

Relatório Técnico

Uso Consciente da Iluminação Artificial aliada à Iluminação Natural no Edifício do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG-USP

Cristiane Mitiko Sato Furuyama, Tércio Ambrizzi

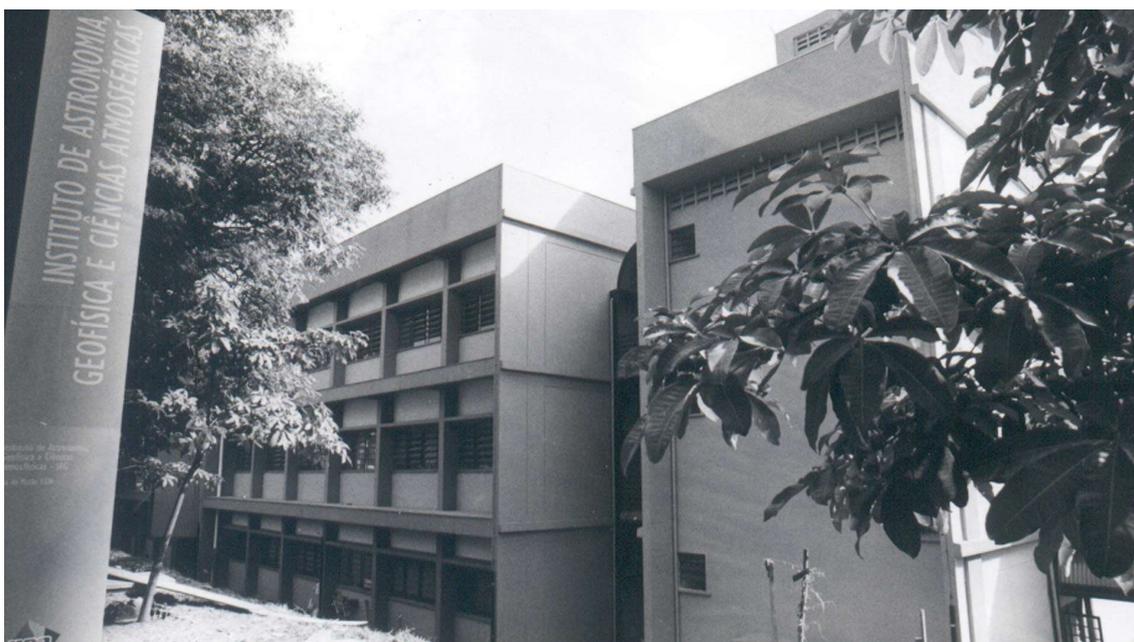


Figura 1: Fachada Edifício Principal IAG. Foto: Acervo USP Imagens

Sumário

1. Apresentação	3
2. Iluminação natural: medições <i>in loco</i>	6
2.1. Método e Procedimento das medições	6
2.2. Resultados das medições	7
3. Iluminação natural: Simulação computacional	11
3.1. Métodos e Procedimentos	11
3.2. Resultados	12
4. Iluminação artificial: levantamento e mapeamento.....	33
4.1. Pavimento térreo	35
4.2. 1º Pavimento	36
4.3. 2º Pavimento	38
5. Iluminação natural e artificial: Compatibilização e plano de gestão.....	41
6. Considerações finais: Economia de Energia.....	49
7. Referências bibliográficas	52

1. Apresentação

Os edifícios do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas foram construídos em momentos distintos no campus da Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira (CUASO). O Instituto Astronômico e Geofísico foi institucionalizado em 1972 como uma unidade da Universidade de São Paulo, e somente em 2001 passou para a nomenclatura de Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG, 2021).

Porém somente em 1991, foi construído um edifício para o Instituto, de autoria do arquiteto Gabriel Sister. O primeiro edifício do instituto é conhecido como o Edifício Principal. O projeto arquitetônico do edifício foi concebido para receber luz natural lateralmente através de grandes janelas nas fachadas, e complementando, traz um átrio central também provido de janelas.

Somente em 2001 foram construídos os demais edifícios, que foram sendo concluídos ao longo desse período em diante, pois se observa que os acabamentos entre esses edifícios são diferentes. Os projetos desses edifícios complementares são de autoria do Fundo de Construção da Universidade de São Paulo (FUNDUSP), que tiveram um conceito arquitetônico completamente diferente.

Os Blocos A, B, C, D, E, F e G são interligados por corredores cobertos por telhas metálicas curvas de cor azul, que deixa esses ambientes mais escuros, sendo necessário o uso da iluminação artificial o tempo todo. Onde há escadas, há uma grande janela vertical de largura de 0,40m que permite a entrada da luz natural, no entanto, devido aos acabamentos de cores escuras, os ambientes também necessitam do uso da luz elétrica, uma vez que são espaços onde a segurança é primordial.

Já o edifício da Administração tem um projeto arquitetônico completamente diferente dos Blocos A, B, C, D, E, F e G, apesar de ter sido projetado na mesma época. A interligação desse edifício com o Edifício Principal é realizada por uma passarela coberta com telha curva azul translúcida, que permite assim um maior aproveitamento da luz natural. O hall das escadas e dos elevadores possui grandes aberturas laterais, que permitem que o uso do sistema de iluminação artificial seja realizado apenas no começo e no final do dia, quando não há mais luz natural.

O Edifício da Administração é de formato retangular, com as janelas localizadas em toda sua lateral mais extensa. Em um dos andares funciona a biblioteca do Instituto. Nos outros dois andares, temos as salas privadas próximas às janelas, e a circulação central desprovida de aberturas. No pavimento administrativo, a maioria das portas das salas privadas é de vidro, permitindo assim a entrada da luz

natural nas circulações, e embora não seja suficiente, permite uma economia parcial de energia nesse ambiente.

Os blocos A, B, C, D, E, F e G têm o mesmo formato do edifício da Administração, são retangulares e interligados pelas passarelas de cobertura metálica, porém as únicas aberturas ficam dentro das salas privativas que são em sua maioria laboratórios de pesquisa e salas para alunos de pós-graduação, portanto as circulações desses edifícios são desprovidas de iluminação natural. Em duas torres de serviço (escadas e elevadores) no final do Bloco D e final do Bloco G (Edifício do Observatório) há aberturas laterais que permitem a entrada da luz natural em grandes períodos.

Acompanhando o dia a dia do edifício, observa-se que os usuários desta unidade têm consciência do uso da luz elétrica mesmo em ambientes coletivos, pois em grande parte do dia, quando há presença da luz do dia nas áreas comuns, a mesma permanece apagada. No entanto, ao analisar os sistemas de acendimento dos conjuntos de iluminação elétrica, na maioria dos ambientes não permitem o aproveitamento da entrada da luz natural pelas janelas.

Neste relatório, por meio de estudos empíricos e analíticos foram obtidos nas condições de céu claro e céu encoberto, os níveis de iluminância nas circulações do Edifício Principal, cujos dados foram utilizados para sugerir um calendário de gestão de energia para as áreas comuns providas de aberturas laterais do Instituto.

No campo da pesquisa empírica, foram realizadas medições *in loco* nas circulações próximo às rampas em todos os andares durante uma semana, englobando os dias letivos e um final de semana, nas condições de céu claro e céu encoberto no mês de maio de 2022.

Em dias de céu claro, o nível de iluminância interno chega a 9000 lux no segundo andar, 1400 lux no térreo e apenas 250 lux no primeiro andar. O nível de iluminância é baixo no primeiro andar devido a refletância de cores escuras das paredes próximas e presença de persianas que bloqueiam parte da entrada de luz natural, mesmo estando abertas. Parte da vegetação presente no átrio também pode estar prejudicando a entrada de luz natural neste pavimento.

Somado as medições, os conjuntos de simulação realizados, mostram que em grande parte do dia, o nível mínimo de 200 lux para as áreas de circulação são atendidas somente com a presença da luz natural.

Sobre o sistema de iluminação artificial, foram realizados o levantamento e o mapeamento de seus componentes, resultando no cálculo de demanda energética necessária para o uso desses sistemas. O levantamento e o mapeamento incluíram a identificação dos circuitos de acionamento para o estudo das possibilidades de

controle e uso. No entanto, percebe-se que a divisão de acionamento não considerou a entrada da luz natural no edifício.

Como os usuários do edifício já utilizam os sistemas de iluminação artificial de maneira consciente, os resultados das simulações realizadas mostram que pequenas modificações na maneira de acionamento desses sistemas permitirão um melhor aproveitamento da luz natural, trazendo mais economia de energia.

Com base nos resultados das simulações, foram estabelecidas as diretrizes para gestão e controle da iluminação artificial nas áreas de uso comum dos edifícios, visando o melhor aproveitamento da luz natural e o uso consciente da iluminação artificial. A recomendação é manter a iluminação artificial apagada em grande parte do dia durante o ano. No período de inverno há menos luminosidade no céu, portanto nessa estação do ano a luz elétrica ficará acesa por um período mais longo. Por exemplo, na circulação próxima as escadas, em um dia típico de céu claro de verão a iluminação artificial pode ficar desligada desde o início do dia até às 18:30hs, enquanto em dia nublado de inverno é necessário que seja desligada às 8:00hs da manhã e acesa às 17:00hs.

Por fim, calculou-se a economia a ser alcançada considerando pequenos ajustes nos sistemas de acionamento (circuitos) da iluminação artificial, que chega a cerca de R\$ 2.300,00 anuais, respeitando o melhor aproveitamento da luz natural, acompanhado do uso mais racional dos sistemas de iluminação nos períodos e locais de uso comum.

Os cálculos desse estudo de desempenho luminoso e energético mostram uma gestão mais eficiente dos sistemas de iluminação artificial, contemplando o aproveitamento da luz natural, que tem o potencial de trazer reduções de demanda de energia elétrica e recursos financeiros para o edifício do IAG-USP, na Cidade Universitária.

A seguir, serão apresentados os estudos de iluminação natural realizado por meio de medições in loco e simulação computacional, seguidos de levantamento e mapeamento dos sistemas de iluminação artificial e seus acendimentos, compatibilizando a luz natural e artificial, com diretrizes para a gestão do sistema de iluminação. Por fim, são apresentados os cálculos de economia de energia associados às diretrizes dessa gestão.

2. Iluminação natural: medições *in loco*

2.1. Método e Procedimento das medições

Para a avaliação *in loco* do acesso da luz natural no Edifício Principal adotou-se procedimentos de natureza indutiva-empírica por meio da medição da iluminância em três pontos internos em três diferentes pavimentos durante uma semana, entre os dias 02 a 09 de maio de 2022. Foram escolhidos pontos próximos às janelas laterais da circulação ao lado das rampas como mostrado na Figura 2. A medição nesses dias permitiu a aferição da luz natural em dias de céu claro e parcialmente nublado, assim como o clima da cidade de São Paulo segundo o zoneamento bioclimático brasileiro classificado como Zona Bioclimático 3 (ABNT, 2005).

As medições foram realizadas através de registradores de dados (*data-loggers*) da marca Hobo (como fotocélula inclusa), modelo U12-012, em intervalos de 15 minutos entre cada coleta, nos três pontos mencionados anteriormente.

Nos três pavimentos os equipamentos foram instalados próximos às janelas laterais e uma parede para não atrapalhar o fluxo de pessoas nas circulações. Os medidores foram posicionados em um tripé a uma distância aproximada de 75cm do nível do piso acabado, como recomendado pela ABNT 15215 (2005).



Figura 2: Ponto de medição dos pavimentos térreo, 1° andar e 2° andar respectivamente. Fonte: Autores

As medições incluíram dados de luz natural e artificial, uma vez que se optou por não controlar a iluminação artificial nos ambientes medidos durante os dias inteiros para não atrapalhar a rotina de uso do edifício. No entanto, as medições de final de semana mostram o nível de iluminância somente da luz natural uma vez que com a não ocupação do edifício nesses dias, a maior parte dos sistemas de iluminação artificial permanece desligada.

Para comparar o nível de iluminância interna com o externo, foram utilizados os dados externos de irradiação global no plano horizontal para os dias e horários das medições internas. Os dados de irradiação global foram extraídos da estação meteorológica (do tipo Campbell Scientific) do Instituto de Energia e Ambiente da USP (IEE-USP), que funciona ininterruptamente, registrando dados de variáveis climáticas externas. Estes dados foram cedidos pelo Instituto visando a comparação com os dados medidos internamente.

Com base nos valores de irradiação global, os níveis aproximados de iluminância externa foram calculados com a equação que correlaciona radiação solar e nível de iluminâncias, apresentado por Alucci (2006) no *Manual para dimensionamento das aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura*:

$$E = (94 * R)$$

Onde:

E é o nível de iluminação (lux); e

R é o valor de radiação solar (W/m^2)

2.2. Resultados das medições

Para análise dos dados de medição foram escolhidos três dias pelas seguintes razões:

- Dia 03/maio – terça-feira: Dia letivo com altos níveis de radiação devido a condição de céu claro pela manhã e baixos níveis de radiação durante a tarde devido à condição de céu parcialmente coberto;
- Dia 04/maio – quarta-feira: Dia letivo com baixos níveis de radiação pela manhã a condição de céu encoberto com chuvas e a tarde com a condição de céu parcialmente encoberto;
- Dia 08/maio – domingo: Dia não letivo com medições exclusivamente de luz natural com baixos níveis de radiação devido à condição de céu parcialmente encoberto durante a manhã e céu encoberto a tarde.

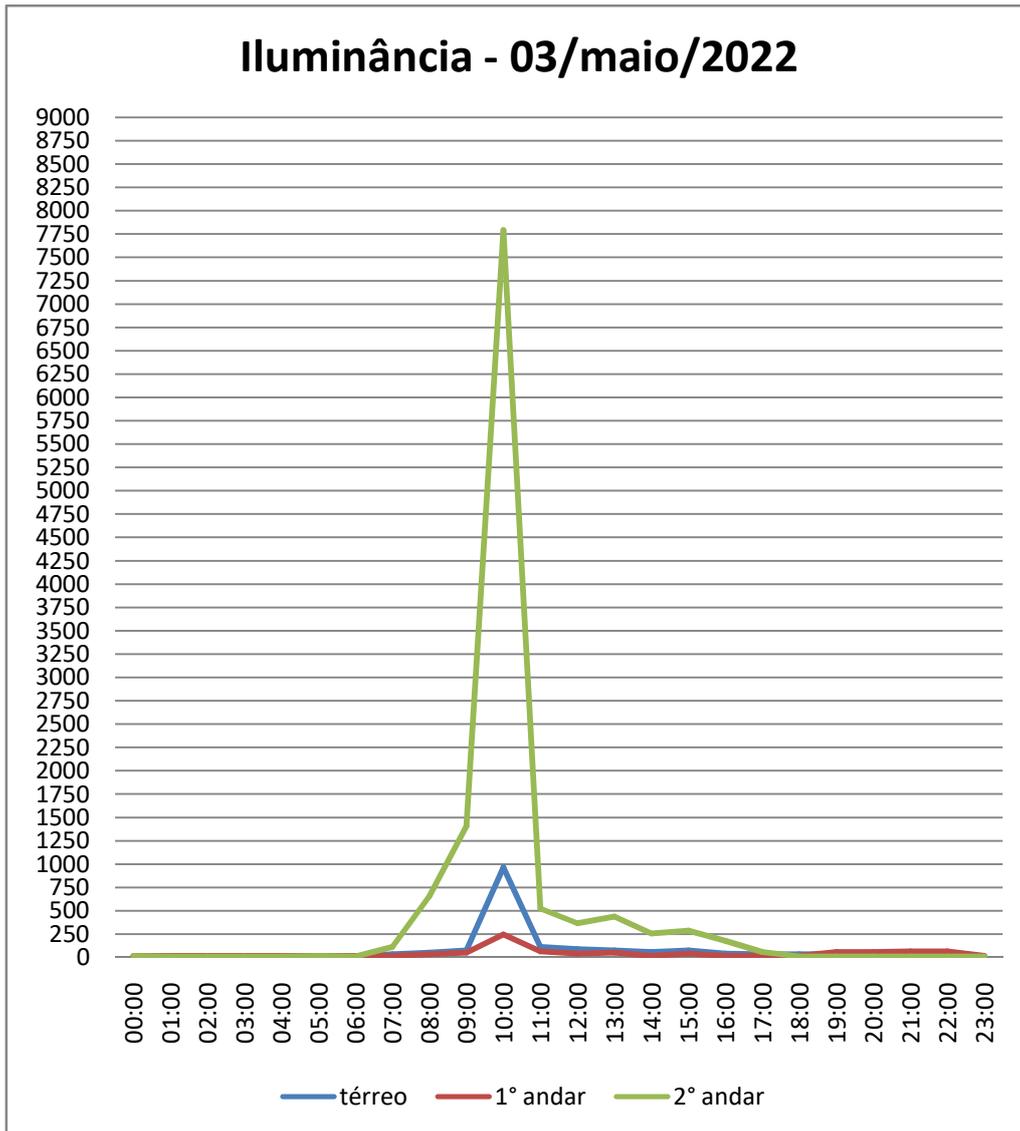


Figura 3: Nível de iluminância aferido no dia letivo 03 de maio de 2022. Fonte: Elaborado pelos autores.

