

Fábio Honório de Oliveira

Sustentabilidade e eficiência energética:  
Estudo de caso da Biblioteca Digital da PUC Minas

Belo Horizonte  
Escola de Arquitetura da UFMG  
2014

Fábio Honório de Oliveira

Sustentabilidade e eficiência energética:  
Estudo de caso da Biblioteca Digital da PUC Minas

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Belo Horizonte  
Escola de Arquitetura da UFMG  
2014



## **AGRADECIMENTOS**

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente:

A Deus, pela saúde e luz em nossas vidas.

A todos os professores e amigos pela rica troca de experiências.

À professora Roberta Vieira pelas orientações e incentivo.

## RESUMO

Sustentabilidade pode ser definida como o uso consciente dos recursos naturais, preservando-os em quantidade suficiente para garantir que as gerações futuras tenham uma qualidade de vida semelhante à da geração atual (SILVA, 2013). A construção civil em todas as suas fases – construção, ocupação e demolição – é a grande responsável por impactos ambientais negativos causados ao planeta, principalmente pelo alto consumo do volume de água e energia (LUCAS, 2011). Devido à preocupação com o desenvolvimento sustentável e com a gestão dos recursos naturais, sistemas de reconhecimento de práticas sustentáveis a nível global foram criados, tais como o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), HQE (Haute Qualité Environnementale) e outros, bem como certificações em âmbito nacional como o Etiqueta PBE Edifica (Programa Brasileiro e Etiquetagem) um dos subprogramas do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia) e o Selo Azul da Caixa Econômica Federal (SILVA, 2013). A presente monografia de especialização tem o objetivo de avaliar dois sistemas de certificação usados no Brasil, a certificação LEED e a Etiqueta PBE Edifica, através do estudo de caso do Projeto da Biblioteca Digital da PUC Minas em Belo Horizonte, destacando a importância do envolvimento multidisciplinar das equipes do projeto. O resultado pretendido é uma verificação da certificação LEED e a Etiqueta PROCEL aplicados no projeto e uma descrição de como o processo projetual pode contribuir para edificações mais sustentáveis. O estudo tem caráter descritivo e o método de pesquisa adotado será a análise de fontes diretas e indiretas através da análise da documentação existente (memoriais descritivos, projetos executivos e entrevistas com os profissionais das diversas equipes envolvidas no projeto da Biblioteca Digital) e a aplicação da Etiqueta PBE Edifica. Enfim, a pesquisa mostrará o resultado da aplicação da Etiqueta comparada à certificação LEED segundo a eficiência energética e mostrar o processo de implementação dos princípios sustentáveis nas várias etapas de elaboração do projeto.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Certificação. Eficiência energética.

## **ABSTRACT**

Sustainability could be defined as the conscious use of natural resources, preserving them in sufficient quantity to ensure that future generations have a quality of life similar to the current generation (SILVA, 2013). The construction industry in all its phases - construction, occupation and demolition - is largely responsible for negative environmental impacts on the planet, mainly by high consumption of energy and water volume (LUCAS, 2011). Due to concerns with sustainable development and with natural resource management, recognition systems to sustainable practices at global level were created, such as LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), HQE (Haute Qualité Environnementale) and others, as well as certifications nationwide as the Etiqueta PBE Edifica (Programa Brasileiro e Etiquetagem), that is a sub-program of PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia) and the Selo Azul of Caixa Econômica Federal (SILVA, 2013). This monograph aims to evaluate two certification systems used in Brazil, LEED and Etiqueta PBE Edifica, through the case study of the PUC Minas's. Digital Library Project in Belo Horizonte, highlighting the importance of the multidisciplinary project teams involvement. The intended result is a verification of LEED certification and Etiqueta PROCEL applied in the project and a description of how the design process can contribute to more sustainable buildings. The study has a descriptive character and the research method adopted will be the analysis of direct and indirect sources and literature review, through the analysis of existing documentation (descriptive memorials, executive projects and interviews with professionals from the various teams involved in the Digital Library Project) and the application of Etiqueta PBE Edifica. Finally, the research will show the applying result of the Etiqueta PBE compared to LEED certification according to the energy efficiency and show the implementation process of sustainable principles in various stages of project design.

**Keywords:** Sustainability. Certification. Energy efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Maquete física da Biblioteca Digital PUC Minas .....	18
Figura 2 - Ventos dominantes .....	19
Figura 3 - Corte esquemático e elevação típica - Fachada Norte .....	20
Figura 4 - Fachada Norte .....	20
Figura 5 - Fachada Sul.....	21
Figura 6 - Fachada Oeste .....	21
Figura 7 - Fachada Leste .....	22
Figura 8 - Corte Leste-Oeste.....	23
Figura 9 - Corte Norte-Sul .....	23
Figura 10 - Perspectiva explodida.....	24
Figura 11 - Etiqueta parcial - Envoltória e Sistema de iluminação .....	26
Figura 12 - Corte esquemático da parede.....	27
Figura 13 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - Subsolo.....	37
Figura 14 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - Térreo .....	37
Figura 15 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - Mezanino .....	38
Figura 16 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - 1º Pavimento .....	38
Figura 17 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - 2º Pavimento .....	39
Figura 18 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - 3º pavimento.....	39
Figura 19- Fotometria da luminária MBS341.....	41
Figura 20 - Fotometria da luminária MCS350 .....	41
Figura 21 - Projeto luminotécnico e layout – 3º pavimento .....	43
Figura 22 - Nível de eficiência proposto - Subsolo.....	45
Figura 23 - Nível de eficiência proposto - Térreo .....	46
Figura 24 - Nível de eficiência proposto - Mezanino .....	46
Figura 25 - Nível de eficiência proposto - 1º Pavimento.....	47
Figura 26 - Nível de eficiência proposto - 2º Pavimento.....	47
Figura 27 - Nível de eficiência proposto - 3º Pavimento.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo de áreas.....	30
Tabela 2 - Área envidraçada das fachadas.....	30
Tabela 3 - Índice de consumo máximo, mínimo e intervalo .....	32
Tabela 4 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.....	32
Tabela 5- Densidade de potência instalada .....	34

