi bem projetado e os materiais possuem um bom desempenho térmico, havendo manutenção da pintura da telha de fibrocimento e da cortiça utilizada internamente à laje como isolante térmico.

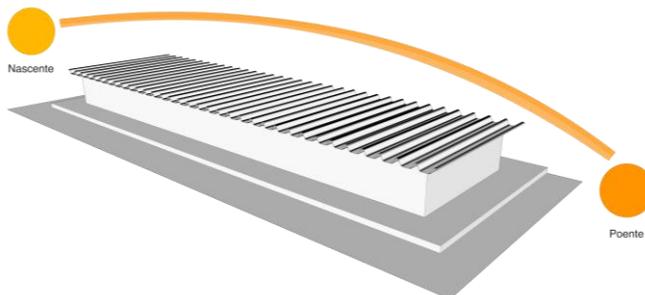
Figura 13 – Esquema do caminho do sol no edifício A.



Fonte: Autor, 2016.

No ambiente B, foi constatado que nos dois primeiros dias de coleta a temperatura de globo foi maior que a temperatura do ar, indicando que as condições térmicas interna e externa podem ser responsáveis por esse aumento. Sua orientação Norte-Sul, assim como no ambiente A, minimiza a sua exposição à radiação solar, como observa-se na Fig. 14. Os dados do desempenho térmico dos materiais sinalizou que a cobertura pode estar facilitando a entrada de calor no ambiente. No último dia de coleta esse comportamento muda, a temperatura do ar foi maior que a temperatura de globo durante todo o experimento, fato que pode ser explicado devido às condições ambientais externas, pois neste dia o céu estava encoberto de nuvens, minimizando assim a quantidade de radiação solar recebida pela cobertura, o que, por sua vez, minimiza a entrada de radiação solar para o ambiente.

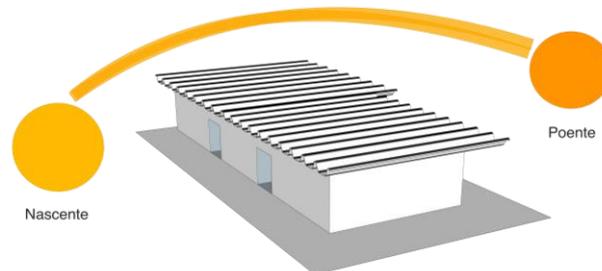
Figura 14 – Esquema do caminho do sol no ambiente B.



Fonte: Autor, 2016.

Observou-se que no ambiente C a temperatura de globo foi superior à temperatura do ar nos três dias de coleta, assim como no ambiente B, há fatores internos (*news ICT*) e externos causando esse aumento. Sob o ponto do projeto, sua orientação é voltada para Leste-Oeste, Fig.15, expondo o edifício a uma maior incidência de radiação solar. Esse aspecto aliado a alta transmitância térmica da cobertura, gera um aumento de radiação térmica no ambiente.

Figura 15 - Esquema do caminho do sol no ambiente C.



Fonte: Autor, 2016.

Quando se compara os resultados obtidos no ambiente A com os do ambiente C, podemos perceber que no último (C) a temperatura do ar é menor que a temperatura de globo, o que não ocorre no ambiente A. Tendo em vista que ambos espaços possuem uma quantidade igual de computadores do tipo *desktop*, as tecnologias existentes (*news ICT*) e o número de alunos são similares nos dias de coleta, o fenômeno percebido pode ser explicado devido aos erros de projeto encontrados no ambiente C.

Comparando os resultados de temperatura do ar no ambiente C com os do ambiente B, levando consideração que, além de estarem localizados na mesma cidade, desta forma estão sob as mesmas condições climáticas; possuem a mesma técnica construtiva e os mesmos materiais; em ambos os ambientes, na maior parte das coletas, a temperatura de globo foi superior à temperatura do ar. Porém no ambiente B as temperaturas do ar foram mais elevadas que no ambiente C, mesmo este (C) possuindo dois agravantes, que seria a má orientação do edifício e a alta transmitância térmica da cobertura. Esse fato pode ser explicado devido ao uso dos *notebooks*, juntamente com a existência de sistemas de iluminação e também à presença de janelas, já que os fechamentos transparentes são os maiores responsáveis pela entrada de radiação térmica no ambiente (LAMBERTS et al, 1997).

Com relação a outras características encontradas no ambiente, que podem contribuir para o aquecimento do ambiente interno, a presença de lâmpadas fluorescentes é um fator que deve ser observado com atenção, pois lâmpadas fluorescentes convertem 25% de sua potência elétrica em luz, 25% se dissipa sob forma de calor radiante e 50% se dissipa por convecção e condução (FROTA e SCHIFFER, 1995 apud NEVES, 2006), sendo assim uma importante fonte geradora de calor para o ambiente.

Outro fator gerador de calor é a utilização de inovações tecnológicas de comunicação e informação, esses equipamentos podem estar colaborando para o aumento da radiação térmica dentro do ambiente, pois *laptops* possui níveis de radiação não ionizantes superiores aos PCs (*personal computer*). Todos esses fatores associados ao número de alunos representativo no ambiente podem colaborar para o aumento da temperatura de globo.