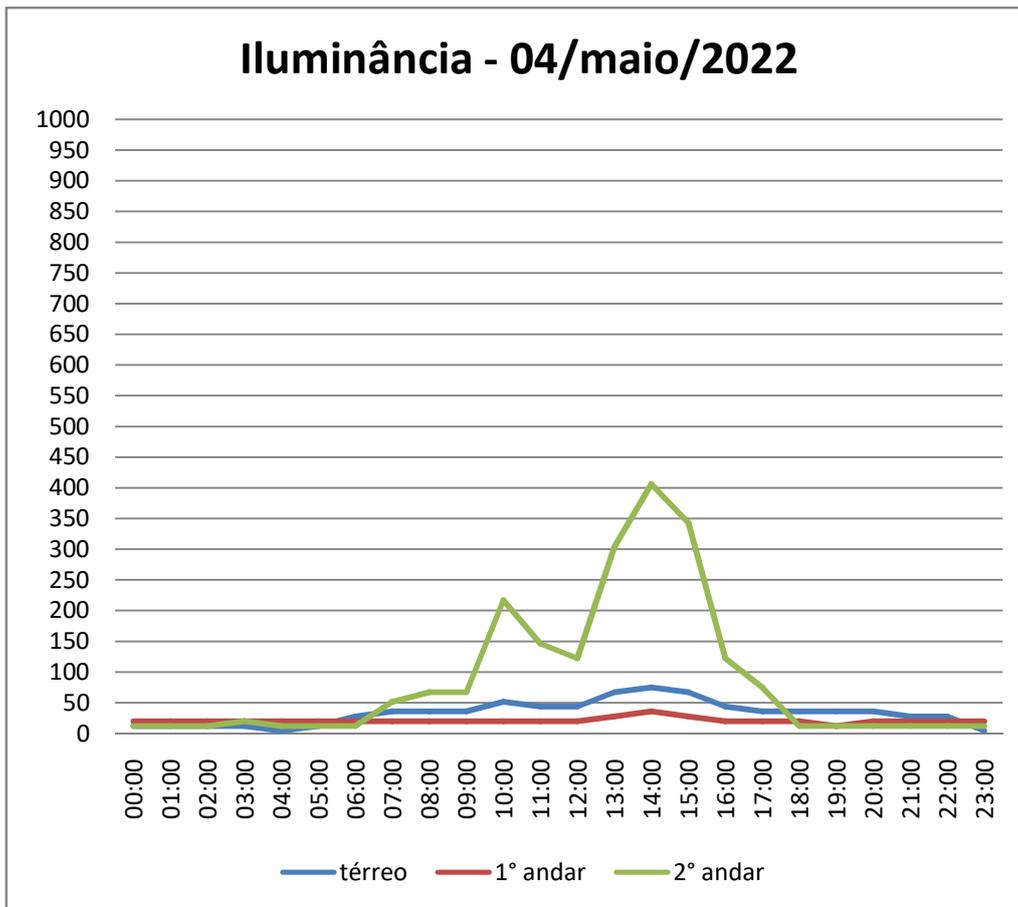


Figura 4: Nível de iluminância aferido no dia letivo 04 de maio de 2022. Fonte: Elaborado pelos autores.

Os gráficos dos dias letivos mostram que no 2º andar a incidência da luz natural é maior, seguido do pavimento térreo e do 1º andar. O primeiro andar tem menor entrada de luz natural devido à vegetação presente mais densa nessa altura, onde fica a maior parte da copa das árvores, somada ao acabamento de cor escura e presença de persianas, que ficam na maior parte do tempo, fechadas.

Observando a Figura 4 percebemos que em alguns horários temos um pequeno aumento no nível de iluminância devido à ronda noturna que acontece nos edifícios. Alguns seguranças realizam a ronda sem o acendimento da luz elétrica por já estarem acostumados e segundo funcionários, devido a entrada de morcegos e insetos para dentro do edifício no período noturno, quando a iluminação artificial está acesa. A entrada desses animais causa sujeiras de fezes nos espaços comuns.

Apesar da informação que as aulas ocorrem diariamente das 7:00hs às 22:00hs, nestes dois dias de medição não foram constatados os acendimentos dos sistemas de iluminação artificial a partir das 18:00hs. Podemos observar na Figura 6 do dia 06 de maio, que a iluminação artificial funcionou até às 22:15hs.

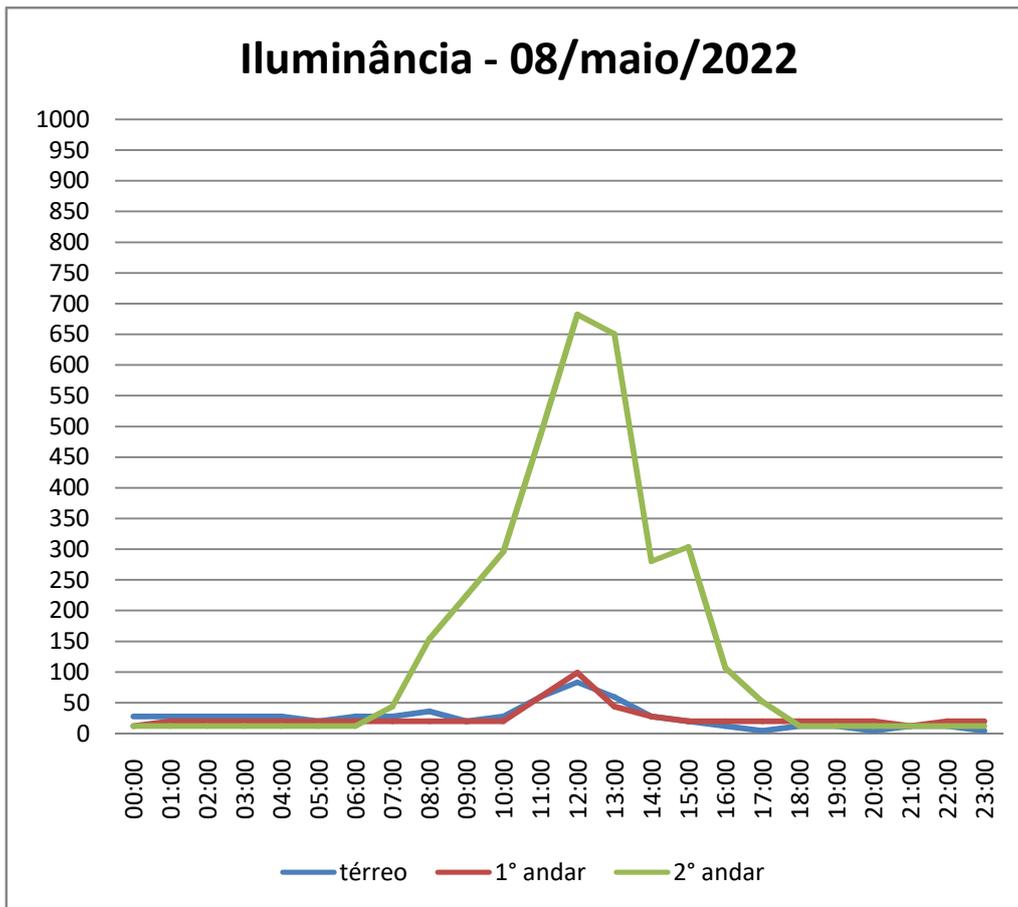


Figura 5: Nível de iluminância aferido no dia letivo 08 de maio de 2022. Fonte: Elaborado pelos autores.

No final de semana, observa-se pela Figura 5 que os sistemas de iluminação artificial não são acesos à noite e de madrugada, contendo apenas os valores dos níveis de iluminância referentes à iluminação natural no decorrer do dia. Observa-se alguns picos de iluminância no início da tarde devido à condição de céu parcialmente encoberto.

Devido à localização dos equipamentos de medição, não foi possível verificar se os sistemas de iluminação artificial atendem o nível de iluminância média da norma ANBT/NBR 8995-1 (ABNT, 2013) para o espaço em questão, no entanto, é possível analisar se a iluminação artificial estava acesa ou não.

A Figura 6 mostra os resultados das medições de iluminância realizadas durante uma semana no mês de maio comparando com o nível de iluminância externa. Diferentemente do que acontece quando a luz natural penetra no edifício zenitalmente, o nível de iluminância interna lateral não acompanha os picos de iluminância externas. No dia 3 de maio às 10:00hs observa-se um pico de iluminância interna por volta de 7.000 lux enquanto o pico de iluminância externa ocorre nesse dia por volta de 12:00hs alcançando o valor de 68.000 lux aproximadamente.

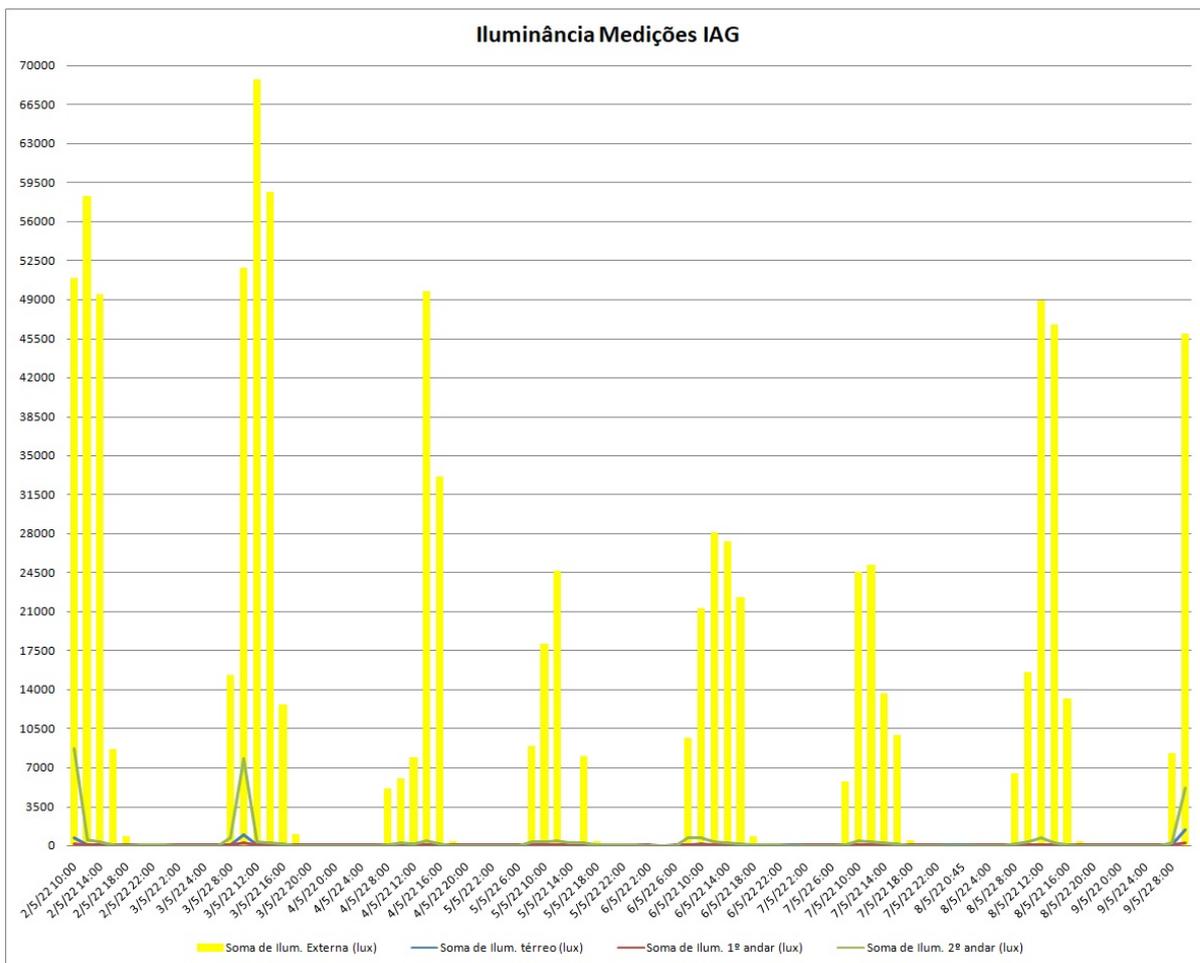


Figura 6: Níveis de iluminância aferidos no período completo de medição, em lux. Fonte: Elaborado pelos autores

3. Iluminação natural: Simulação computacional

3.1. Métodos e Procedimentos

Nesta parte do trabalho técnico, o estudo do ambiente do desempenho luminoso focou no Edifício Principal onde ocorre a maior circulação de pessoas e é um dos edifícios que tem maior potencial para o aproveitamento da luz natural provida das janelas laterais no entorno do prédio e das aberturas voltadas para o átrio central. As janelas possuem diferentes alturas e tamanhos e transmissão visual de 100% através dos vidros simples transparentes.

Somente a entrada de luz natural de uma das fachadas laterais (próxima às rampas) é através de blocos de vidro ondulado transparente onde a entrada da luz natural é difusa devido às características do próprio material. Para efeito de cálculo foi considerado uma transmissão visual de 75% de penetração da radiação direta.

As simulações computacionais mostram os cálculos em todos os meses do ano no dia 21 de cada mês, englobando deste modo os solstícios de verão (21 de dezembro) e inverno (21 de junho) e os equinócios (21 de março e 21 de setembro) nas condições de céu claro e céu encoberto. As simulações foram realizadas com a ferramenta computacional Dialux EVO 10.1.

Em relação aos critérios de desempenho adotou-se como limite mínimo a faixa entre 250 e 300 lux, seguindo as recomendações de Mardaljevic et al. (2012) que é a faixa de iluminâncias baseada em resultados de estudo de campo que registram as preferências e o comportamento de usuários de edifícios naturalmente iluminados e sem o impacto da radiação direta. O valor mencionado anteriormente foi utilizado para as áreas que possuem ambientes de estudo. Para as áreas comuns de circulação adotou-se como limite mínimo a faixa entre 200 e 250 lux, por tratar-se de ambientes de passagem.

A partir dos resultados das simulações foram extraídos os intervalos de horário para cada mês, nas quais os níveis de iluminância nas áreas de circulação são suficientes para esses espaços, considerando o nível do plano de trabalho de 0,75m do piso.

Por meio da simulação computacional foram geradas imagens em cores falsas e *isolines* dos níveis de iluminância de cada horário e espaço dos dias simulados. No corpo do relatório optou-se por apresentar apenas os resultados das simulações dos solstícios e equinócios, e os períodos que limitam as iluminâncias úteis, ou seja, aquelas acima da faixa mínima para a realização das tarefas, com quantidades satisfatórias de luz natural.

Foram simulados 7 ambientes ao total, sendo elas: circulação próxima às rampas, circulação próxima às escadas, ambas nos três andares e uma circulação de salas no 2º andar. No total foram 2.016 simulações. No Anexo do relatório foi colocado a simulação do Solstício de Verão de todos os ambientes hora a hora na situação de céu claro e céu encoberto.

3.2. Resultados

Tomando como base os resultados dos cálculos do 2º andar na circulação das salas de aula, no solstício de verão apresentado na Figura 8 observa-se que em dia de céu claro, entre 7:00hs e 12:00hs, nas circulações das salas de aula, devido a presença de uma janela no final do corredor, como mostra a Figura 7, podemos desligar as duas últimas luminárias desse ambiente, e entre 12:00hs e 17:00hs

podemos desligar a última luminária. No entanto, em dias de céu encoberto, apenas a última luminária fica desligada das 7:00hs às 17:00hs como observado na Figura 9.



Figura 7: Foto do final da circulação do 2º andar do edifício principal. Fonte: autores

Para que essa gestão de energia possa ser aplicada, será necessário uma modificação na divisão de circuitos presente, uma vez que atualmente, todas as luminárias da circulação ficam acesas devido à divisão de circuitos que controlam o acendimento da iluminação artificial.

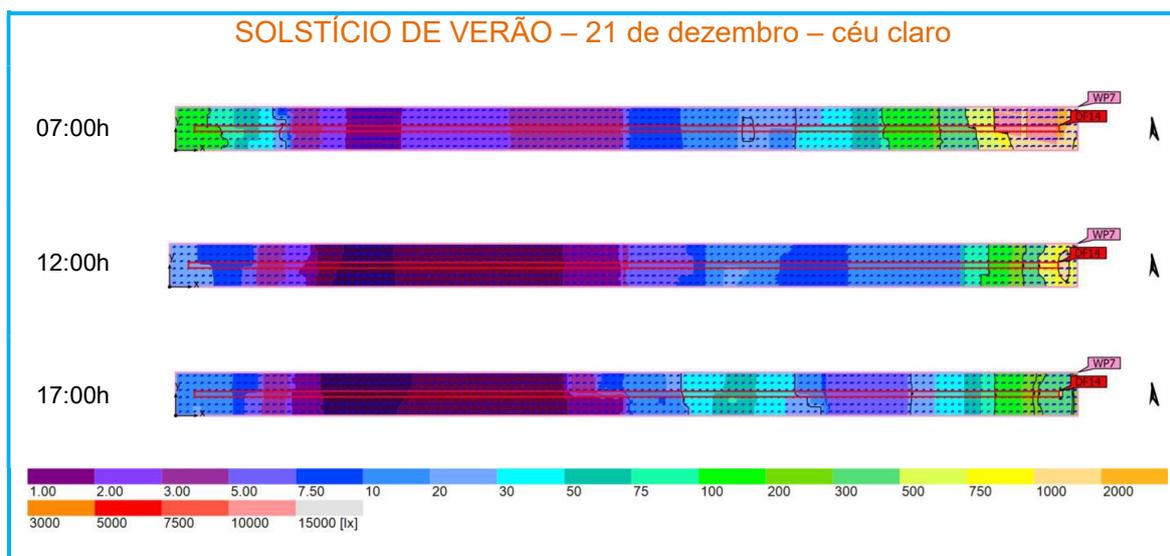


Figura 8: Simulação de iluminância no Solstício de Verão, para céu claro na circulação de salas de aula, 2º andar. Fonte: Elaborado pelos autores

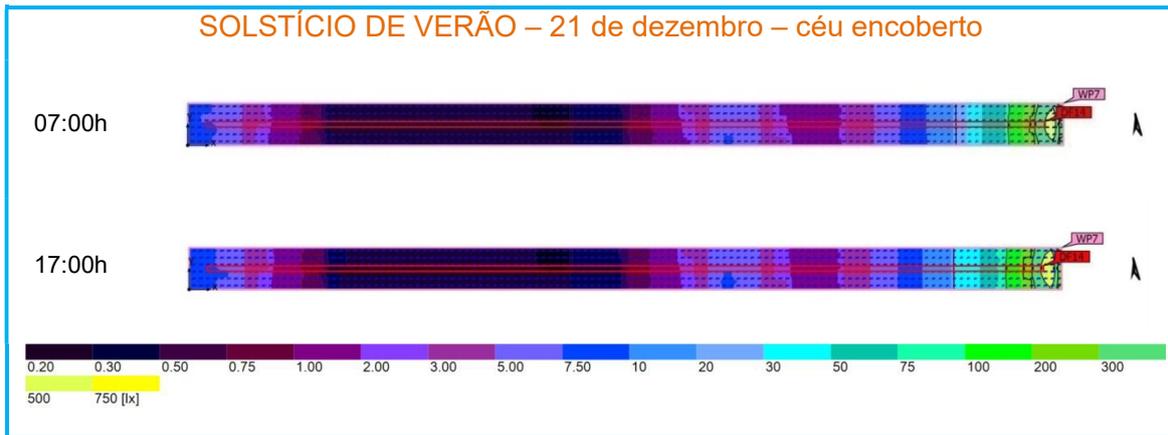


Figura 9: Simulação de iluminância no Solstício de Verão, para céu encoberto na circulação de salas de aula, 2º andar. Fonte: Elaborado pelos autores.