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
A<sub>env</sub> – Área da envoltória  
AHS – Ângulo Horizontal de Sombreamento  
A<sub>pcob</sub> – Área de projeção da cobertura  
AVS – Ângulo de Sombreamento Vertical  
BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method  
e: espessura  
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia  
FA – Fator de Altura  
FF – Fator de Forma  
FS – Fator Solar  
HQE – Haute Qualité Environnementale  
IC<sub>env</sub> – Indicador de Consumo da envoltória  
IC<sub>máx</sub> – Indicador de Consumo máximo  
IC<sub>máxD</sub> – Indicador de Consumo máximo para a classificação D  
IC<sub>mín</sub> – Indicador de Consumo mínimo  
LEED – Leadership in Energy and Environmental Design  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PAF<sub>o</sub> – Percentual de Abertura na Fachada Oeste  
PAFT – Área Abertura da Fachada total  
PAZ – Percentual de Abertura Zenital  
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem  
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia  
PUC Minas – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
R<sub>ar</sub>: Resistência térmica do ar  
R<sub>se</sub>: Resistência superficial externa  
R<sub>si</sub>: Resistências superficial interna  
R<sub>t</sub>: resistência térmica de superfície a superfície  
RT: Resistência térmica total  
RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos  
U - Transmitância

USGBC – United States Green Building Council

$V_{tot}$  – Volume total

$\alpha$  – absorptância

$\lambda$ : Condutividade Térmica

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 Objetivo geral.....	12
1.2 Objetivo específico.....	12
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1 Construção sustentável.....	14
2.2 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).....	15
2.3 PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica).....	15
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
3.1 Objeto de estudo.....	17
3.2 A certificação LEED.....	24
3.3 A Etiqueta PBE Edifica aplicada ao estudo de caso.....	25
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
4.1 Envoltória.....	27
4.1.1 <i>Determinação da transmitância</i> .....	27
4.1.2 <i>Percentual de Abertura Zenital (PAZ)</i> .....	29
4.1.3 <i>Indicador de Consumo da Envoltória (ICenv)</i> .....	29
4.2 Sistema de iluminação.....	32
4.2.1 <i>Pré-requisitos</i> .....	33
4.3 Resultados e Discussão.....	42
<b>5 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA AUMENTAR O NÍVEL DE EFICIÊNCIA</b> .....	<b>44</b>
5.1 Envoltória.....	44
5.2 Sistema de iluminação.....	44
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>49</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Para Montes (2005) a conservação do ambiente construído não é considerada na prática de projeto do ambiente construído como algo vital para a sobrevivência humana tanto pela falta de consciência do papel do arquiteto dentro do processo projetual, como pela falta de bases teóricas e práticas para uma arquitetura sustentável, porém, se percebe a mudança dessa realidade, pois empresas de projetos começam a trabalhar com uma visão de projeto sustentável e uma evolução do pensamento dos edifícios verdes para os edifícios sustentáveis. Na arquitetura o projeto ecológico se traduz em construir com um impacto ambiental mínimo e, se for possível, construir para o alcance do efeito contrário, ou seja, criar edifícios com consequências positivas, produtivas e reparadoras para o ambiente natural, pensando a edificação no seu ciclo de vida completo: produção, construção, funcionamento e recuperação.

De acordo com Silva (2013) a sustentabilidade é o uso de modo consciente dos recursos naturais, preservando-os em quantidade suficiente, para garantir que as gerações futuras tenham uma qualidade de vida semelhante à da geração atual e

“diferente do pensamento das gerações anteriores, os recursos naturais são finitos e a maioria deles não renováveis, logo, se usados de forma não sustentável, não estarão disponíveis para as futuras gerações, além de isso poder causar danos irreparáveis à natureza, mesmo em se tratando de recursos utilizados para satisfazer as necessidades básicas da população, como alimentos, transporte e habitação. (MONTES, 2005).”

Para Lucas (2011) a construção civil em todas as suas fases é a grande responsável por impactos ambientais negativos causados ao planeta, principalmente pelo alto consumo do volume de água e energia. Com a preocupação do desenvolvimento sustentável e gestão dos recursos naturais foram criados sistemas de reconhecimento de práticas sustentáveis em nível global como o LEED, BREEAM e o HQE e as certificações em âmbito nacional como a Etiqueta PBE Edifica um dos subprogramas do PROCEL e o Selo Azul da Caixa Econômica Federal. (SILVA, 2013).

Visando o uso de princípios sustentáveis em projetos de arquitetura, propôs-se fazer um estudo de caso da Biblioteca Digital da PUC Minas a ser construída na cidade de Belo Horizonte. O projeto a princípio foi desenvolvido dentro dos moldes de uma arquitetura sustentável. Realizada a análise do projeto, pretende-

se verificar de acordo com os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, juntamente com a certificação LEED, se as soluções técnicas adotadas no projeto são as mais adequadas e em qual nível atendem ao processo de avaliação.

### **1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é uma análise comparativa entre a certificação LEED e a Etiqueta PROCEL dentro do parâmetro comum entre eles, a eficiência energética e também mostrar como o processo projetual pode gerar em edificações mais sustentáveis através do estudo de caso do projeto do edifício Biblioteca Digital da PUC Minas anexo a ser construído próximo à biblioteca existente.

### **1.2 Objetivo específico**

Os objetivos específicos foram definidos através da análise prévia dos projetos executivos, destacando:

- Verificar o nível de certificação do objeto em estudo conforme a certificação LEED;
- Verificar o nível de eficiência energética do objeto de estudo conforme os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C;
- Verificar alternativas que podem aumentar o nível de eficiência e;
- Identificar no projeto os princípios sustentáveis adotados;

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

De acordo com Araújo (2008), foi a partir da Revolução Industrial, a natureza vai pouco a pouco deixando de existir para dar lugar a um meio ambiente transformado, produzido pelo homem que passa a dominá-lo, dando origem à natureza modificada com seus rios canalizados, solos cobertos por asfalto, vegetação nativa completamente devastada, assim como a fauna original da área, etc., que é muito diferente da paisagem natural sem intervenção humana. A industrialização acompanhada da urbanização causou grandes impactos ambientais nas cidades em que se processou com maior intensidade.