## CONCLUSÃO

Nesta pesquisa investigou-se os elementos do envelope construtivo e o projeto arquitetônico, analisando a sua influência na temperatura interna dos ambientes com reflexo na geração do potencializador térmico em relação à temperatura de globo quando esta foi superior à temperatura do ar. Assim, foi realizado *in loco* um levantamento dos laboratórios em estudo, bem como foi mensurado os parâmetros de conforto em duas cidades brasileiras, Manaus (AM) e João Pessoa (PB).

Os materiais utilizados na construção dos edifícios nas vedações laterais apresentam um desempenho térmico adequado ao clima, apesar do atraso térmico ser um pouco superior ao sugerido, mas as coberturas nos ambientes B e C estão fora dos limites recomendados. Para reduzir sua transmitância e melhorar o desempenho térmico da mesma, deveria ter sido utilizado, juntamente com a laje, algum material

isolante térmico ou refletor da radiação solar, como lã de vidro ou alumínio polido, como fora feito no ambiente A, onde o material isolante utilizado foi a cortiça, promovendo assim baixa carga térmica no ambiente.

Ratifica-se assim que o bom desempenho térmico do ambiente A corrobora com suas condições térmicas, pois a temperatura do ar foi superior à temperatura de globo ao longo dos três dias de coleta, evidenciando desta forma uma ínfima radiação térmica presente no ambiente. O mesmo não ocorreu nos ambientes B e C, quando a temperatura de globo foi superior a temperatura do ar, chancelando os achados sobre o desempenho térmico insatisfatório desses ambientes.

Assim, constata-se que os elementos do envelope das edificações associados às fontes de calor do ambiente providas pelos sistemas de climatização e iluminação bem como a inserção de novas tecnologias (*news ICT*) nos ambientes de ensino podem promover um aumento da carga térmica, evidenciando a elevação da temperatura de globo em relação à temperatura do ar.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (2004). **ANSI/ASHRAE 55-2004** – Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220** – Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, set. 2003.

ATMACA I, KAYNAKLI O, YGIT A. Effects of radiant temperature on thermal comfort. **Build Environment**, 42:3210e20, 2007.

COUTINHO, Antônio Souto. **Conforto e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. 2. ed. - João Pessoa: Ed. Universitária, 2005. 295 p.

D'AMBROSIO ALFANO, F. R., DELL'ISOLA, M., PALELLA, B. I., RICCIO, G., & RUSSI, A. On the measurement of the mean radiant temperature and its influence on the indoor thermal environment assessment. **Building and Environment**, v. 63, p. 79–88. 2013.

ISO Standard 7726 (1998). **Ergonomics of the thermal environment - Instruments and methods for measuring physical quantities**. Geneva International Standards Institution, 1998.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA O. R. Fernando. **Eficiência energética na arquitetura**. 1. ed. - São Paulo: PW Editores, 1997

NEVES, Letícia de Oliveira. **Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural**. 2006. 222 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

OLIVEIRA, Etianne Alves Souza de. **Análise da Relação entre os Parâmetros Arquitetônicos, o Conforto Térmico e a Produtividade em Escritórios com Ventilação Natural**. 2015. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

RITTER, Viviane Mülech. **Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente escolar, no período de inverno: O caso do Campus Pelotas Visconde da Graça**. 2014. 179 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2014.

RORIZ, Maurício. **Conforto Térmico em Edificações: Um Modelo Matemático e uma Aplicação**. 1996. 185 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

## ANEXO

Neste anexo encontra-se o modelo das Planilhas de Mahoney, retiradas da tese de doutorado de Roziz (1996), que serviram de base para a elaboração das tabelas da presente pesquisa.

PLANILHAS DE MAHONEY (ADAPTADAS)			P1/2
LOCALIDADE	LAT.	LONG.	ALT.

1. NORMAIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MAX	TMA
TEMP. MED. MAX.														
TEMP. MED. MIN.														
AMPLITUDE MEDIA														
UMID. RELATIVA														
PLUVIOSID. (mm)														
VEL. VENTO (m/s)														
DIREÇÃO VENTO														
													MIN	AMA
													ANO	

2. DIAGNÓSTICO	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
GRUPO UMIDADE												
LIMITE SUP. DIA												
TEMP. MED. MAX.												
LIMITE INF. DIA												
LIMITE SUP. NOITE												
TEMP. MED. MIN.												
LIMITE INF. NOITE												
DIAGN. DIURNO												
DIAGN. NOTURNO												

3. INDICADORES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAIS	
UMIDADE	U1													U1
	U2													U2
	U3													U3
ARIDEZ	A1													A1
	A2													A2
	A3													A3

GRUPOS DE UMIDADE RELATIVA	LIMITES CONFORTÁVEIS DE TEMPERATURA						INDICADORES DO RIGOR CLIMÁTICO					
	TMA > 20		15 ≥ TMA ≥ 20		TMA < 15		Q = QUENTE, F = FRIO, C = CONFORTÁVEL					
	DIA	NOITE	DIA	NOITE	DIA	NOITE	INDIC.	DIA	NOITE	CHUVA	UMID.	AMPL.
GRUPO 1 UR < 30%	26	17	23	14	21	12	U1	Q			4	
	34	25	32	23	30	21		Q			2 ou 3	< 10
GRUPO 2 30% ≤ UR < 50%	25	17	22	14	20	12	U2	C			4	
	31	24	30	22	27	20	U3			> 200		
GRUPO 3 50% ≤ UR < 70%	23	17	21	14	19	12	A1				< 4	≥ 10
	29	23	28	21	26	19	A2		Q		< 3	
GRUPO 4 UR ≥ 70%	22	17	20	14	18	12	A3	Q	C		< 3	> 10
	27	21	25	20	24	18		F				

Fonte: Roziz, 1996.