Já no solstício de inverno, observando as Figura 10 e Figura 11 temos que em dias de céu claro às 7:00hs o nível de iluminância no plano de tarefa é necessário o complemento com a luz elétrica. Entre 8:00hs e 11:00hs podemos desligar as duas últimas luminárias próximas à janela e entre às 11:00hs às 16:00hs desligar a última luminária apenas. E na condição de céu encoberto apagamos a última luminária das 9:00hs às 15:00hs.

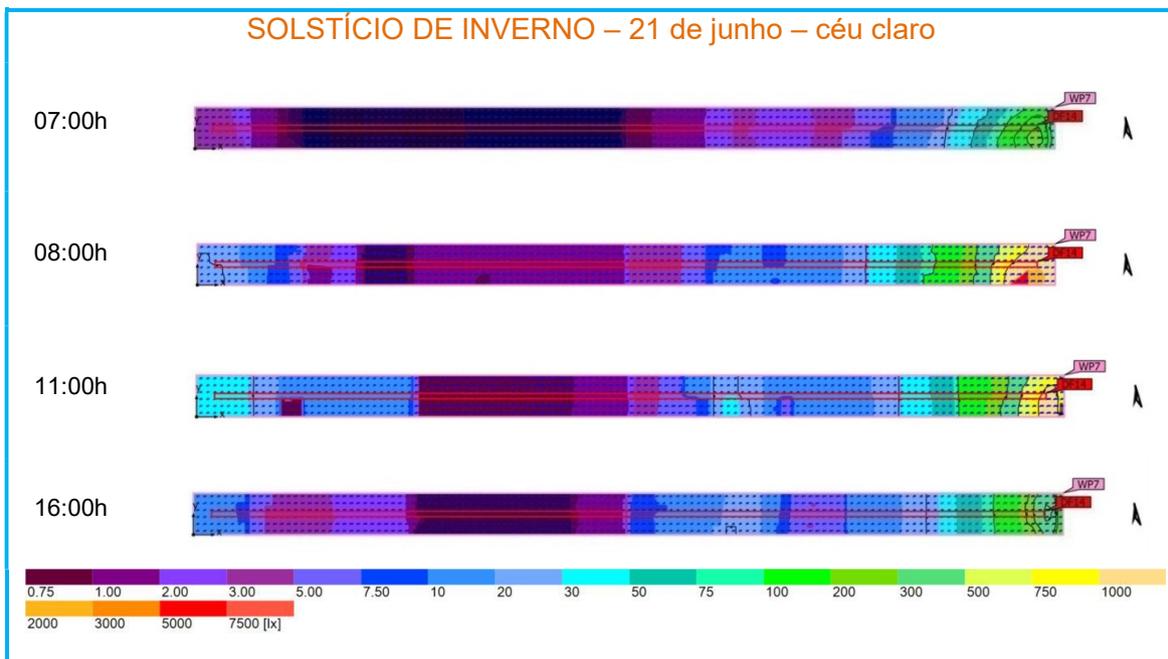


Figura 10: Simulação de iluminância no Solstício de Inverno, para céu claro na circulação de salas de aula, 2º andar. Fonte: Elaborado pelos autores.

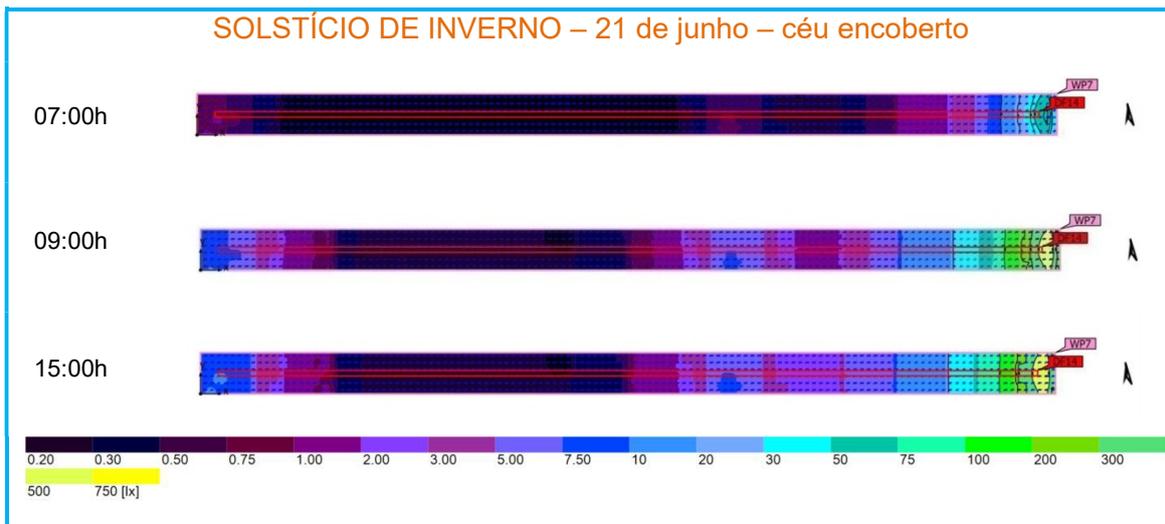


Figura 11: Simulação de iluminância no Solstício de Inverno, para céu encoberto na circulação de salas de aula, 2º andar. Fonte: Elaborado pelos autores.

Comparando o período do Solstício de Verão e Inverno na circulação das salas de aula é possível reduzir o consumo de energia em 10h no verão e no inverno o período é reduzido para 8h de economia em dias de céu claro. Já em dias de céu nublado, no verão continuamos com uma economia de 10h e inverno o tempo cai para 6h, sabendo que em dias de céu claro podemos apagar até duas luminárias em alguns períodos, enquanto que em dias de céu nublado, apenas a última luminária, a mais próxima da janela será apagada.

Na circulação próxima às escadas e próximas às rampas, há janelas laterais em dois lados da circulação. Nesses casos o ideal da divisão de acendimento dos sistemas de iluminação artificial é com base na proximidade das janelas, permitindo assim um melhor aproveitamento da luz natural nos ambientes.

A situação proposta na gestão é considerando uma pequena mudança na divisão do acionamento desses sistemas para otimizar a economia de energia.

No caso da circulação próxima às escadas temos janelas laterais no corredor da circulação (Figura 12) e janelas altas (Figura 13) que iluminam a escadaria.



Figura 12: Circulação próxima às escadas no 2° andar do Edifício Principal. Fonte: Autores



Figura 13: Janelas altas e contínuas que iluminam as escadas do Edifício Principal. Fonte: Autores

SOLSTÍCIO DE VERÃO – 21 de dezembro – céu claro

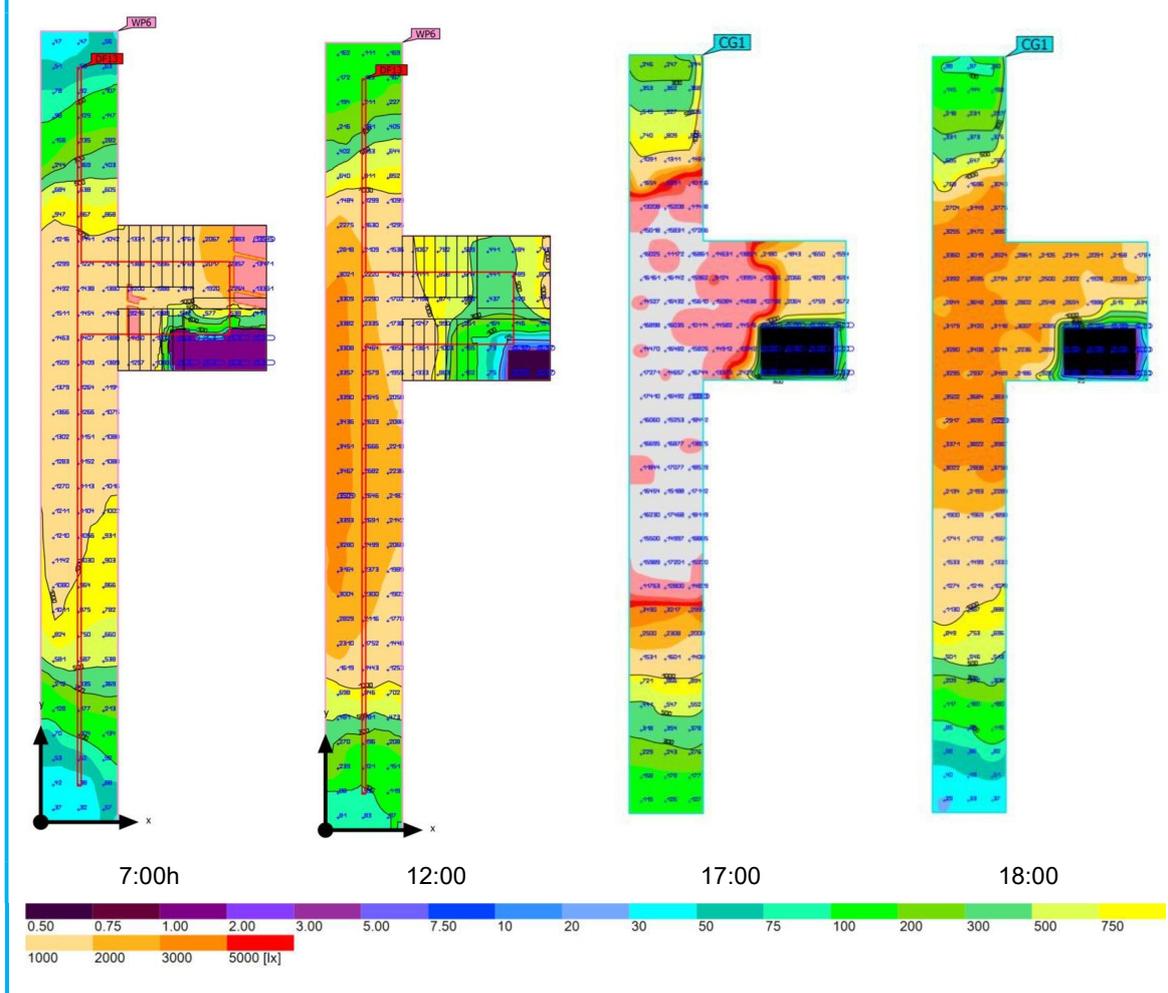


Figura 14: Simulação de iluminância no Solstício de Verão, para céu claro na circulação próxima às escadas, 2º andar. Fonte: Elaborado pelos autores.

No Solstício de Verão, as simulações da Figura 14 mostram que no ambiente da circulação próxima às escadas e nas escadas em dias de céu claro, no início do dia letivo podemos desligar a iluminação próxima às aberturas laterais tanto na circulação quanto nas escadas, no entanto no final da circulação, ainda é necessário que as luminárias estejam acesas para completar o nível de iluminância adequado. A partir do 12:00hs as duas luminárias das pontas da circulação podem ser desligadas e acesas somente a partir das 17:00hs. Somente a partir das 18:30hs todas as luminárias precisam ser acesas nesse ambiente.

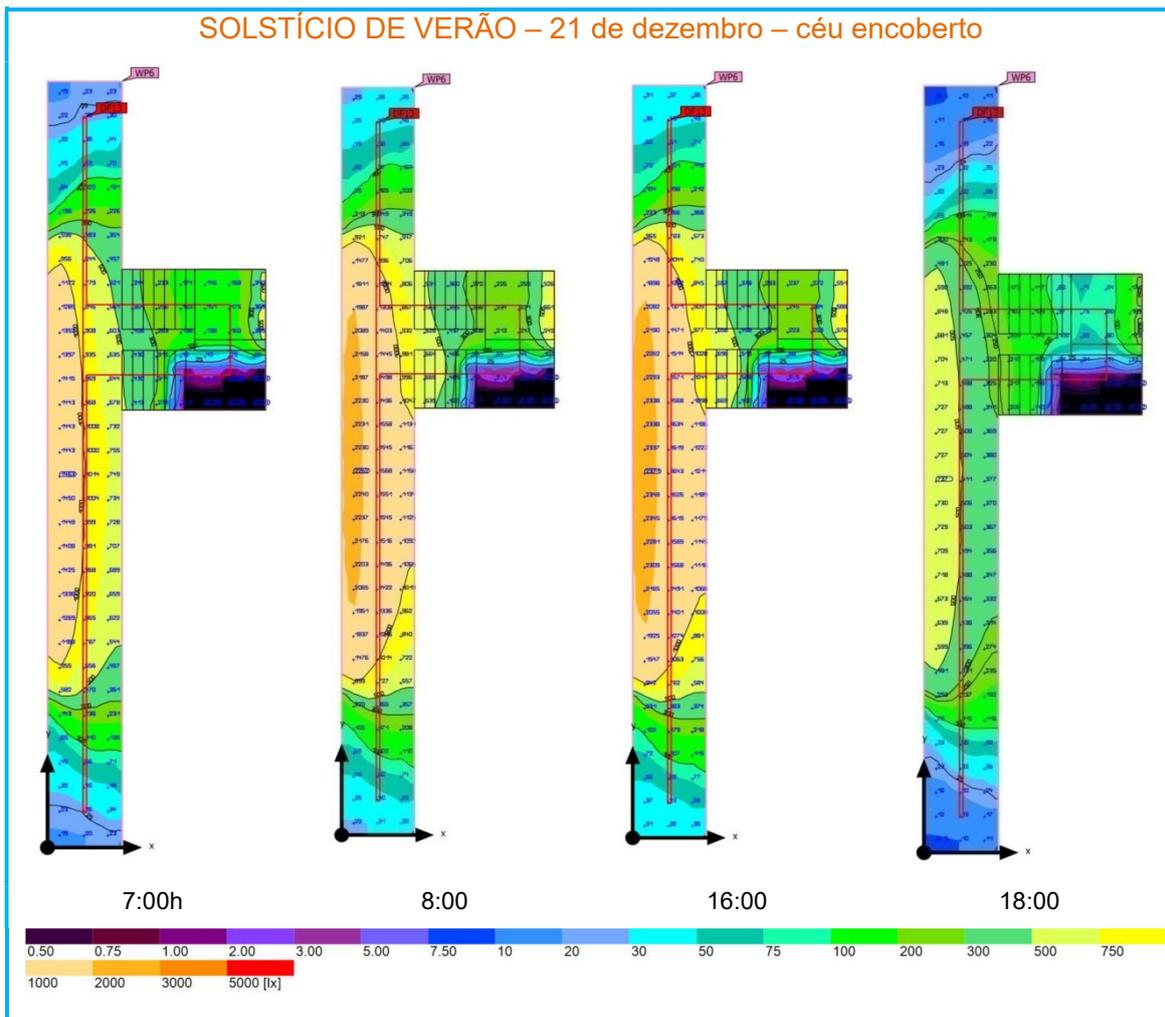


Figura 15: Simulação de iluminância no Solstício de Verão, para céu encoberto na circulação próximo às escadas, 2º andar. Fonte: Elaborado pelos autores.

Já na condição de céu encoberto, observa-se pela Figura 15 a necessidade de complemento da iluminação artificial no final do corredor, que ficará acesa todo o tempo, próximas às janelas podem ficar desligadas das 6:30hs até as 18:00hs. Nas escadas são necessárias que os sistemas de iluminação fiquem acesos até as 8:00hs e ficam desligadas até as 16:00hs.

No Solstício de Inverno, assim como na circulação, a necessidade do uso da iluminação elétrica é maior tanto nas condições de céu claro como na de céu encoberto. Quando a condição é de céu aberto a partir das 13:00hs até às 16:00hs todo o sistema de iluminação artificial poderá ficar totalmente desligado. Comparado a condição no Solstício de Verão, a diferença é de 2 horas a menos que no inverno como pode ser observado na Figura 14 e Figura 16.