O Brasil passou por dois fenômenos que merecem destaque quando se fala de ambientes urbanos: a rápida industrialização, a partir do pós-guerra, e a urbanização acelerada que se seguiu. No curso desse processo, reflexo das políticas desenvolvimentistas então vigentes, uma série de regras de proteção ao meio ambiente e ao cidadão foram desrespeitadas ou mesmo desconsideradas. (ARAÚJO, et al, 2008).

A crise mundial do petróleo dos anos 70 promove uma maior preocupação com relação ao consumo de energia, então foram levantados recursos para investimentos em projetos de eficiência energética e fontes alternativas de energia. No Brasil, o Programa Conserve, criado em 1981, foi o primeiro esforço significativo do governo em termos de conservação de energia no país. (BRASIL, 2012).

Para Valente (2009), a partir da década de 1970 a capacidade do planeta em suprir as necessidades humanas vieram a discussão em níveis mundiais através da Conferência Internacional em Estocolmo. Em 1987 a Comissão Mundial da Organização das Nações Unidas (ONU) criou o relatório de Brundtland que apresentou estudos baseados no desenvolvimento sustentável com a proposta de conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. Após a Conferência Internacional de Estocolmo e o Relatório de Brundtland aconteceram outros eventos com o intuito de discutir a sustentabilidade como a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Eco 92, que gerou documentos oficiais como a Carta da Terra e Agenda 21, em seguida foram realizadas a Rio +5, a Rio +10 e a Rio +20.

Na Eco 92 os países se comprometeram em promover um desenvolvimento que atendesse as suas necessidades atuais sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas. Tal comprometimento foi baseado em três princípios: o primeiro é a análise da totalidade do ciclo de vida dos materiais, o segundo é desenvolvimento do uso de matérias primas e energias renováveis e por último, a redução das quantidades de materiais e energia utilizados na extração de recursos naturais, sua exploração e destruição ou reciclagem dos resíduos. (MONTES, 2005).

De acordo com Silva (2013) a sustentabilidade pode ser definida em aspecto global pela “utilização de maneira consciente dos recursos naturais preservando em quantidade suficiente, para garantir que as gerações futuras tenham uma qualidade de vida semelhante a da geração atual”.

A construção civil é um setor que se sobressai devido ao consumo elevado de recursos naturais e conseqüentemente a geração de resíduos, se tornando uma atividade econômica impactante. A construção sustentável deve estar atenta a geração, reutilização, reciclagem e a correta destinação de seus resíduos. (SÃO PAULO, 2013).

De acordo com Batista, *et al* (200[?]) percebe-se que na

“construção civil internacional a tendência de considerar o meio ambiente já está presente não só pelas leis e normas a serem seguidas, mas pela escassez de recursos que exige melhor controle e uso racional dos materiais. Além disso, incentivos fiscais são concedidos a empresas que incluem entre as suas estratégias a preocupação com o meio ambiente. É dentro desta perspectiva que aparecem as chamadas edificações sustentáveis, concebidas para fazer o uso racional de recursos naturais, utilizar materiais ecologicamente corretos e alterar o mínimo possível o ambiente no qual estão inseridas. O primeiro ponto a se considerar na busca deste tipo de edificação é que as preocupações devem começar desde o projeto, prosseguirem durante a construção e participarem da etapa de utilização.”

## 2.1 Construção sustentável

Para a arquiteta Maria Fujihara [200?] “construção sustentável é o edifício ou espaço construído que teve na sua concepção, construção e operação o uso de conceitos e procedimentos reconhecidos de sustentabilidade ambiental, proporcionando benefícios econômicos, na saúde e bem estar das pessoas”. Ainda no conceito de *Green Building* destacam-se as prioridades para a sustentabilidade ambiental proporcionando benefícios econômicos, na saúde e bem estar. Dentre as

prioridades pode se destacar o estudo de viabilidade do negócio, a localização, o estudo de concepção, o projeto executivo, o projeto executivo, construção, a operação, a manutenção, a geração e a remoção de resíduos.

## **2.2 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)**

A certificação LEED criado pelo USGBC (United States Green Building Council) em 1998 define o grau de preocupação ambiental de sustentabilidade do edifício. Essa certificação define diretrizes que visam melhorar o desempenho ambiental e econômico do edifício. (BARBOSA, *et al*, 2009). O LEED tem o objetivo de avaliar edificações estabelecendo um padrão comum de medida, promover a prática de um desenho integrado com o todo, reconhecer líderes ambientais na indústria, estimular a competição verde, elevar a consciência dos benefícios das edificações verdes e transformar o mercado imobiliário. (MONTES, 2005)

## **2.3 PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica)**

O baixo nível de água dos reservatórios e a falta de investimento no setor energético foram fatores decisivos para que o Brasil passasse pela crise energética de 2001. Apenas depois da crise energética, em 2003 foi criado a Etiqueta PBE Edifica que trata da eficiência energética das edificações implantando atividades de pesquisas e apoio a produção de novas tecnologias, materiais e sistemas construtivos estimulando o desenvolvimento de equipamentos eficientes usados em edificações (BRASIL, 2012).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL, visa a eficiência e o uso racional de energia elétrica. Ele se expandiu para o setor da construção com o intuito de aumentar a eficiência energética em edifícios públicos e privados de serviço e depois foi aplicado a edifícios residenciais. O PROCEL é subdividido nos subprogramas:

- PROCEL Edifica;
- PROCEL Avaliação;
- PROCEL Educação;
- PROCEL EPP (Eficiência Energética de Prédios Públicos);

- PROCEL GEM (Gestão Energética Municipal);
- PROCEL Indústria;
- PROCEL Info;
- PROCEL Marketing;
- PROCEL Reluz;
- PROCEL Sanear;
- PROCEL Selo

Dos subprogramas citados acima o PROCEL Edifica e o PROCEL Selo se relacionam diretamente à eficiência energética em edificações e atestam a eficiência energética para equipamentos elétricos e a eficiência em edifícios. (SILVA 2013).