PLANILHAS DE MAHONEY (ADAPTADAS)				P2/2
LOCALIDADE	LAT.	LONG.	ALT.	

TOTAIS DOS INDICADORES					
U1	U2	U3	A1	A2	A3

#### 5. RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO ARQUITETÔNICO

##### A - IMPLANTAÇÃO

			0-10				
					5-12	1	EDIFÍCIOS ALONGADOS, COM FACHADAS MAIORES VOLTADAS PARA NORTE E SUL, PARA REDUZIR A EXPOSIÇÃO AO SOL.
			11-12		0-4	2	EDIFÍCIOS COMPACTOS, COM PÁTIO INTERNO

##### B - ESPAÇAMENTOS ENTRE AS EDIFICAÇÕES

11-12						3	AUMENTAR DISTÂNCIAS ENTRE EDIFICAÇÕES PARA MELHOR VENTILAÇÃO
2 - 10						4	COMO 3, MAS COM POSSIBILIDADE DE CONTROLAR VENTILAÇÃO
0-1						5	APROXIMAR AS EDIFICAÇÕES PARA AUMENTAR A INÉRCIA

##### C - VENTILAÇÃO

3-12						6	PARA OBTER UMA VENTILAÇÃO CRUZADA PERMANENTE, AS HABITAÇÕES DEVEM SER DISPOSTAS EM FILA SIMPLES AO LONGO DO EDIFÍCIO.
1 - 2			0-5			7	FILA DUPLA DE HABITAÇÕES AO LONGO DO EDIFÍCIO, COM DISPOSITIVOS QUE PERMITAM CONTROLAR A VENTILAÇÃO.
	2-12		6-12			8	VENTILAÇÃO MÍNIMA, APENAS PARA RENOVAÇÃO DO AR.
0	0-1						

##### D - TAMANHO DAS ABERTURAS

			0			9	40 A 80 % DAS FACHADAS NORTE E SUL (AO NÍVEL CORPOS DAS PESSOAS)
			0-1		1-12	10	25 A 40 % DAS FACHADAS NORTE E SUL E/OU LESTE E OESTE QUANDO O PERÍODO FRIO FOR PREDOMINANTE.
			2 - 5			11	15 A 25 % DAS FACHADAS.
			6 - 10			12	10 A 20 % DAS FACHADAS, COM CONTROLE DE RADIAÇÃO SOLAR.
			11-12		0-3	13	25 A 40 % DAS FACHADAS, PERMITINDO SOL NO PERÍODO FRIO.
					4-12		

##### E - POSIÇÃO DAS ABERTURAS

3-12						14	NAS FACHADAS NORTE E SUL, PERMITINDO VENTILAÇÃO AO NÍVEL DOS CORPOS DOS OCUPANTES.
1 - 2			0-5			15	COMO 14, MAS COM ABERTURAS NAS PAREDES INTERNAS.
			6-12				
0							

##### F - PROTEÇÃO DAS ABERTURAS

					0-2	16	EVITAR RADIAÇÃO SOLAR DIRETA NOS INTERIORES DA EDIFICAÇÃO.
		2-12				17	PROTEGER DA CHUVA, PERMITINDO VENTILAÇÃO.

##### G - PAREDES E PISOS

			0-2			18	LEVES, REFLETORAS. $U \leq 2,8 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ , RETARD. $\leq 3$ HORAS, FATOR SOL $\leq 4 \%$
			3-12			19	PESADAS. $U \leq 2,0 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ , RETARD. $\geq 8$ HORAS, FATOR SOL $\leq 4 \%$

##### H - COBERTURAS

10-12						20	LEVES, REFLETORAS. $U \leq 1,1 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ , RETARD. $\leq 3$ HORAS, FATOR SOL $\leq 4 \%$
			0-5			21	LEVES, ISOLANTES. $U \leq 0,85 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ , RETARD. $\leq 3$ HORAS, FATOR SOL $\leq 3 \%$
0-9			6-12			22	PESADAS. $U \leq 0,85 \text{ W/(m}^2 \text{ °C)}$ , RETARD. $\geq 8$ HORAS, FATOR SOL $\leq 3 \%$

##### I - EXTERIOR DA EDIFICAÇÃO

				1-12		23	PREVER ESPAÇO AO AR LIVRE PARA DORMIR
		1-12				24	PROTEGER CONTRA AS CHUVAS

Fonte: Roziz, 1996.