SOLSTÍCIO DE INVERNO – 21 de junho – céu claro

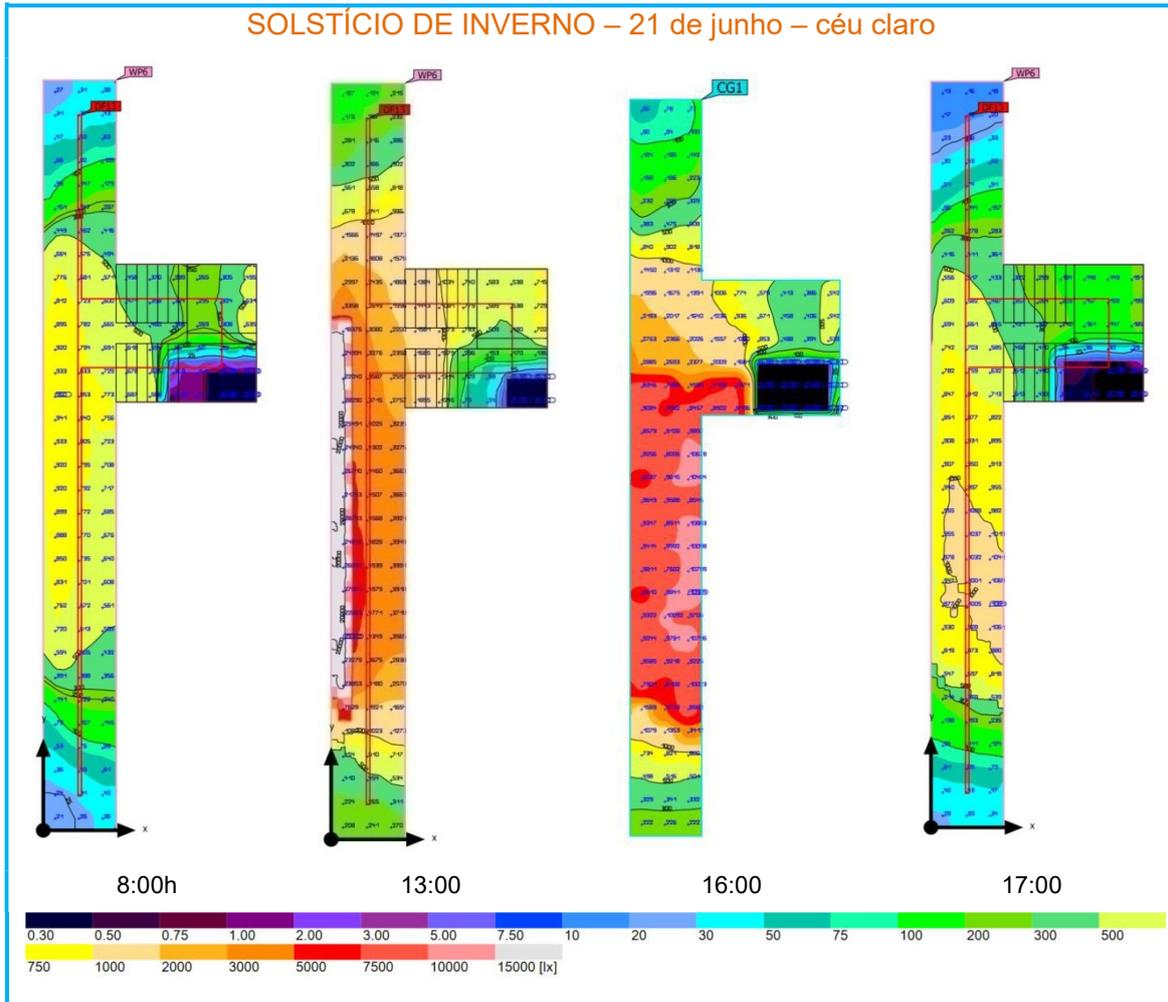


Figura 16: Simulação de iluminância no Solstício de Inverno, para céu claro na circulação próximo às escadas, 2º andar. Fonte: Elaborado pelos autores.

SOLSTÍCIO DE INVERNO – 21 de junho – céu encoberto

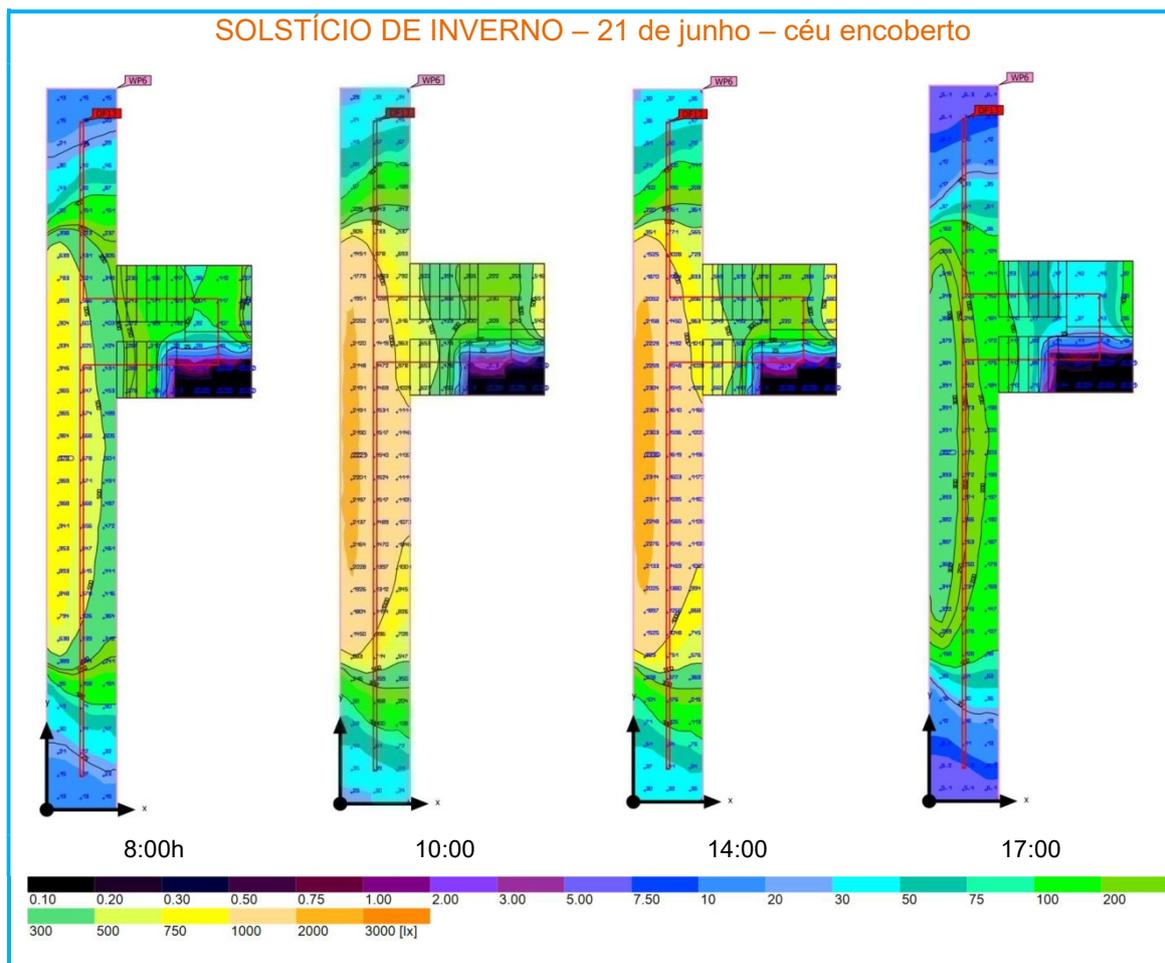


Figura 17: Simulação de iluminância no Solstício de Inverno, para céu encoberto na circulação próximo às escadas, 2º andar. Fonte: Elaborado pelos autores.

Na condição de céu encoberto, somente a partir das 8:00hs será possível desligar os sistemas de iluminação na parte central, próxima às janelas. Assim como no Solstício de verão, no inverno também não é possível desligar a iluminação elétrica das pontas da circulação. Nas escadas, a iluminação natural está presente das 10:00hs às 14:00hs, não havendo necessidade do complemento com os sistemas de iluminação como pode ser observado na Figura 17.

Outro ambiente tomado como base para simulações e medições foi a circulação próximas às rampas que recebem iluminação natural de janelas laterais do lado da circulação e por janelas altas e estreitas do lado da rampa. Como pode ser visto nas Figura 18, Figura 19 e Figura 20, cada pavimento tem a entrada da luz natural de maneira diferenciada. No pavimento térreo temos próximo às janelas altas ambiente de trabalho dos estudantes, sendo necessário um nível maior de iluminância no plano de tarefa.



Figura 18: Circulação próxima às rampas no pavimento térreo. Fonte: Autores



Figura 19: Vista das rampas no 1º andar. Fonte: Autores.



Figura 20: Circulação próxima às rampas no 2º andar. Fonte: Autores

Começando pelo pavimento térreo, em dias de céu claro no Solstício de Verão, no plano de trabalho foi considerado um nível médio de iluminância entre 250 e 300lux de luz natural, intervalo esse possível das 6:30hs às 15:00hs no plano de tarefa. Já em dias de céu encoberto o período de iluminância útil na área de tarefa é das 8:00hs às 16:00hs conforme mostrado na Figura 21.

Conforme observado na Figura 22, no Solstício de Inverno o intervalo é reduzido das 8:30hs às 14:30hs em dias de céu claro e das 10:00hs às 14:30hs em dias de céu encoberto.

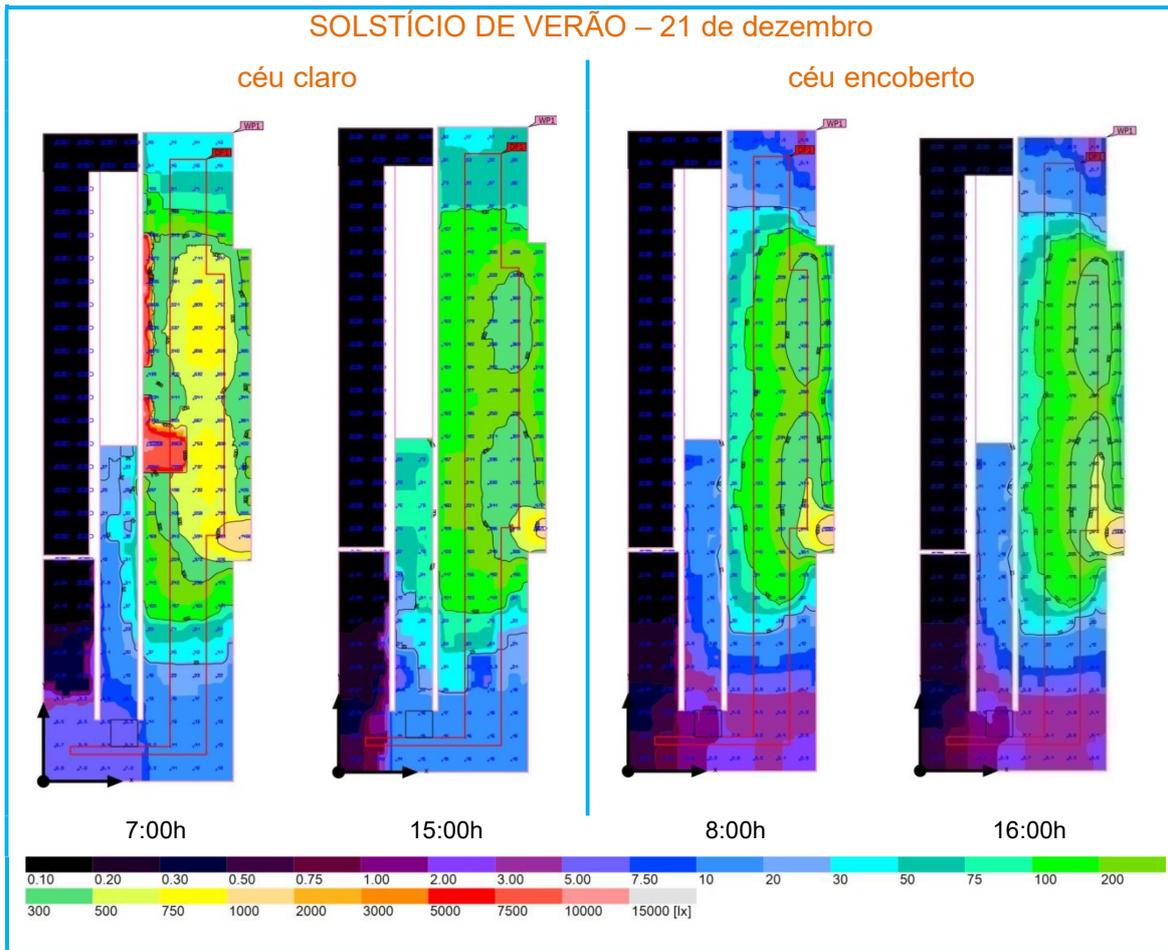


Figura 21: Simulação de iluminância no Solstício de Verão, para céu claro e encoberto na circulação próximo às rampas, térreo. Fonte: Elaborado pelos autores.

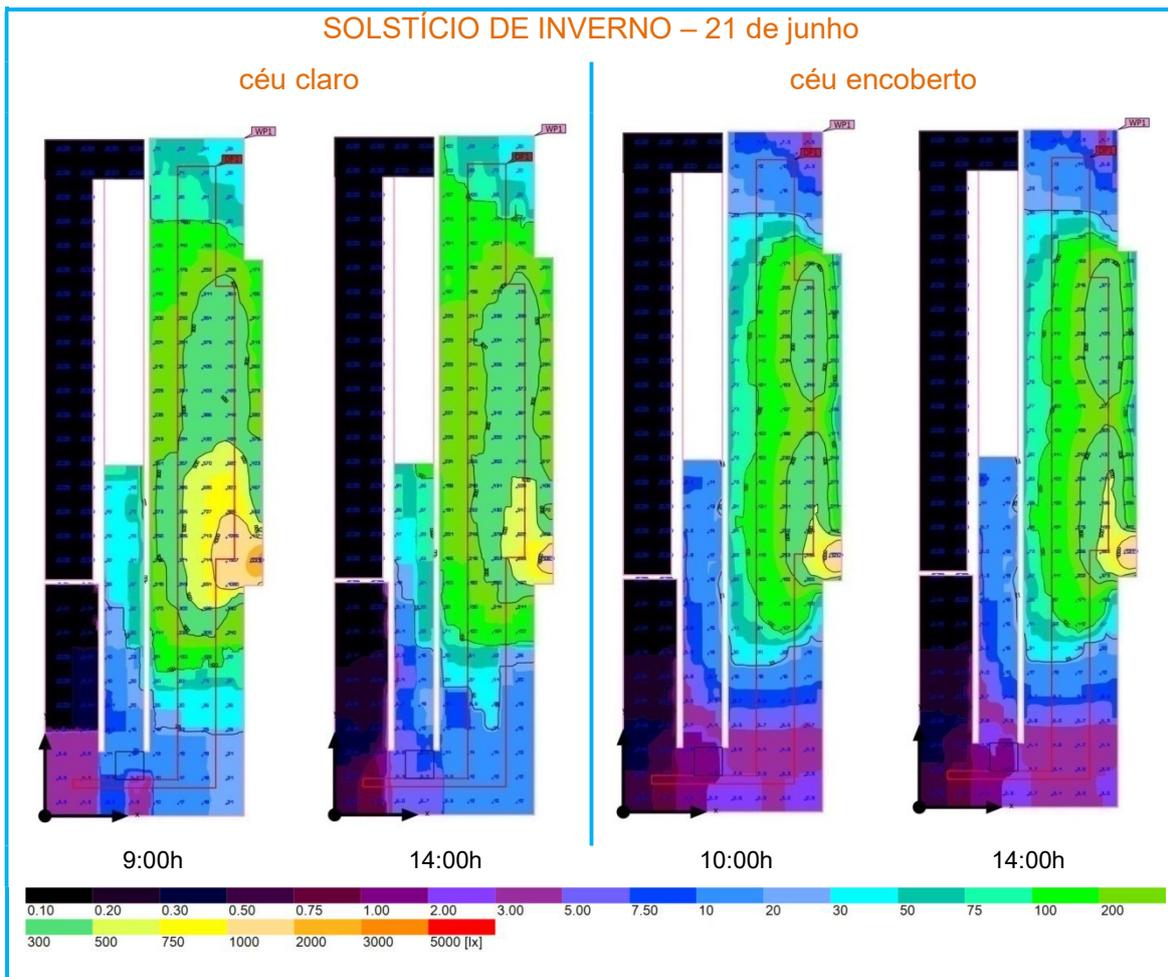


Figura 22: Simulação de iluminância no Solstício de Inverno, para céu claro e encoberto na circulação próxima às rampas, térreo. Elaborado pelos autores.

No primeiro pavimento além da circulação ao lado das rampas, foi considerada a área da recepção do Edifício Principal. Esse ambiente é provido de grande quantidade de luz natural, pois a entrada ao edifício possui grandes portas envidraçadas, além de grandes aberturas laterais de ambos os lados com vidros transparentes. No entanto, a circulação propriamente analisada é uma área escura devido a presença de persianas que permanecem fechadas em quase todo o período, além do acabamento de cor mais escura das paredes, que impede a reflexão da luz que entra no edifício.

Neste andar é importante que novas divisões dos sistemas de acendimento sejam acrescentadas para possibilitar uma melhoria e uma maior economia de energia.

Em dias de céu claro no Solstício de Verão, no início do dia letivo como observado na Figura 23 é necessário somente o complemento dos sistemas de iluminação nas rampas e no prolongamento da circulação das salas de aula e somente a partir das 18:30hs e somente partir das 17:30hs também é necessário complementar a iluminação próximas às janelas. No decorrer do ano, na recepção há a necessidade

SOLSTÍCIO DE VERÃO – 21 de dezembro – céu encoberto

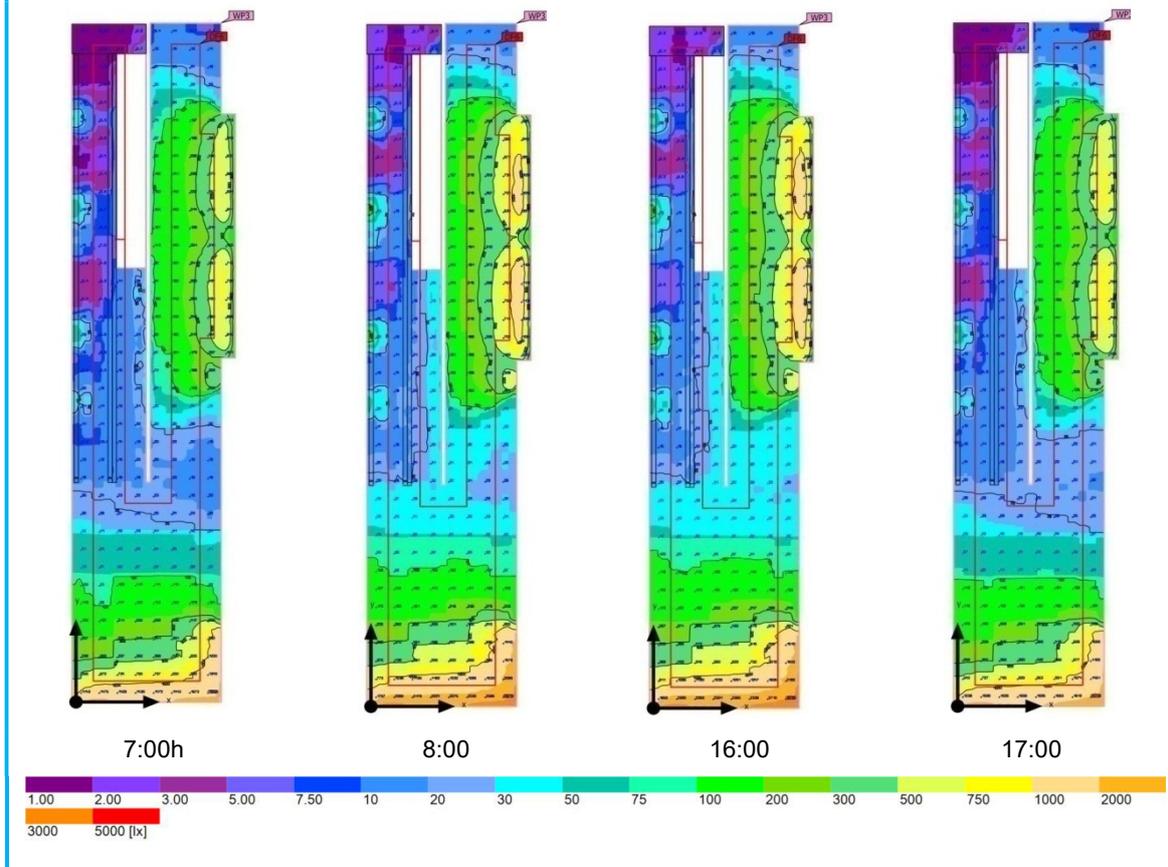


Figura 24: Simulação de iluminância no Solstício de Verão, para céu encoberto na circulação próxima às rampas, 1º andar. Elaborado pelos autores.