Para essa análise será importante destacar que a comparação será focada em aspectos comum aos dois métodos, LEED e PROCEL, a eficiência energética dos edifícios e logo após desenvolver um estudo de caso sobre a Biblioteca Digital da PUC Minas, prédio que receberá a certificação LEED.

### 3 METODOLOGIA

As metodologias utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho foram:

- Revisão da literatura e pesquisa bibliográfica dos diferentes tipos de certificações utilizadas no Brasil;
- Definição dos métodos de avaliação a serem aplicados ao objeto de estudo;
- Definição do objeto de estudo (projeto) a ser estudado e permissão dos autores do projeto para realizar a análise do projeto escolhido;
- Análise técnica dos projetos executivos, relatórios, memoriais descritivos e entrevistas com os projetistas envolvidos.

#### 3.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo escolhido foi o projeto do prédio da biblioteca digital da PUC Minas – Campus Coração Eucarístico, que se localiza na Rua Dom José Gaspar, nº 500, na cidade de Belo Horizonte/MG, e apresenta características de sustentabilidade em seu conceito de acordo com os arquitetos responsáveis pelo projeto William Abdalla e Altino Caldeira.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15220 a cidade de Belo Horizonte está na Zona Bioclimática 3. Segundo Abdalla e Caldeira (2013), a proposta arquitetônica apresenta um volume vertical circular constituído de duas partes: a primeira, voltada para o oeste é formada por um núcleo maciço que abriga as escadas, elevadores, sanitários e áreas de serviço e a segunda que é formada por uma torre composta por um subsolo, um pavimento térreo, um mezanino e seis pavimentos circulares que abrigarão os diversos itens do programa. Os pavimentos circulares são dotados de áreas técnicas abaixo dos pisos, para permitir uma melhor distribuição da infraestrutura de suporte aos equipamentos de trabalho dos usuários. No interior desta torre circular existe um átrio do mezanino à cobertura, que integra os ambientes entre si e permite a ventilação por exaustão e indução.

O projeto foi desenvolvido para ser executado em duas etapas, na primeira seria executado o subsolo, o pavimento térreo, o mezanino e os três primeiros pavimentos circulares, a segunda etapa de execução seria composta pelos três pavimentos superiores e pelo pavimento com a casa de máquinas, barrilete e reservatório de água pluvial superior, além da cobertura zenital sobre o átrio da torre.

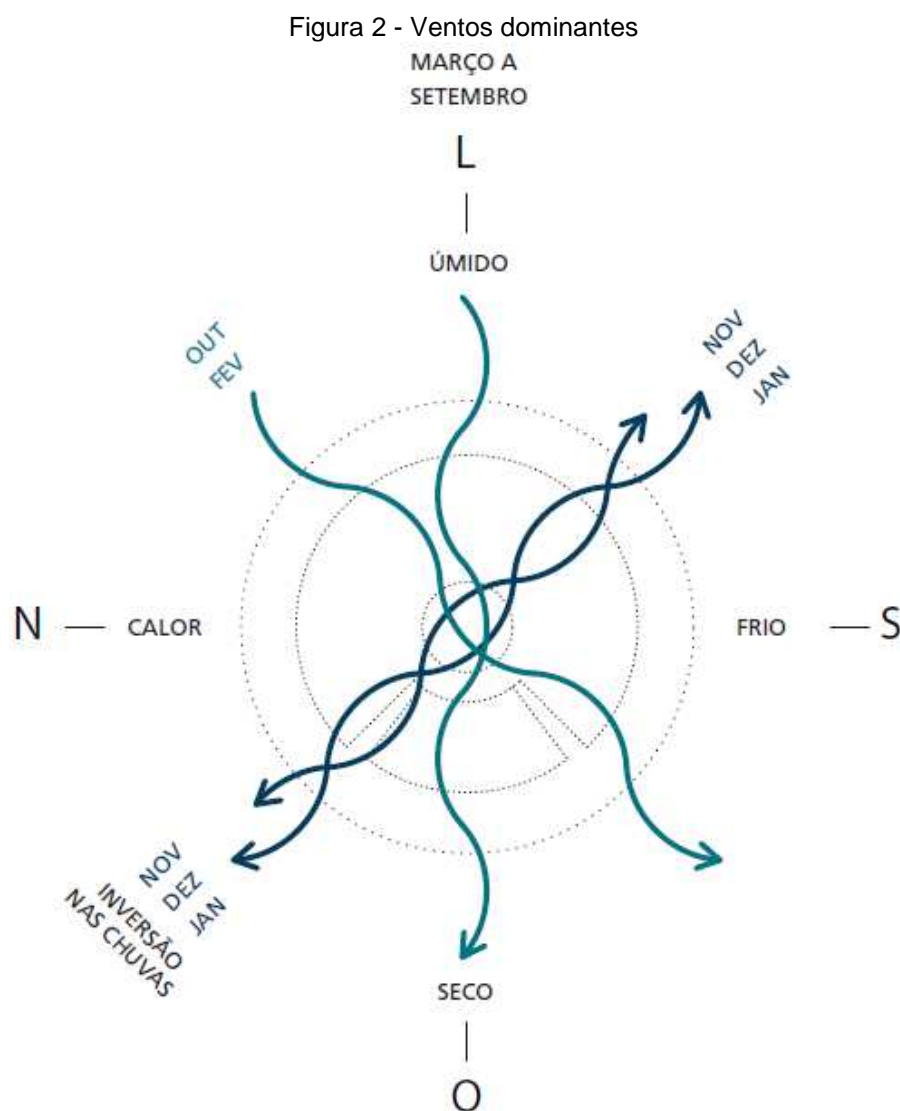
Figura 1 - Maquete física da Biblioteca Digital PUC Minas



Foto: William Ramos Abdalla

O sistema estrutural adotado em lajes planas de concreto protendido e estrutura metálica de Steel Frame permitem espaços flexíveis, possibilitando diversos usos durante a vida útil do edifício.

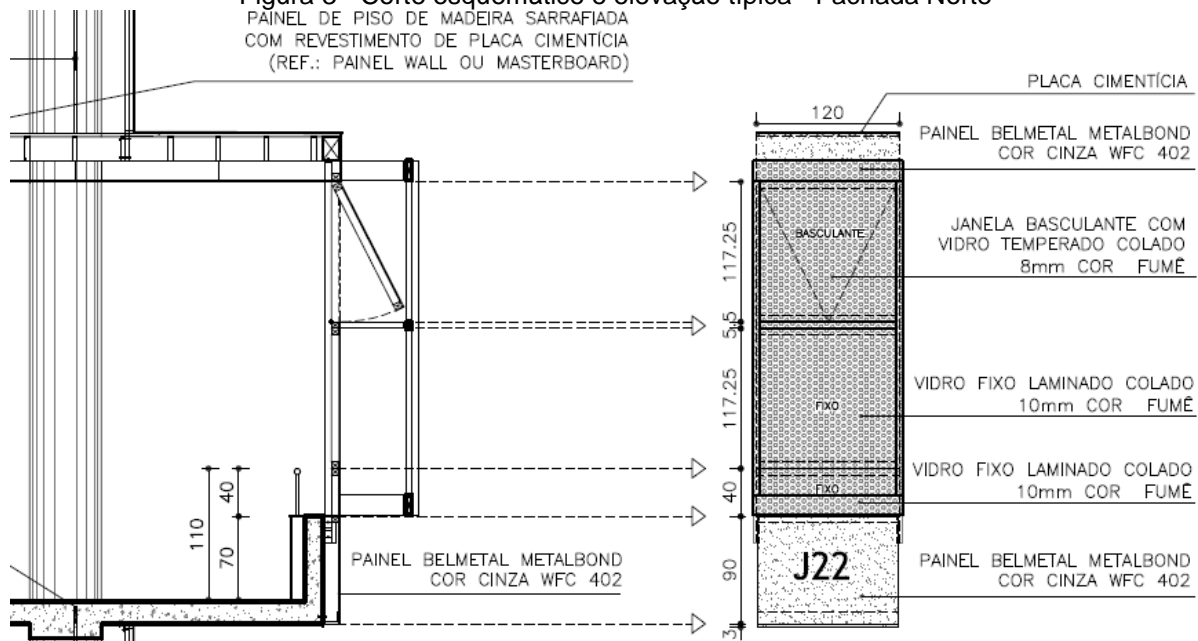
Para Abdalla e Caldeira (2013), a arquitetura de cada pavimento e da edificação foi concebida de maneira a permitir que os ventos dominantes penetrem pelos interstícios existentes nos vãos abertos nos pavimentos circulares e saiam pela cobertura devido à exaustão natural, possibilitando a circulação de ar exista de modo permanente, evitando-se o uso constante de ar-condicionado.



Fonte: William Ramos Abdalla

As fachadas foram tratadas de modo a proteger o interior da edificação do impacto da radiação solar direta de acordo com as incidências sazonais. Além do fechamento em vidro das esquadrias, a fachada Norte é protegida por uma tela metálica vazada com área de abertura de 40%, para diminuir o impacto da insolação. A fachada sul não recebe nenhum tipo de tratamento para bloquear a incidência solar direta. . (ABDALLA; CALDEIRA; 2013).

Figura 3 - Corte esquemático e elevação típica - Fachada Norte



Fonte: William Ramos Abdalla

Figura 4 - Fachada Norte



Fonte: William Ramos Abdalla

Figura 5 - Fachada Sul



Fonte: William Ramos Abdalla

Na fachada Oeste, onde a incidência do sol da tarde é maior, o volume do núcleo das escadas serve de anteparo contra o calor e poderá receber um jardim vertical. Já a fachada leste receberá brises horizontais que impedirão a incidência da luz solar diretamente no interior dos pavimentos. (ABDALLA; CALDEIRA; 2013).

Figura 6 - Fachada Oeste



Fonte: William Ramos Abdalla

Figura 7 - Fachada Leste

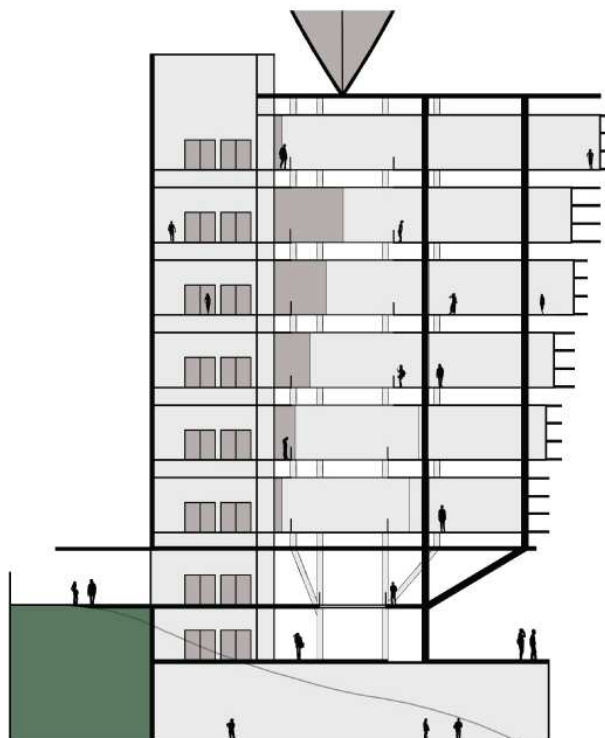


Fonte: William Ramos Abdalla

Projetada com princípios sustentáveis para ser um edifício eficiente a Biblioteca Digital pode destacar:

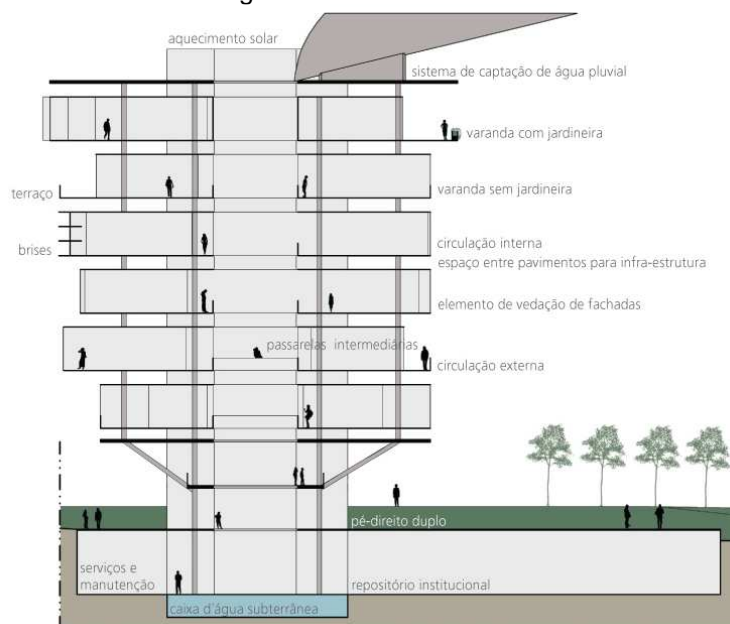
- orientação e proteção solar externa adequada às fachadas e utilização de elementos de sombreamento;
- aproveitamento dos ventos para resfriamento e renovação do ar interno;
- adoção e manutenção de flora existente para criação de microclima local e redução do efeito de “ilha de calor”;
- adoção de sistemas construtivos que gerem economia e rapidez de construção;
- adoção de sistemas para uso de água pluvial para irrigação dos jardins e vasos sanitários.
- otimização da iluminação natural;
- adoção de sistema de captação de energia solar através de painéis fotovoltaicos para geração de energia do próprio edifício e para os edifícios Campus da Universidade;

Figura 8 - Corte Leste-Oeste



Fonte: William Ramos Abdalla

Figura 9 - Corte Norte-Sul

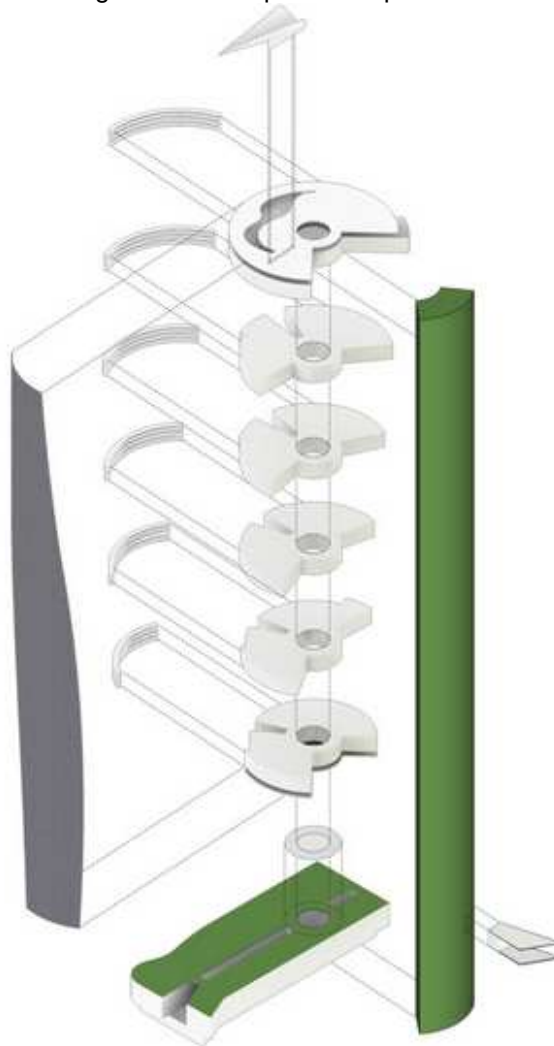


Fonte: William Ramos Abdalla

O projeto proposto para a nova Biblioteca além de priorizar a ventilação e iluminação natural cria uma relação de conforto entre o usuário e o exterior através da

geometria dos pavimentos com os cheios e vazios, ambientes com pouca profundidade e terraços-jardins.

Figura 10 - Perspectiva explodida



Fonte: William Ramos Abdalla

### 3.2 A certificação LEED

A instituição responsável pela implantação da Biblioteca Digital junto com a equipe de arquitetos contratados para o desenvolvimento do projeto da mesma determinou como diretriz de projeto um edifício sustentável, este projeto deveria atender os requisitos mínimos para uma certificação LEED.

De acordo com o Relatório Preliminar de Ecoeficiência (2013), elaborado pelo arquiteto consultor em Sustentabilidade para o projeto da Biblioteca Digital da

PUC Minas, Márcio Porto, o projeto tem a possibilidade de alcançar 51 pontos da Certificação LEED em uma escala que vai até 110 pontos, o que proporcionaria o edifício uma certificação em nível Prata. O projeto pode pontuar em até 10 pontos de um total de 26 pontos para o item Terrenos Sustentáveis, 05 pontos em um total de 10 pontos para o item Eficiência Hídrica, 07 pontos em um total de 14 pontos para o item Materiais e Recursos, 15 pontos em um total de 15 pontos para o item Qualidade Ambiental Interna, 04 pontos de um total de 06 pontos para o item Design Inovador e no item Prioridade Regional de um total de 04 pontos o projeto não pontua.

Para o item Energia e Atmosfera o projeto pode pontuar em até 10 pontos de um total de 35 pontos. O projeto atende aos pré-requisitos de sistema de comissionamento fundamental do sistema de energia, performance mínima de energia e gerenciamento fundamental da refrigeração. Ainda o item Energia e Atmosfera o projeto pode alcançar 05 dos 19 pontos da Otimização da Performance Energética; 02 de 07 pontos para Energia Renovável no Prédio; 01 dos 02 pontos para o Comissionamento Avançado; 01 dos 02 pontos para o gerenciamento Avançado da Refrigeração; 01 dos 03 pontos para Medição e Verificação e; nenhum ponto para o Green Power. (PORTO, 2013).