SOLSTÍCIO DE INVERNO – 21 de junho – céu claro

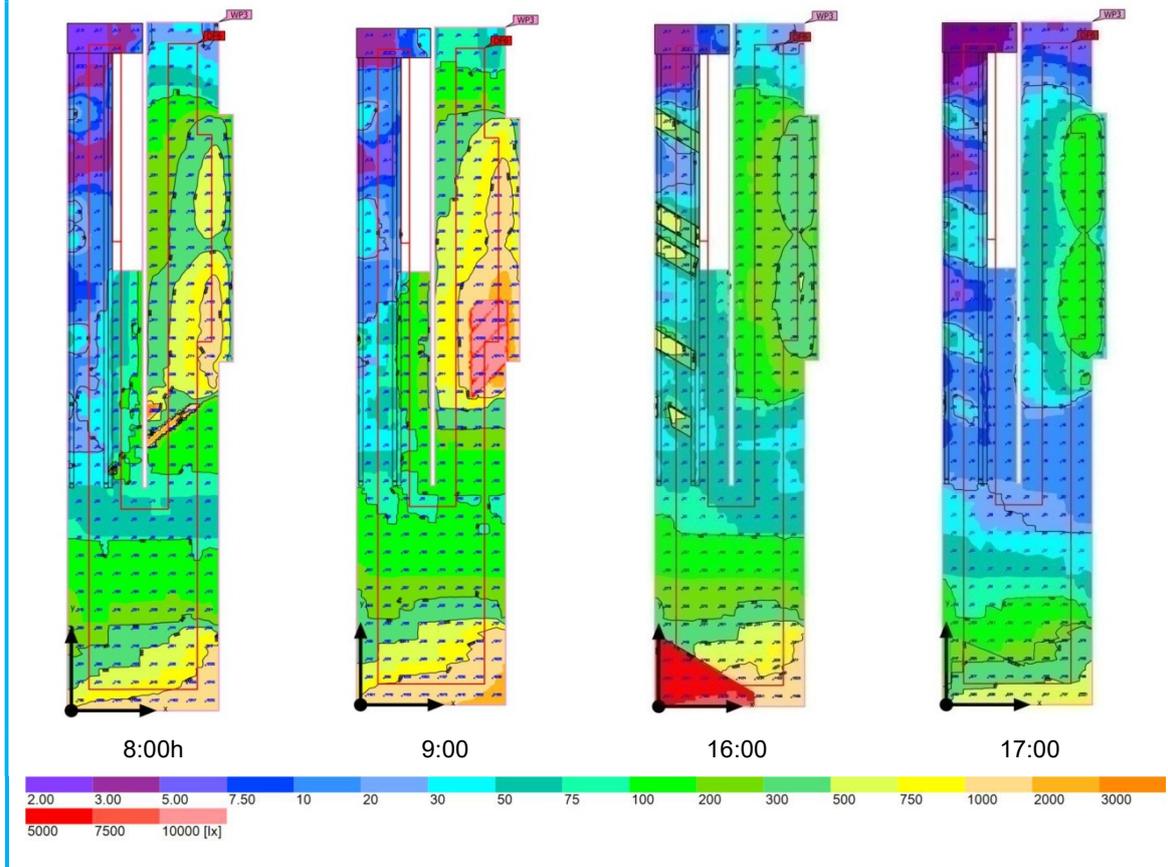


Figura 25: Simulação de iluminância no Solstício de Inverno, para céu claro na circulação próxima às rampas, 1º andar. Elaborado pelos autores.

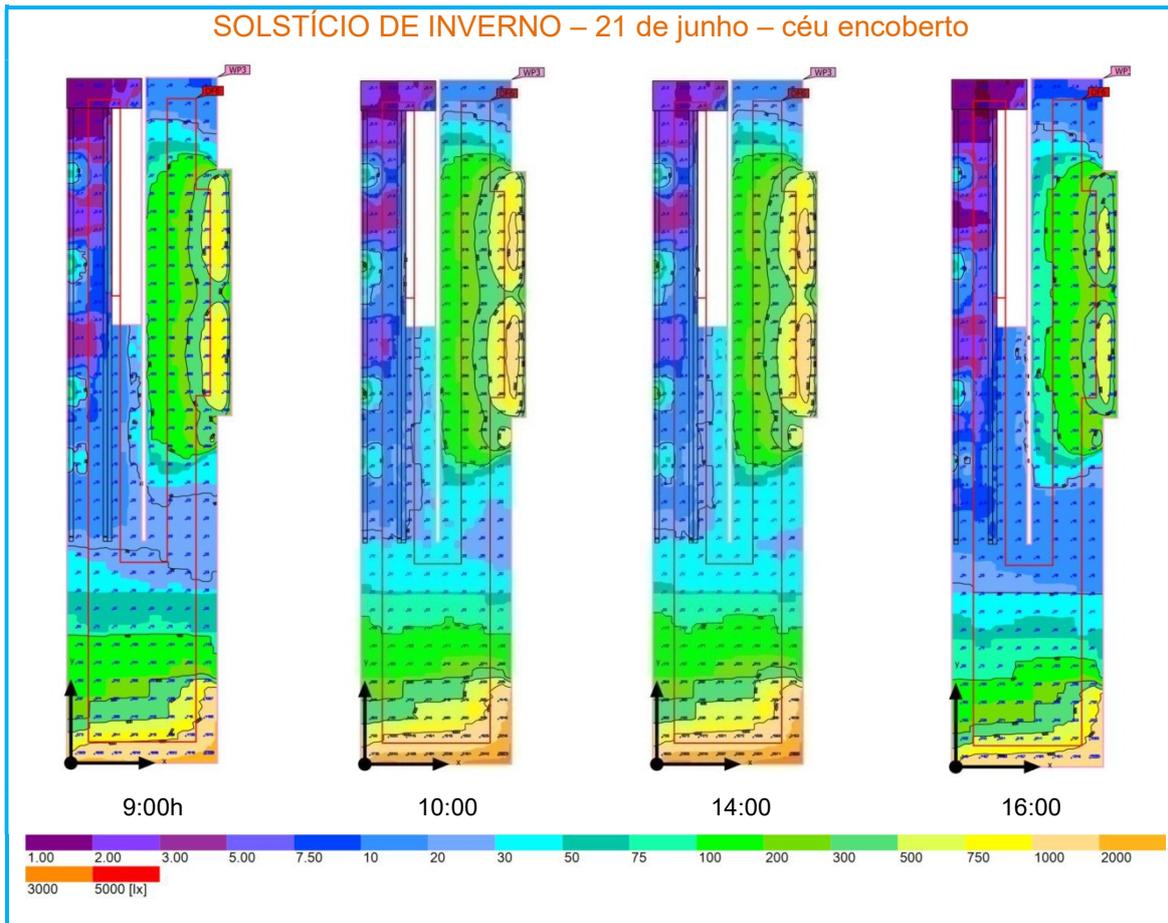


Figura 26: Simulação de iluminação no Solstício de Inverno, para céu encoberto na circulação próxima às rampas, 1º andar. Elaborado pelos autores.

No segundo andar, a necessidade do complemento com os sistemas de iluminação elétrica é menor, pois as duas aberturas laterais preenchem o espaço com a luz solar, como pode ser observado nas figuras seguintes (Figura 27 a Figura 30). No Solstício de Verão (Figura 27) até o meio dia (12:00hs) não é necessário iluminação complementar no fundo das rampas e, a partir das 16:30hs, também há a necessidade de acender a iluminação elétrica na linha do início da rampa. Assim como nos outros pavimentos, para melhor aproveitamento da iluminação natural, há a necessidade de redistribuir os sistemas de acendimento.

Em condições de céu encoberto, ambas as extremidades das rampas têm a necessidade de complementar a iluminação natural com os sistemas de iluminação artificiais. Nessa condição, conforme pode ser observado na Figura 28 as rampas também precisam de iluminação complementar até as 11:00hs da manhã e após as 14:00hs. Tanto em condições de céu claro, como encoberto, a circulação contínua às salas de aula também necessita de luz complementar.

SOLSTÍCIO DE VERÃO – 21 de dezembro – céu claro

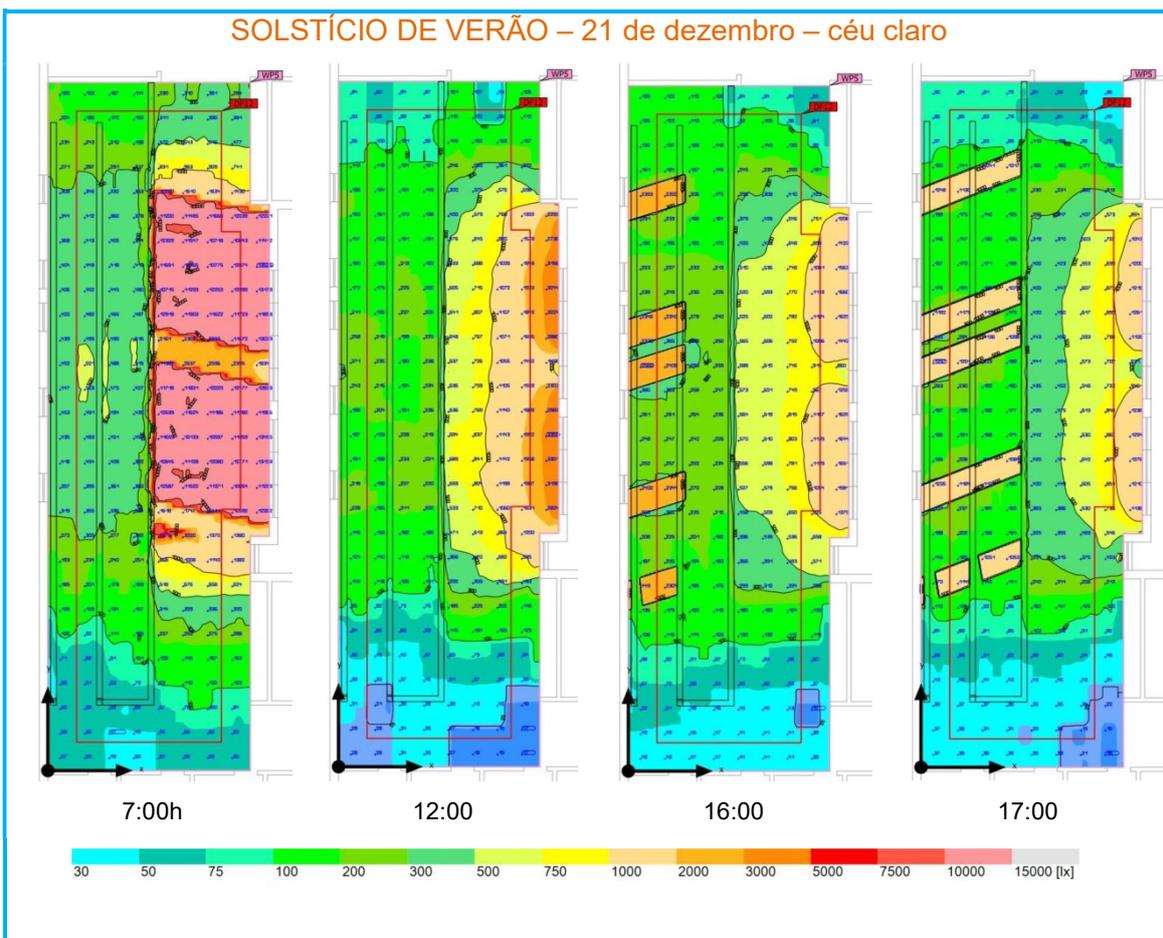


Figura 27: Simulação de iluminância no Solstício de Verão, para céu claro na circulação próxima às rampas, 2º andar. Elaborado pelos autores.

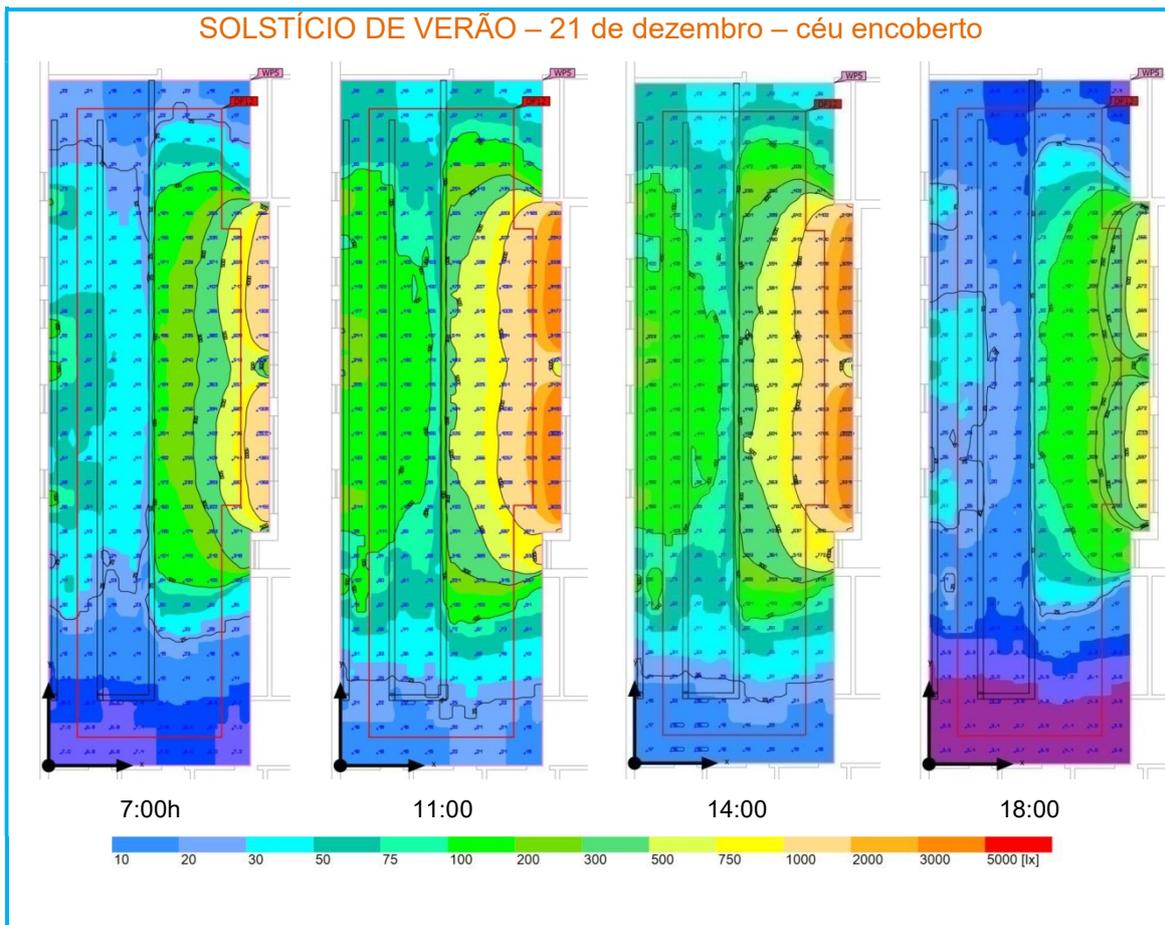


Figura 28: Simulação de iluminância no Solstício de Verão, para céu encoberto na circulação próxima às rampas, 2º andar. Elaborado pelos autores.

No Solstício de Inverno em condições de céu aberto, comparando as simulações de inverno (Figura 29) com a de verão (Figura 27) observa-se que é necessário um maior número de horas de complemento da iluminação elétrica. Às 17:00hs percebe-se que no inverno, somente próxima às janelas temos iluminação natural suficiente, enquanto que no verão, no mesmo horário, as rampas não necessitam desse complemento.

Em condições de céu encoberto no inverno, onde o dia é mais curto, o horário de aproveitamento da luz solar fica restrito das 8:00hs às 16:00hs somente próximo às janelas da circulação. (Figura 30).