Pode se destacar para o projeto da Biblioteca Digital a otimização do desempenho através do uso da ventilação natural cruzada, deixando apenas para os dias quentes o uso do condicionamento artificial de ar, a utilização de energia proveniente das hidrelétricas que é fonte renovável, além da previsão da instalação dos painéis fotovoltaicos. O projeto através de seu desenho prioriza o uso da iluminação natural e possibilita a relação do usuário com o entorno.

### **3.3 A Etiqueta PBE Edifica aplicada ao estudo de caso**

A etiquetagem para a determinação de eficiência energética da Biblioteca Digital da PUC Minas foi realizada pelo método prescritivo do RTQ-C para a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE parcial dos itens de envoltória e sistema de iluminação. Para a determinação de eficiência da envoltória foi analisado o projeto considerando as duas etapas de execução, já para o sistema de iluminação foi analisado apenas a primeira etapa de execução da obra, pois o projeto executivo de iluminação foi elaborado apenas para os pavimentos dessa etapa. A figura abaixo

ilustra a Etiqueta que se pretende obter através da avaliação do projeto do estudo de caso.

Figura 11 - Etiqueta parcial - Envoltória e Sistema de iluminação



Fonte: BRASIL, 2014

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Envoltória

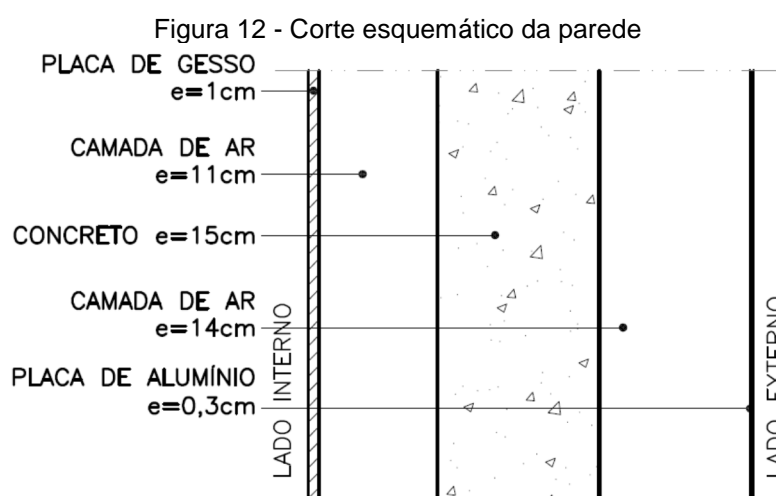
Para a análise da classe de eficiência energética da envoltória foram avaliados os pré-requisitos específicos para verificar qual a classificação máxima a ser alcançada e em seguida realizados os procedimentos de cálculo.

Para a avaliação dos pré-requisitos da envoltória foram analisados a transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) e das paredes ( $U_{par}$ ), as cores e absorptância de superfícies e a iluminação zenital. A análise dos pré-requisitos e os cálculos adotados são os mesmos estabelecidos no RTQ-C e na NBR 15520/2003.

A transmitância da cobertura ( $U_{cob}$ ) e absorptância ( $\alpha$ ) não foram consideradas para o requisito por se tratar da área da caixa d'água e a área restante abrigará o reservatório superior de água pluvial. As paredes do núcleo de circulação vertical e banheiros, voltados para a fachada oeste também não foram considerados no cálculo, pois foi especificado em projeto que estas serão revestidas com cobertura vegetal.

#### 4.1.1 Determinação da transmitância

Para calcular a transmitância térmica termos:



Fonte: Elaborado pelo autor

Resistência térmica da parede (Rt):

$$R_t = (e_{alu} / \lambda_{alu}) + R_{ar} + (e_{con} / \lambda_{con}) + R_{ar} + (e_{gesso} / \lambda_{gesso})$$

$$R_t = (0,003 / 230) + 0,17 + (0,15 / 1,75) + 0,17 + (0,01 / 0,35)$$

$$R_t = 0,454 \text{ (m}^2\cdot\text{K)W}$$

Onde:

e: espessura

$\lambda$ : Condutividade Térmica

R<sub>ar</sub>: Resistência térmica do ar

Resistência térmica total (RT):

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,13 + 0,454 + 0,04$$

$$R_T = 0,624 \text{ (m}^2\cdot\text{K)W}$$

Onde:

R<sub>t</sub>: resistência térmica de superfície a superfície;

R<sub>T</sub>: Resistência térmica total;

R<sub>se</sub>: resistência superficial externa;

R<sub>si</sub>: resistências superficial interna.

Transmitância térmica (U<sub>par</sub>):

$$U_{par} = 1 / R_T$$

$$U_{par} = 1 / 0,624$$

$$U_{par} = 1,602 \text{ (m}^2\cdot\text{K)W}$$

Onde:

U: Transmitância térmica

A transmitância da parede (U<sub>par</sub>) encontrada foi de 1,602 w/m<sup>2</sup>K, sendo o máximo permitido para o nível A de 3,7 w/m<sup>2</sup>K. Quanto a cor da fachada o prédio tem revestimento em placa de alumínio na cor cinza assim foi considerado a absorptância (α) maior 0,50 do espectro solar e a absorptância.

#### 4.1.2 Percentual de Abertura Zenital (PAZ)

Para a iluminação zenital o Percentual de Abertura Zenital (PAZ) é de 4,12%, o vidro utilizado foi um vidro incolor laminado com espessura de 12mm e fator solar (FS) é de 0,52 o que permite a classificação máxima da envoltória do edifício em Nível C.