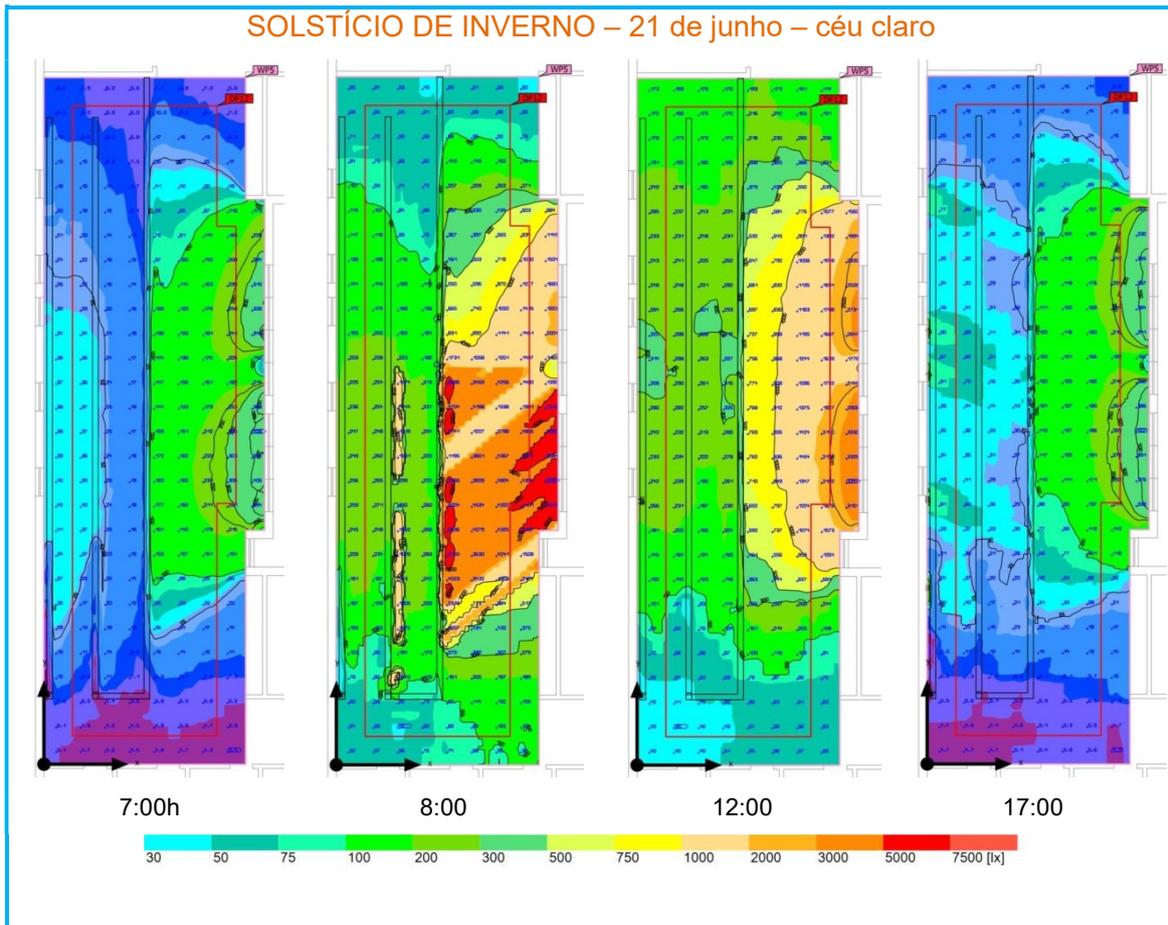


Figura 29: Simulação de iluminância no Solstício de Inverno, para céu claro na circulação próxima às rampas, 2º andar. Elaborado pelos autores.

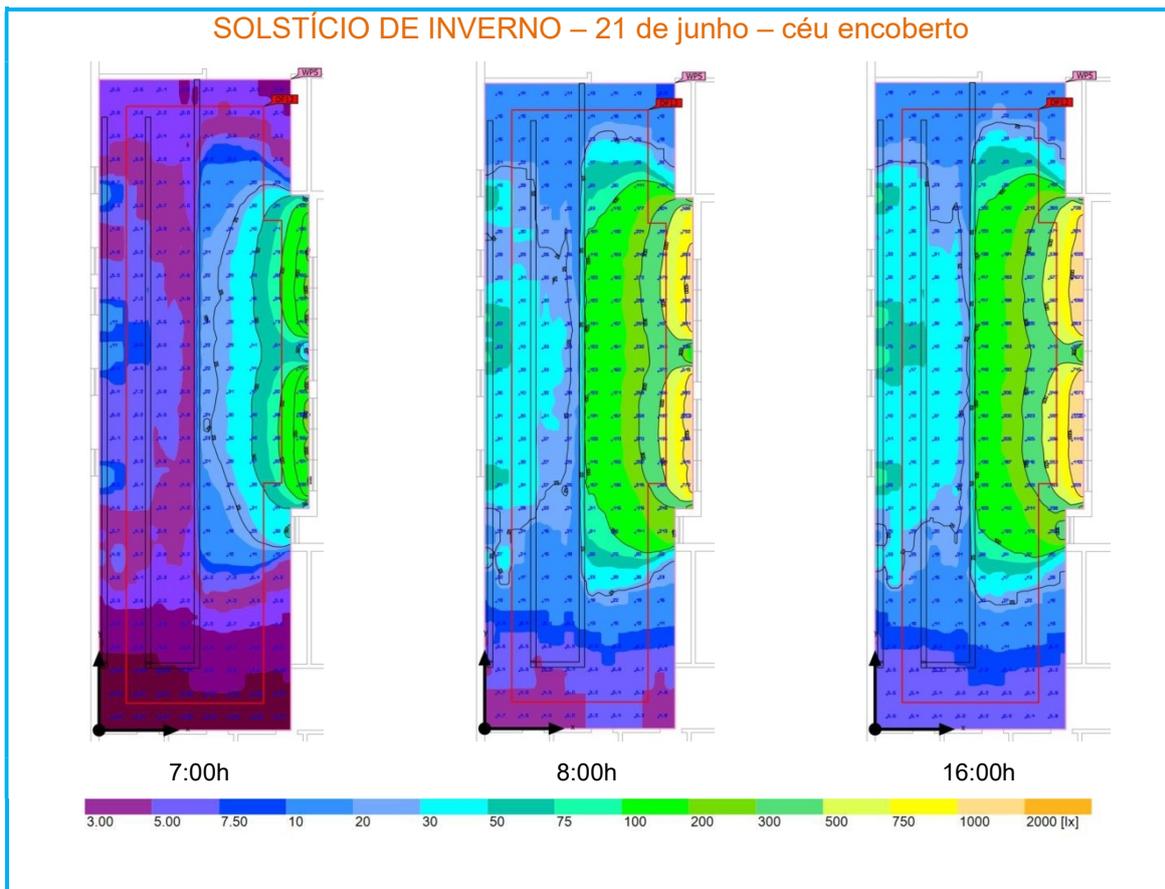


Figura 30: Simulação de iluminância no Solstício de Inverno, para céu encoberto na circulação próxima às rampas, 2º andar. Elaborado pelos autores.

Por meio dos resultados das simulações realizadas durante todo o ano nos ambientes, observa-se que mesmo nas diferentes épocas do ano, nos dias de céu encoberto, as iluminâncias na altura do plano de trabalho são significativamente mais homogêneas do que os dias de céu claro. Próxima as aberturas laterais, a iluminância é maior, decrescendo conforme se afasta das janelas, onde o alcance máximo da luz solar dentro do ambiente é de 2,5 vezes a altura da verga da abertura.

Nas circulações onde as janelas são contínuas (corredores próximos às rampas e escadas) a uniformidade da luz é maior que próxima às janelas descontínuas (ao lado das rampas). Já nas aberturas das escadas que estão localizadas mais altas ou baixas dependendo do nível que o usuário se localiza, têm um alcance maior de luz solar para dentro do ambiente.

A entrada de luz lateralmente permite um visual do entorno do edifício, trazendo bem estar aos seus usuários, além de permitir a regulamentação do ciclo circadiano do indivíduo, que pode acompanhar visualmente o passar do tempo.

4. Iluminação artificial: levantamento e mapeamento

Para a caracterização do funcionamento (uso e operação) do sistema de iluminação artificial no Edifício do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, foi realizado um levantamento e mapeamento dos sistemas de iluminação artificial.

Os edifícios dos Blocos A, B, C, D, E, F e G são menos utilizados e os ambientes providos de aberturas laterais ocorrem nas salas individuais, sejam elas utilizadas por docentes ou pesquisadores de pós-graduação, e laboratórios. Em geral, a circulação comum é totalmente dependente da iluminação artificial, que fica acesa somente quando essas salas são utilizadas.

Na ligação de alguns desses blocos, há um pequeno hall que dá acesso à elevadores e escadas onde estão presentes janelas laterais. Percebe-se que nesses ambientes o uso da iluminação artificial já é consciente, ou seja, são acesos somente quando a iluminação natural não é suficiente ou quando há usuários presentes em algum desses blocos.

No edifício da Administração está localizada a biblioteca, salas administrativas e salas de uso geral como salas para eventos e congregação. No segundo andar, estão localizadas as salas administrativas que funcionam o dia todo e possuem portas de vidro que possibilitam a penetração da luz natural até o corredor central. Sempre que possível, os próprios funcionários deixam aceso somente metade dos sistemas de iluminação artificial quando há a presença da luz natural.

No edifício Principal é onde ocorre a maior parte das atividades educacionais, com salas de aula, laboratórios, salas de docentes, secretarias, etc. Esse prédio é circundado por janelas laterais e ainda possui um átrio central que permite a entrada de luz natural nos ambientes de uso comum, onde as circulações têm maior potencial de uso eficiente da luz artificial. Para essa análise serão consideradas as circulações próximas às rampas e a escadas, circulação de sala de aula somente do 2º andar que são providas de iluminação natural em uma das pontas, rampas, escadas e a recepção no 1º andar.

O levantamento incluiu a localização e quantificação do número e tipo de lâmpadas e luminárias e a setorização dos circuitos de acendimento, assim como a localização dos interruptores. Os ambientes analisados estão identificados nas plantas da Figura 31.

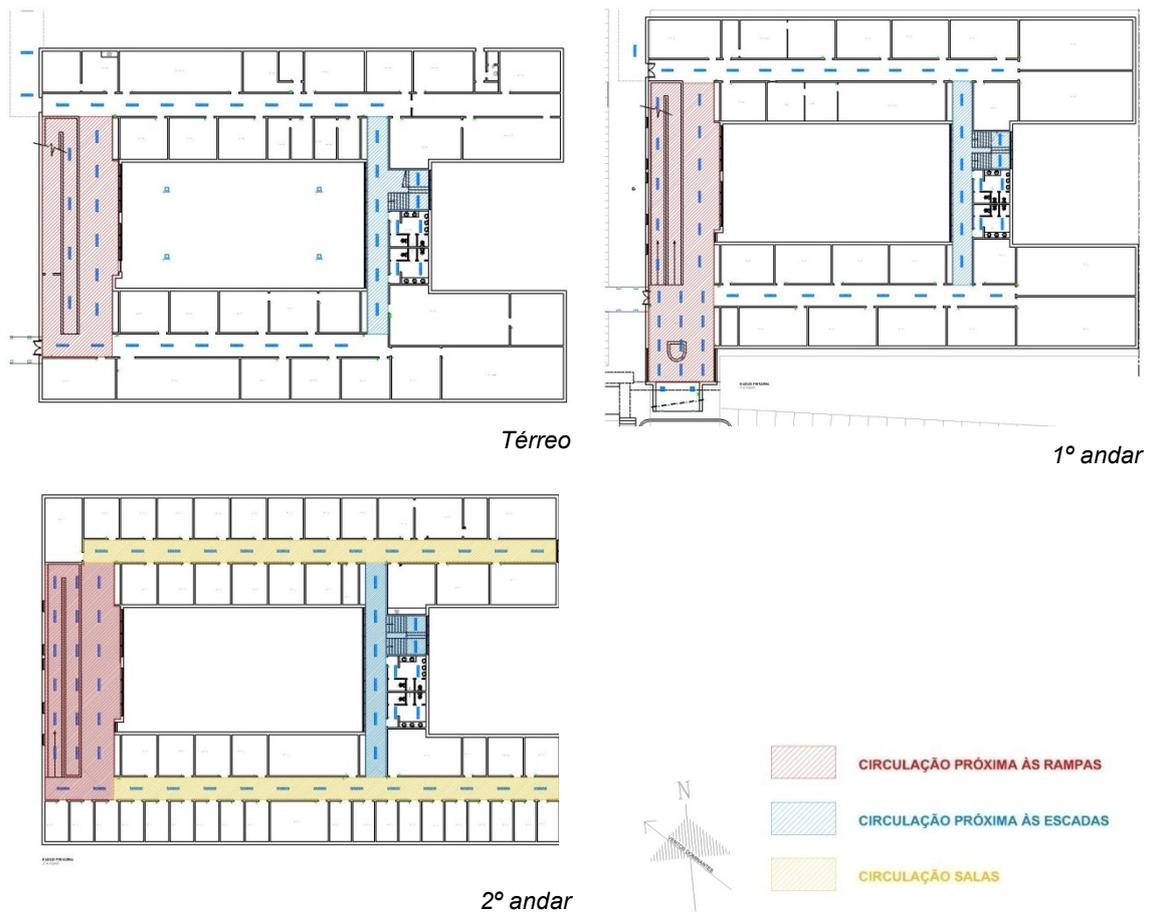


Figura 31: Localização dos ambientes analisados em planta do Edifício Principal, sem escala. Fonte: Elaborado pelos autores.

A seguir serão detalhadas as informações do levantamento e mapeamento realizados.

4.1. Pavimento térreo



Figura 32: Planta de distribuição dos sistemas de acionamento e iluminação da circulação próxima às rampas no pavimento térreo. Fonte: Redesenho dos autores.

Na Figura 32, na planta de desenho atual está em destaque a área analisada, comum total de 12 luminárias com aletas e refletor para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada. Para o melhor aproveitamento da iluminação natural nesse ambiente, à direita temos a imagem do acréscimo de um sistema de acionamento, em destaque na cor verde, que leva em consideração as aberturas laterais e a necessidade do complemento da iluminação elétrica.

As luminárias próximas às escadas são iguais às da rampa exceto as luminárias das escadas que ao invés de 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W possuem apenas 1 lâmpada fluorescente tubular de 32W. A Figura 33 mostra no desenho de distribuição atual a área demarcada levada em consideração para o projeto. Ao total são 6 luminárias para 2 lâmpadas e 2 luminárias para 1 lâmpada com o sistema de acionamento indicado na figura. Neste caso a sugestão é redistribuir as luminárias para os circuitos existentes conforme a figura do sugerido.

Assim como na circulação próxima às rampas, a nova divisão do acionamento dos circuitos leva em consideração a contribuição da luz natural dentro dos ambientes, gerando uma economia de energia para o edifício como um todo.



Figura 33: Planta de distribuição dos sistemas de acionamento e iluminação da circulação próxima às escadas no pavimento térreo. Fonte: Redesenho dos autores.

4.2. 1º Pavimento

Neste pavimento além da circulação próxima às rampas e as escadas foi considerada a área de entrada e recepção. O ambiente engloba 23 luminárias com refletor e aletas para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada. Na situação atual observada na Figura 34, somente na área da recepção há a possibilidade de acionar apenas metade dos sistemas de iluminação artificial, porém quando um dos circuitos de acionamento está apagado, pelas simulações realizadas, observa-se que o nível de iluminância deste trecho é insuficiente.

Para o melhor aproveitamento da luz natural e adequação do nível de iluminância, sugere-se que seja criada um novo circuito de acionamento englobando as luminárias próximas às janelas e haja uma realocação de luminárias para o circuito 6C já existente conforme mostrado na Figura 34.



Figura 34: Planta de distribuição dos sistemas de acionamento e iluminação da circulação próxima às rampas no 1º pavimento. Fonte: Redesenho dos autores.

Assim como no pavimento térreo, no 1º andar consideramos para a gestão de energia do edifício a circulação próxima às escadas e as escadas. Há 6 luminárias com aletas e refletor para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W na circulação próxima às escadas e 2 luminárias com aletas e refletor para 1 lâmpada fluorescente tubular de 32W. Da mesma maneira que no pavimento térreo, para o maior aproveitamento da iluminação natural da circulação, sugerem-se re-dividir os sistemas de acendimento, separando as luminárias próximas às janelas e as mais distantes conforme mostrado na situação sugerida na Figura 35.

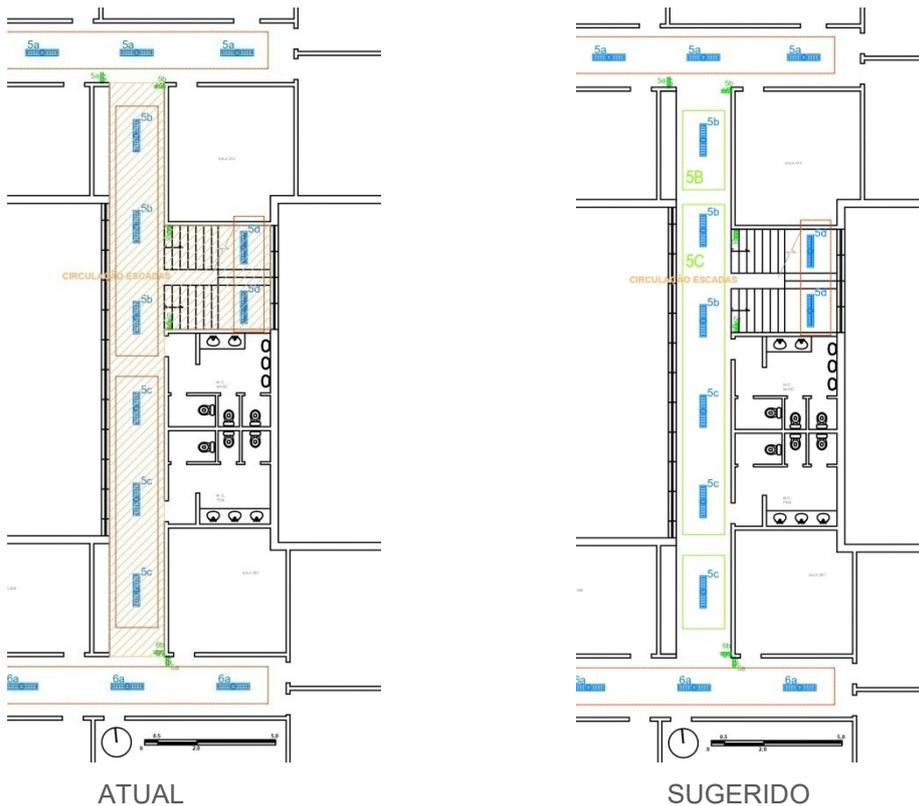


Figura 35: Planta de distribuição dos sistemas de acionamento e iluminação da circulação próxima às escadas no 1º pavimento. Fonte: Redesenho dos autores.

4.3. 2º Pavimento

No 2º Pavimento, além das circulações próximas às rampas e escadas, foram consideradas para análise as circulações das salas de aula, pois nesse pavimento ao invés de uma sala fechada no final do corredor, temos uma abertura lateral, e mesmo que permita a entrada de pouca luz natural em todo o ambiente, entrará no plano de gestão de energia.

Nessas duas circulações a sugestão é o acréscimo de dois sistemas de acendimento próximo às janelas como sugerido na Figura 36. Em uma das circulações há um total de 13 luminárias e na outra 12 luminárias, todas possuem aletas e refletores e comportam 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada.

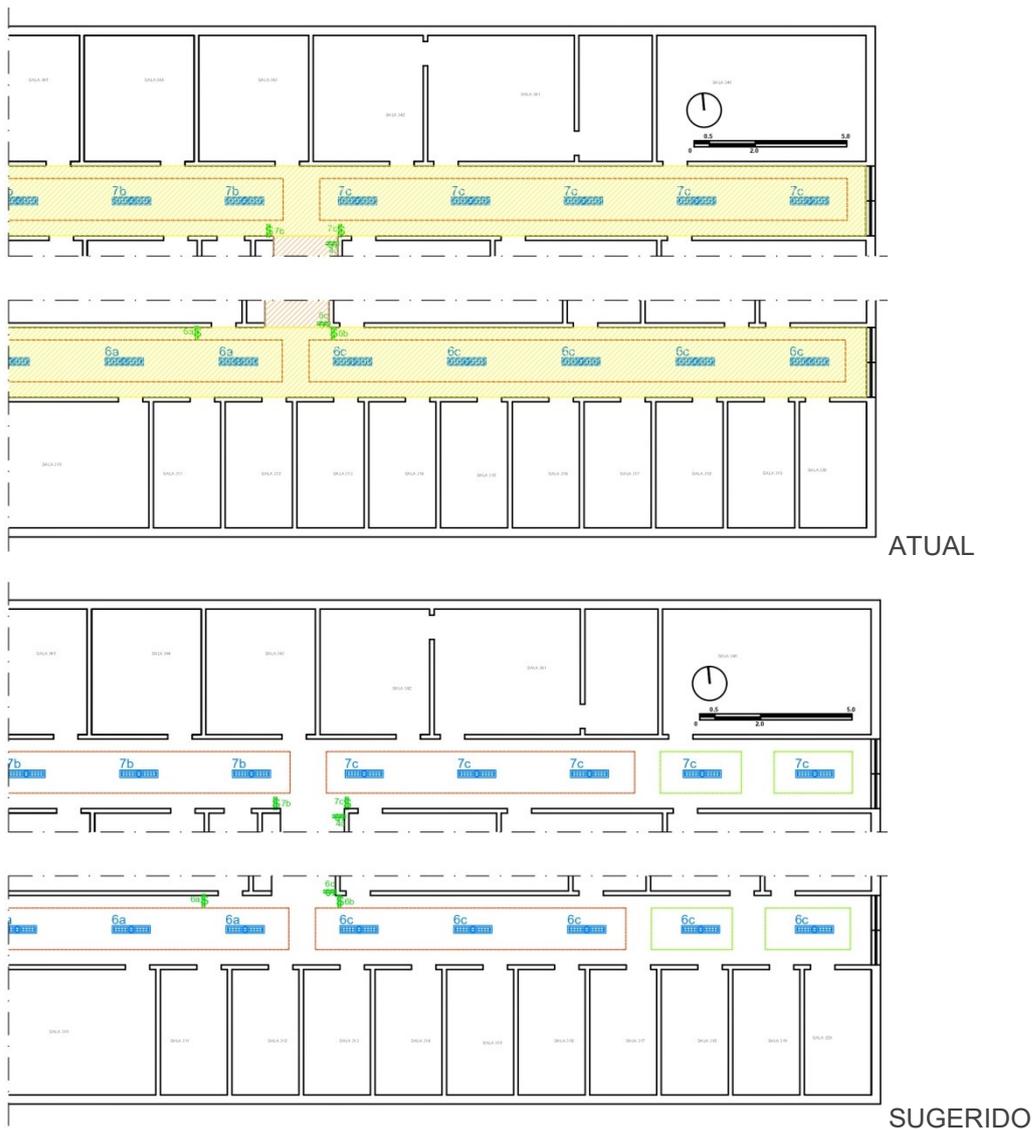


Figura 36: Planta de distribuição dos sistemas de acionamento e iluminação da circulação de salas no 2º pavimento. Fonte: Redesenho dos autores.

Na circulação próxima às rampas, foi analisado um conjunto de 20 luminárias para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W. O espaço possui a contribuição da luz natural por meio das aberturas laterais de ambos os lados, tanto na área das rampas como na circulação ao lado das mesmas. A divisão atual do acendimento dos sistemas de iluminação não permite o aproveitamento da luz natural como pode ser observado na situação atual da Figura 37.

Como sugestão, recomenda-se acrescentar mais dois sistemas de acendimento, dividindo as luminárias em dois blocos acompanhando a localização das aberturas laterais e mantendo as luminárias das pontas nos sistemas de acionamento existentes (circuitos 1A e 4B).

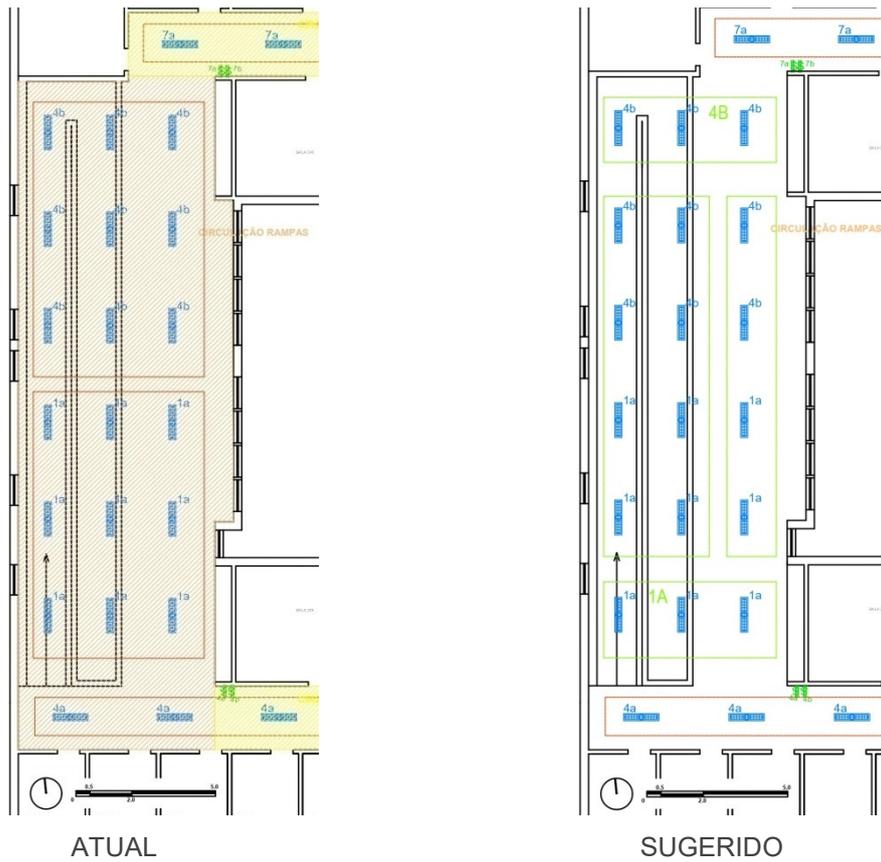


Figura 37: Planta de distribuição dos sistemas de acionamento e iluminação da circulação próxima às rampas no 2º pavimento. Fonte: Redesenho dos autores.

Na circulação próxima as escadas, temos a mesma situação dos outros pavimentos como pode ser observado na Figura 38, inclusive temos o mesmo quantitativo de luminárias tanto na circulação quanto nas escadas.



Figura 38: Planta de distribuição dos sistemas de acionamento e iluminação da circulação próxima às escadas no 2º pavimento. Fonte: Redesenho dos autores.

Nos três pavimentos, em todos os ambientes mencionados e analisados, o acendimento dos sistemas de iluminação artificial é acessível a todos os usuários: alunos, docentes e funcionários. Todos podem colaborar para a economia de energia dos edifícios do IAG.

5. Iluminação natural e artificial: Compatibilização e plano de gestão

Com base nos resultados das simulações de desempenho luminoso nas circulações, no levantamento arquitetônico e das possibilidades oferecidas pelos sistemas de acendimento e controle da iluminação artificial realizados, foi elaborada uma programação para a gestão eficiente energeticamente do sistema de iluminação.

Ao analisar o funcionamento diário do Instituto, foram contempladas as circulações das áreas comuns dos edifícios baseadas nas simulações computacionais nas quatro estações do ano nas condições de céu claro e céu encoberto. Como os usuários dos edifícios utilizam os sistemas de iluminação elétrica conscientemente, o edifício já economiza energia diariamente. Para otimizar o uso eficiente e consciente da energia elétrica gasto pelos sistemas de iluminação, foram sugeridas pequenas

alterações nos sistemas de acendimento da iluminação artificial já citadas anteriormente.

Os resultados das simulações de luz natural nas circulações do Edifício Principal foram tomados como referência para os espaços de circulações dos demais blocos do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas e, conseqüentemente para a elaboração da proposta de gestão dos sistemas de iluminação artificial desses espaços.

As Tabela 1 a Tabela 10 contêm as sugestões de horários para controle do sistema de iluminação artificial nas circulações do edifício para o período diurno e, quando houver necessidade, os sistemas de iluminação podem ser desligados ou acesos anterior ou posterior aos horários sugeridos, uma vez que o acesso ao controle dos sistemas de acendimento é acessível a todos os usuários: funcionários, docentes e discentes.

Em períodos de férias, por exemplo, algumas circulações ficam praticamente vazias, podendo ser desligadas por um intervalo de tempo ainda maior do que o proposto neste relatório. No período noturno, há algumas circulações que não são utilizadas, pois não há aulas, o que contribui também para reduzir o consumo de energia proposto. Entre os blocos do edifício, há muitas áreas que não possuem fechamento como portas e janelas, ficando essas, suscetíveis a entrada de animais como morcegos que são atraídas pela luz, então muitas das circulações já permanecem com os sistemas de iluminação desligados para não atrair esses animais, que produzem sujeira de fezes no interior dos edifícios.

É importante que uma campanha para a informação e conscientização de todos os grupos de usuários do edifício (funcionários não docentes, docentes, alunos e visitantes) sobre o potencial de aproveitamento da luz natural e de economia de energia em decorrência de um uso racional da iluminação artificial na grande maioria dos espaços do edifício, se faça necessário para a conquista de economias significativas de energia elétrica para os sistemas de iluminação artificial, no edifício como um todo.

JANEIRO / FEVEREIRO					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
Edifício Principal	Circulação rampas térreo – 2D	7:00	15:30	8:00	16:00
	Circulação escadas térreo – 3C	7:30	18:00	8:00	17:00
	Escadas térreo – 5C	7:30	17:00	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	6:00	17:30	8:00	17:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	6:00	18:30	8:00	15:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	6:00	18:30	8:00	17:00
	Circulação escadas 1º andar – 5C	6:30	19:00	6:30	18:30

	Circulação escadas 1º andar – 5B	10:00	17:00	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	6:30	19:00	8:00	16:00
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	18:30	6:30	18:00
	Circulação rampas 2º andar – 1C	6:30	17:00	11:00	14:00
	Circulação rampas 2º andar – 1A	6:30	13:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	6:30	17:30	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	19:00	6:30	18:30
	Circulação escadas 2º andar – 4C	12:00	19:00	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	6:30	19:00	8:00	16:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	18:00	7:00	18:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	7:00	12:00	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	18:00	7:00	18:00
	Circulação salas 330 a 351 – 7E	7:00	12:00	-	-
	Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas	7:30	18:00	8:00
Passarela edif. Principal para Bloco A		7:30	18:00	8:00	17:00
Hall elevadores Bloco D		7:30	18:00	8:00	17:00
Galeria Bloco G		7:30	18:00	8:00	17:00
Hall elevadores do Observatório		7:30	18:00	8:00	17:00

Tabela 1: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Janeiro e Fevereiro. Fonte: Elaborado pelos autores.

MARÇO					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
Edifício Principal	Circulação rampas térreo – 2D	7:30	15:30	8:00	15:00
	Circulação escadas térreo – 3C	8:00	17:30	8:00	16:00
	Escadas térreo – 5C	9:00	17:00	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	6:00	18:00	8:00	16:30
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	8:00	18:00	8:00	16:30
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	8:00	16:30	8:00	15:00
	Circulação escadas 1º andar – 5C	6:30	18:30	6:30	17:30
	Circulação escadas 1º andar – 5B	10:00	17:00	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	6:30	17:30	9:00	15:30
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	17:30	6:30	17:00
	Circulação rampas 2º andar – 1C	6:30	17:30	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 1A	8:00	12:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	8:00	16:00	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	18:30	6:30	17:30
	Circulação escadas 2º andar – 4C	12:00	17:30	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	6:30	17:30	9:00	16:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	17:00	8:00	17:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	7:00	12:00	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	17:00	8:00	17:00
	Circulação salas 330 a 351 – 7E	7:00	12:00	-	-
Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas	8:00	17:30	8:00	16:00
	Passarela edif. Principal para Bloco A	8:00	17:30	8:00	16:00
	Hall elevadores Bloco D	8:00	17:30	8:00	16:00
	Galeria Bloco G	8:00	17:30	8:00	16:00
	Hall elevadores do Observatório	8:00	17:30	8:00	16:00

Tabela 2: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Março. Fonte: Elaborado pelos autores.

ABRIL					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
6:30	17:30	7:30	14:30	9:00	15:00
	Circulação escadas térreo – 3C	8:00	17:00	8:30	16:30
	Escadas térreo – 5C	9:00	17:00	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	6:00	17:30	8:30	16:30
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	6:00	17:30	8:30	16:30
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	8:00	16:30	8:30	15:00
	Circulação escadas 1º andar – 5C	6:30	17:30	6:30	17:00
	Circulação escadas 1º andar – 5B	11:00	16:30	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	6:30	17:30	9:00	15:30
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	17:00	6:30	17:00
	Circulação rampas 2º andar – 1C	6:30	17:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 1A	8:00	12:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	8:00	16:00	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	17:30	6:30	17:30
	Circulação escadas 2º andar – 4C	12:00	17:00	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	6:30	17:30	9:00	15:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	16:30	8:00	16:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	7:00	11:60	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	16:30	8:00	16:00
	Circulação salas 330 a 351 – 7E	7:00	11:60	-	-
Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas	8:00	17:00	8:30	16:30
	Passarela edif. Principal para Bloco A	8:00	17:00	8:30	16:30
	Hall elevadores Bloco D	8:00	17:00	8:30	16:30
	Galeria Bloco G	8:00	17:00	8:30	16:30
	Hall elevadores do Observatório	8:00	17:00	8:30	16:30

Tabela 3: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Abril. Fonte: Elaborado pelos autores.

MAIO					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
Edifício Principal	Circulação rampas térreo – 2D	8:30	14:30	9:00	15:00
	Circulação escadas térreo – 3C	8:00	16:30	9:00	15:00
	Escadas térreo – 5C	10:00	16:00	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	8:00	16:00	8:30	16:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	8:00	17:00	8:30	16:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	9:30	16:00	10:00	15:00
	Circulação escadas 1º andar – 5C	6:30	17:30	7:30	17:00
	Circulação escadas 1º andar – 5B	11:00	16:00	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	8:00	17:00	10:00	15:00
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	17:00	8:00	16:00
	Circulação rampas 2º andar – 1C	8:00	17:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 1A	9:00	12:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	9:00	16:00	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	17:30	7:30	17:00
	Circulação escadas 2º andar – 4C	12:00	16:30	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	8:00	16:30	10:00	14:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	16:00	9:00	15:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	8:00	11:00	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	16:00	9:00	15:00
	Circulação salas 330 a 351 – 7E	8:00	11:00	-	-

Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas	8:00	16:30	9:00	15:00
	Passarela edif. Principal para Bloco A	8:00	16:30	9:00	15:00
	Hall elevadores Bloco D	8:00	16:30	9:00	15:00
	Galeria Bloco G	8:00	16:30	9:00	15:00
	Hall elevadores do Observatório	8:00	16:30	9:00	15:00

Tabela 4: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Maio. Fonte: Elaborado pelos autores.

JUNHO / JULHO					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
Edifício Principal	Circulação rampas térreo – 2D	8:30	14:30	10:00	14:30
	Circulação escadas térreo – 3C	9:00	16:30	9:00	15:00
	Escadas térreo – 5C	10:00	16:00	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	8:00	17:00	9:00	16:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	8:00	17:00	9:00	16:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	9:30	16:00	10:00	14:00
	Circulação escadas 1º andar – 5C	7:30	17:00	8:00	17:00
	Circulação escadas 1º andar – 5B	11:00	16:00	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	7:30	17:00	10:00	15:00
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	17:00	8:00	16:00
	Circulação rampas 2º andar – 1C	8:00	17:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 1A	9:00	12:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	9:00	16:00	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	17:30	8:00	17:00
	Circulação escadas 2º andar – 4C	13:00	16:00	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	8:00	17:30	10:00	14:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	16:00	9:00	15:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	9:00	11:00	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	16:00	9:00	15:00
	Circulação salas 330 a 351 – 7E	9:00	11:00	-	-
Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas	9:00	16:30	9:00	15:00
	Passarela edif. Principal para Bloco A	9:00	16:30	9:00	15:00
	Hall elevadores Bloco D	9:00	16:30	9:00	15:00
	Galeria Bloco G	9:00	16:30	9:00	15:00
	Hall elevadores do Observatório	9:00	16:30	9:00	15:00

Tabela 5: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Junho/Julho. Fonte: Elaborado pelos autores.

AGOSTO					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
Edifício Principal	Circulação rampas térreo – 2D	8:00	14:30	10:00	14:30
	Circulação escadas térreo – 3C	8:30	16:30	9:00	16:00
	Escadas térreo – 5C	9:30	16:00	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	8:00	17:30	8:30	16:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	8:00	17:30	8:30	16:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	8:00	16:30	10:00	14:00
	Circulação escadas 1º andar – 5C	7:30	17:30	8:00	17:00
	Circulação escadas 1º andar – 5B	12:00	16:00	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	7:30	17:30	10:00	15:00
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	17:00	7:30	17:00
	Circulação rampas 2º andar – 1C	8:00	17:00	-	-

	Circulação rampas 2º andar – 1A	8:00	12:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	8:00	16:00	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	17:00	7:30	17:00
	Circulação escadas 2º andar – 4C	13:00	16:00	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	8:00	17:00	9:30	15:30
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	16:00	9:00	15:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	8:00	11:00	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	16:00	9:00	15:00
	Circulação salas 330 a 351 – 7E	8:00	11:00	-	-
Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas	8:30	16:30	9:00	16:00
	Passarela edif. Principal para Bloco A	8:30	16:30	9:00	16:00
	Hall elevadores Bloco D	8:30	16:30	9:00	16:00
	Galeria Bloco G	8:30	16:30	9:00	16:00
	Hall elevadores do Observatório	8:30	16:30	9:00	16:00

Tabela 6: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Agosto. Fonte: Elaborado pelos autores.

SETEMBRO					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
Edifício Principal	Circulação rampas térreo – 2D	7:30	14:30	8:30	15:00
	Circulação escadas térreo – 3C	7:30	17:00	7:30	16:00
	Escadas térreo – 5C	8:30	16:30	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	7:00	17:30	8:00	16:30
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	7:00	17:30	8:00	16:30
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	7:00	16:30	9:00	14:30
	Circulação escadas 1º andar – 5C	6:30	17:30	6:30	17:30
	Circulação escadas 1º andar – 5B	11:00	16:00	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	6:30	17:30	9:00	15:00
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	17:30	6:30	17:00
	Circulação rampas 2º andar – 1C	6:30	17:30	11:00	13:00
	Circulação rampas 2º andar – 1A	8:00	12:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	8:00	16:00	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	17:00	6:30	17:30
	Circulação escadas 2º andar – 4C	12:00	17:00	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	6:30	17:30	9:00	15:30
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	17:00	8:00	16:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	7:00	11:00	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	17:00	8:00	16:00
Circulação salas 330 a 351 – 7E	7:00	11:00	-	-	
Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas	7:30	17:00	7:30	16:00
	Passarela edif. Principal para Bloco A	7:30	17:00	7:30	16:00
	Hall elevadores Bloco D	7:30	17:00	7:30	16:00
	Galeria Bloco G	7:30	17:00	7:30	16:00
	Hall elevadores do Observatório	7:30	17:00	7:30	16:00

Tabela 7: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Setembro. Fonte: Elaborado pelos autores.

OUTUBRO					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
Edifício Principal	Circulação rampas térreo – 2D	7:00	15:00	8:00	15:00
	Circulação escadas térreo – 3C	7:30	17:30	7:30	16:30
	Escadas térreo – 5C	8:00	17:00	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	7:00	16:30	7:00	16:30
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	6:00	17:30	7:00	16:30
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	6:00	17:30	9:00	14:30
	Circulação escadas 1º andar – 5C	6:30	17:30	6:30	17:30
	Circulação escadas 1º andar – 5B	10:30	17:30	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	6:30	17:30	9:00	15:00
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	17:30	6:30	17:00
	Circulação rampas 2º andar – 1C	6:30	17:30	11:00	13:00
	Circulação rampas 2º andar – 1A	6:30	12:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	6:30	16:00	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	18:30	6:30	17:30
	Circulação escadas 2º andar – 4C	12:00	17:00	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	6:30	17:00	8:00	15:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	17:00	7:00	16:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	7:00	11:00	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	17:00	7:00	16:00
	Circulação salas 330 a 351 – 7E	7:00	11:00	-	-
Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas	7:30	17:30	7:30	16:30
	Passarela edif. Principal para Bloco A	7:30	17:30	7:30	16:30
	Hall elevadores Bloco D	7:30	17:30	7:30	16:30
	Galeria Bloco G	7:30	17:30	7:30	16:30
	Hall elevadores do Observatório	7:30	17:30	7:30	16:30

Tabela 8: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Outubro. Fonte: Elaborado pelos autores.

NOVEMBRO					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
Edifício Principal	Circulação rampas térreo – 2D	6:30	15:00	8:00	16:00
	Circulação escadas térreo – 3C	6:30	17:30	7:00	16:30
	Escadas térreo – 5C	8:00	17:00	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	6:00	17:30	7:00	17:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	6:00	18:30	7:00	17:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	6:00	18:30	9:00	15:00
	Circulação escadas 1º andar – 5C	6:30	18:30	6:30	18:00
	Circulação escadas 1º andar – 5B	10:00	17:30	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	6:30	18:30	8:00	16:00
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	17:30	6:30	17:30
	Circulação rampas 2º andar – 1C	6:30	17:30	11:00	13:00
	Circulação rampas 2º andar – 1A	6:30	12:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	6:30	16:00	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	18:30	6:30	17:30
	Circulação escadas 2º andar – 4C	12:00	17:00	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	6:30	18:30	8:00	16:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	17:00	7:00	17:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	7:00	11:00	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	17:00	7:00	17:00
	Circulação salas 330 a 351 – 7E	7:00	11:00	-	-

Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas	6:30	17:30	7:00	16:30
	Passarela edif. Principal para Bloco A	6:30	17:30	7:00	16:30
	Hall elevadores Bloco D	6:30	17:30	7:00	16:30
	Galeria Bloco G	6:30	17:30	7:00	16:30
	Hall elevadores do Observatório	6:30	17:30	7:00	16:30

Tabela 9: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Novembro. Fonte: Elaborado pelos autores.

DEZEMBRO					
AMBIENTES		CÉU CLARO		CÉU ENCOBERTO	
		Apagar	Acender	Apagar	acender
Edifício Principal	Circulação rampas térreo – 2D	6:30	15:00	8:00	16:00
	Circulação escadas térreo – 3C	6:30	18:00	7:00	17:00
	Escadas térreo – 5C	8:00	17:00	-	-
	Entrada e circulação 1º andar – 2C	6:00	17:30	7:00	17:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4A	6:00	18:30	7:00	17:00
	Entrada e circulação 1º andar – 4B	6:00	18:30	8:00	16:00
	Circulação escadas 1º andar – 5C	6:30	18:30	6:30	18:00
	Circulação escadas 1º andar – 5B	10:00	17:30	-	-
	Escadas 1º andar – 5D	6:30	18:30	8:00	16:00
	Circulação rampas 2º andar – 1B	6:30	17:30	6:30	18:00
	Circulação rampas 2º andar – 1C	6:30	17:30	11:00	14:00
	Circulação rampas 2º andar – 1A	6:30	12:00	-	-
	Circulação rampas 2º andar – 4B	6:30	16:30	-	-
	Circulação escadas 2º andar – 6C	6:30	18:30	6:30	18:30
	Circulação escadas 2º andar – 4C	12:00	17:00	-	-
	Escadas 2º andar – 5D	6:30	18:30	8:00	16:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6D	7:00	17:00	7:00	17:00
	Circulação salas 301 a 309 – 6E	7:00	12:00	-	-
	Circulação salas 330 a 351 – 7D	7:00	17:00	7:00	17:00
	Circulação salas 330 a 351 – 7E	7:00	12:00	-	-
Demais edifícios	Hall elevadores e passarelas (Adm)	6:30	18:00	7:00	17:00
	Passarela edif. Principal para Bloco A	6:30	18:00	7:00	17:00
	Hall elevadores Bloco D	6:30	18:00	7:00	17:00
	Galeria Bloco G	6:30	18:00	7:00	17:00
	Hall elevadores do Observatório	6:30	18:00	7:00	17:00

Tabela 10: Programação para gestão da iluminação artificial para o mês de Dezembro. Fonte: Elaborado pelos autores.

Para os demais sistemas de acendimento, é necessário manter os sistemas de iluminação elétrica acesos para complementar o nível de iluminância ideal nos ambientes. Na maioria dos espaços, a sugestão é desligar o sistema de iluminação artificial às 6:00/6:30hs, no entanto, pelo uso do edifício é possível observar que em muitos ambientes, antes desse horário os sistemas de iluminação já estão desligados.

6. Considerações finais: Economia de Energia

Com base no levantamento das características e especificações dos sistemas de iluminação artificial e suas rotinas de uso e operação e, na proposta de gestão dos sistemas de iluminação artificial apresentadas no capítulo anterior, foram calculadas as possíveis economias de energia a serem alcançadas com um uso mais eficiente da iluminação elétrica nas circulações analisadas.

Inicialmente, foram calculadas as potências totais de energia por ambiente, apresentadas na Tabela 11. Na sequência, são mostrados os valores de consumo de energia para o cenário atual e o de gestão de eficiente energética, como os valores referentes à consequente economia de energia (kWh) e financeira. A Tabela 12 é referente ao verão, a Tabela 13 ao outono, a Tabela 14 ao inverno e a Tabela 15 à primavera.

Diferente do plano de gestão, os cálculos de economia foram realizados por estações do ano para uma análise comparativa. De acordo com a análise dos dados climáticos de São Paulo feita por Marcondes-Cavaleri et al. (2018) foram assumidas as seguintes condições de céu para cada estação do ano: céu claro por todo o tempo para os períodos de outono, primavera e verão e céu claro por 2/3 do tempo e céu encoberto por 1/3 do tempo durante o inverno. No período de verão, temos os maiores valores de iluminância no céu e, conseqüentemente, quando se pode alcançar a maior independência da iluminação elétrica.

Para compreender a economia de energia de cada bloco do IAG, as informações das circulações das rampas, escadas e sala de aula serão agrupadas em Circulações do Edifício Principal.

POTÊNCIA TOTAL DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL				
AMBIENTES	Sistemas de Iluminação	Potência individual (W)	Qtde	Potência Total (W)
Circulação rampas e Entrada	Luminárias 2x32W	65	55	3575
Circulação escadas	Luminárias 2x32W	65	18	1170
	Luminárias 1x32W	33	6	198
Circulação salas Principal 2º andar	Luminárias 2x32W	65	25	1635
Hall elevadores e passarela (Adm)	Luminárias 2x32W	65	24	1560
Passarela Principal para Bloco A	Luminárias 1x20W	20	16	320
Hall elevadores Bloco D	Luminárias 2x32W	65	6	390
Galeria Bloco G	Luminárias 2x12W	24	10	240
Hall de elevadores Observatório	Luminárias 2x32W	65	6	380
	Luminárias 2x12W	24	8	192

Tabela 11: Potencial total dos sistemas de iluminação artificial por ambiente analisado. Fonte: Elaborado pelos autores.

VERÃO (dezembro, janeiro e fevereiro)					
Circulações	Consumo atual (kWh)	Consumo sugerido (kWh)	Economia (kWh)	Economia R\$	Economia %
Edifício Principal	5.131,04	4.013,51	1.117,53	R\$ 598,78	22%
Edifício Administração	848,64	466,44	382,20	R\$ 204,79	45%
Bloco A (passarela)	174,08	95,68	78,40	R\$ 42,01	45%
Bloco D (Hall elevadores)	212,16	116,61	95,55	R\$ 51,20	45%
Bloco G	532,29	445,07	87,22	R\$ 46,73	16%
TOTAL	6.898,21	5.137,31	1.760,90	R\$ 943,51	26%

Tabela 12: Economia no consumo de energia dos sistemas de iluminação artificial para o verão. Fonte: Elaborado pelos autores

OUTONO (março, abril e maio)					
Circulações	Consumo atual (kWh)	Consumo sugerido (kWh)	Economia (kWh)	Economia R\$	Economia %
Edifício Principal	5.291,39	4.556,36	735,03	R\$ 393,84	11%
Edifício Administração	875,16	670,02	205,14	R\$ 109,92	21%
Bloco A (passarela)	179,52	137,44	42,08	R\$ 22,55	21%
Bloco D (Hall elevadores)	218,79	167,51	51,29	R\$ 27,48	21%
Bloco G	548,92	513,28	35,64	R\$ 19,10	4%
TOTAL	7.113,78	6.044,60	1.069,18	R\$ 572,88	12%

Tabela 13: Economia no consumo de energia dos sistemas de iluminação artificial para o outono. Fonte: Elaborado pelos autores

INVERNO (junho, julho e agosto)					
Circulações	Consumo atual (kWh)	Consumo sugerido (kWh)	Economia (kWh)	Economia R\$	Economia %
Edifício Principal	5.443,05	5.399,81	43,25	R\$ 23,17	0,8%
Edifício Administração	909,48	896,74	12,74	R\$ 6,83	1,4%
Bloco A (passarela)	186,56	183,95	2,61	R\$ 1,40	1,4%
Bloco D (Hall elevadores)	227,37	224,19	3,19	R\$ 1,71	1,4%
Bloco G	559,66	559,66	0,00	R\$ 0,00	0%
TOTAL	7.326,12	7.264,34	61,78	R\$ 33,10	0,8%

Tabela 14: Economia no consumo de energia dos sistemas de iluminação artificial para o inverno. Fonte: Elaborado pelos autores

PRIMAVERA (setembro, outubro e novembro)					
Circulações	Consumo atual (kWh)	Consumo sugerido (kWh)	Economia (kWh)	Economia R\$	Economia %
Edifício Principal	5.211,21	4.277,22	934,00	R\$ 500,45	18%
Edifício Administração	861,90	538,98	322,92	R\$ 173,02	37%
Bloco A (passarela)	176,80	110,56	66,24	R\$ 35,49	37%
Bloco D (Hall elevadores)	215,48	134,75	80,73	R\$ 43,26	37%
Bloco G	540,61	477,04	63,56	R\$ 34,06	12%
TOTAL	7.005,99	5.538,54	1.467,45	R\$ 786,27	21%

Tabela 15: Economia no consumo de energia dos sistemas de iluminação artificial para a primavera. Fonte: Elaborado pelos autores

Vale ressaltar que a economia em relação ao uso da iluminação elétrica pode ser ainda maior do que a estimada para a proposta de gestão para a eficiência energética no período de férias e dias que algumas salas não são totalmente ocupadas, como é o caso das circulações do Bloco G onde o auditório desse bloco está momentaneamente sendo utilizado para algumas aulas. O consumo calculado é referente aos dias úteis de cada mês.

Segundo dados fornecidos da Superintendência do Espaço Físico (SEF) da USP, o valor pago em maio de 2021 foi de R\$ 0,53581/kWh. Aplicando esse valor às economias de energia apresentadas nas Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15, em um ano típico, considerando apenas os dias da semana, a economia de energia gerada no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas em função do uso eficiente e consciente dos sistemas de iluminação artificial, nas principais circulações dos edifícios chega a aproximadamente R\$ 2.300,00 anual.

Analisando as tabelas de gestão de energia, observa-se que as maiores economias acontecem no período de verão, totalizando 26% de redução no consumo energético relacionado aos sistemas de iluminação artificial desses ambientes, em contrapartida, no inverno a economia é de apenas 0,8%, ou seja, a gestão de energia atual funciona como se o edifício estivesse no período de inverno 100% de seu tempo. No total, a economia de energia anual do Instituto fica em média 15%.

Como o edifício já possui uma gestão de energia em algumas áreas, a economia de energia encontrada é resultado de uma sugestão de *retrofit* nos sistemas de acendimento da iluminação elétrica. Caso os usuários do edifício ainda não utilizassem os sistemas de iluminação artificial de maneira consciente, teríamos um gasto anual de aproximadamente 39.000 kW ao invés de cerca de 28.000 kW atuais, gerando uma economia anual de aproximadamente 40% de economia nos ambientes estudados.

Assim, é possível concluir que uma gestão mais eficiente dos sistemas de iluminação artificial, aliado ao aproveitamento da luz natural, tem o potencial de trazer reduções do consumo de energia elétrica.

Agradecimentos:

À Superintendência de Gestão Ambiental pela bolsa concedida para a realização desta pesquisa na gestão do prof. Dr. Tércio Ambrizzi;

Ao diretor Prof. Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG-USP) por ter permitido realizar a pesquisa no Instituto, ao Sr. Lázaro da Silva Valério e Sr. Wellington pelas informações sobre o funcionamento do IAG-USP;

Ao Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU-USP) pelo empréstimo dos equipamentos de medição;

À Superintendência do Espaço Física (SEF-USP) pelos dados de arquitetura cedidos;

Ao Instituto de Energia e Ambiente (IEE-USP) pelos dados climáticos cedidos;

E ao apoio das docentes: Prof. Dra. Roberta Consentino Kronka Mülfarth da FAU-USP, Prof. Marcelo de Andrade Romero da FAU-USP e Prof. Dra. Joana Carla Soares Gonçalves da Architectural Association School of Architecture de Londres pelo grande incentivo a esta pesquisa.

7. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15215: Iluminação natural. Parte 4 – Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Métodos de medição.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento passivo para habitações de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior.** Rio de Janeiro, 2013

MARCONDES-CAVALEIR, M.; CUNHA, G.; GONÇALVES, J. (2018). **Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo.***Daylight performance of office buildings: a dynamic evaluation for the case os São Paulo.* In: PARC, Pesquisa em Arquitetura e Construção, v.9, p.19-34. Campinas: UNICAMP.

MARDALJEVIC J., ANDERSEN M., ROY N., CHRISTOFFERSEN J..**Daylighting Metrics: Is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?** In: Proceeding of the Building Simulation and Optimization Conference BSO12, Loughborough, UK, 2011.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. **História do IAG**. Revisado em 12 de Agosto de 2021. Acesso em junho/2022, disponível em: <<https://www.iag.usp.br/hist%C3%B3ria-do-iag>>