#### 4.1.3 Indicador de Consumo da Envoltória (IC<sub>env</sub>)

Para o procedimento de cálculo do IC<sub>env</sub> (Indicador de Consumo da Envoltória) foram adotados os critérios estabelecidos no item 3.2 do RTQ-C e de acordo com os dados levantados do edifício. O IC<sub>env</sub> é dado pela equação:

$$IC_{env} = -14,14 \cdot FA - 113,94 \cdot FF + 50,82 \cdot PAFT + 4,86 \cdot FS - 0,32 \cdot AVS + 0,26 \cdot AHS - 35,75 / FF - 0,54 \cdot PAFT \cdot AHS + 277,98$$

Onde as variáveis da equação são:

IC<sub>env</sub>: Consumo de Consumo da Envoltória (adimensional);

A<sub>pe</sub>: Área de Projeção do Edifício (m<sup>2</sup>);

A<sub>tot</sub>: Área total construída (m<sup>2</sup>);

A<sub>env</sub>: Área da envoltória (m<sup>2</sup>);

A<sub>pcob</sub>: Área de projeção da cobertura (m<sup>2</sup>);

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento;

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento;

FF: Fator de Forma (A<sub>env</sub> / V<sub>tot</sub>);

FA: Fator de Altura (A<sub>pcob</sub> / V<sub>tot</sub>);

FS: Fator Solar;

PAFT: Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional, para uso na equação);

V<sub>tot</sub>: Volume Total da Edificação (m<sup>3</sup>).

Tabela 1 - Resumo de áreas

<b>PAVIMENTO</b>	<b>ÁREA DO PAVIMENTO (m²)</b>
TÉRREO	241,60
MEZANINO	241,60
1 PAVIMENTO	618,00
2 PAVIMENTO	611,17
3 PAVIMENTO	618,24
4 PAVIMENTO	654,48
5 PAVIMENTO	694,42
6 PAVIMENTO	901,54
ÁREA DA COBERTURA	924,95
ÁREA DA ENVOLTÓRIA	4.592,05
ÁREA DA FACHADA OESTE	1.501,86
VOLUME DO EDIFÍCIO	21.964,88m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2 - Área envidraçada das fachadas<sup>1</sup>

<b>FACHADA</b>	<b>ÁREA ENVIDRAÇADA (m²)</b>	<b>ÁREA DE TELA (m²)</b>	<b>ÁREA ENVIDRAÇADA - 40% ÁREA TELA</b>	<b>AVS</b>	<b>AHS</b>
NORTE	465,16	492,18	268,29	-	-
SUL	615,65	74,91	585,69	33,84	-
LESTE	429,60	67,13	402,75	40,73	-
OESTE	461,58	226,55	370,96	33,84	-
TOTAL			1.627,68		
ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO				24,96	

Fonte: Elaborado pelo autor

Com as informações das Tabelas 1 e 2 temos:

- O Fator de Forma dado por:  $FF = A_{env} / V_{tot} = 4.592,05 / 21.964,88 = 0,2090$ ;
- O Fator de Altura dado por:  $FA = A_{pcob} / V_{tot} = 924,95 / 21.964,88 = 0,0421$ ;
- O Percentual de Abertura na Fachada Oeste dado por:  $PAF_o = \text{área de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido da fachada oeste} / \text{área da fachada oeste} = 370,961 / 1501,86 = 0,247$  ou 24,7%;

<sup>1</sup> Para o cálculo das áreas envidraçadas das fachadas foi considerado o desconto dos vazios da tela metálica (Referência: Screenpanel Hunterdouglas – perfuração #404 com 40% de área perfurada). Também foi descontado a área referente aos montantes das esquadrias.

- O Percentual de Abertura da Fachada total dado por  $PAFT = \text{soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido de cada fachada} / \text{área da fachada da edificação} = 1.627,68 / 4.592,05 = 0,3544$  ou 35,44%;

Como o  $PAFo$  não é pelo menos 20% maior que o  $PAFT$ , o valor a ser adotado na equação do Indicador de Consumo da envoltória –  $IC_{env}$  deverá ser o  $PAFT$  (0,488).

Conforme a Tabela 02 a média ponderada do Ângulo de Sombreamento Vertical (AVS) foi de 24,96°, já o Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) Horizontal não foi considerado para o cálculo do  $IC_{env}$ . Para os vidros das esquadrias foi especificado um vidro laminado fumê com o Fator Solar (FS) de 0,59.

Dados todos os valores a serem inseridos na equação do Indicador de Consumo da envoltória:

$$IC_{env} = -14,14 \cdot FA - 113,94 \cdot FF + 50,82 \cdot PAFT + 4,86 \cdot FS - 0,32 \cdot AVS + 0,26 \cdot AHS - 35,75 / FF - 0,54 \cdot PAFT \cdot AHS + 277,98 =$$

$$IC_{env} = -14,14 \cdot 0,0421 - 113,94 \cdot 0,2090 + 50,82 \cdot 0,3544 + 4,86 \cdot 0,59 - 0,32 \cdot 24,96 + 0,26 \cdot 0 - 35,75 / 0,2090 - 0,54 \cdot 0,488 \cdot 0 + 277,98 =$$

$$IC_{env} = 95,7548$$

Após o cálculo do Índice de Consumo da envoltória  $IC_{env}$  foram calculados o limite máximo  $IC_{máx}$  e o limite mínimo  $IC_{mín}$  de consumo para a volumetria conforme os dados fornecidos pela Tabela 3.2 e 3.3 respectivamente, e em seguida foi calculado o intervalo conforme a equação 3.13, dentro da qual a edificação proposta deve se inserir.

Tabela 3 - Índice de consumo máximo, mínimo e intervalo

<b>ICenv=</b>	$(113,94*(0,209))+(50,82*(0,3544))+(4,86*(0,64))-$ $(0,32*(24,64))+(0,26*0)-((35,75/0,209))-$ $((0,54*(0,4879*0)))+277,98)$	<b>95,7548</b>
<b>ICmáxD=</b>	$(113,94*(0,209))+(50,82*(0,6))+(4,86*(0,61))-$ $(0,32*(0))+(0,26*0)-((35,75/0,209))-$ $((0,54*(0,4942*0)))+277,98)$	<b>115,975</b>
<b>ICmín=</b>	$(113,94*(0,209))+(50,82*(0,05))+(4,86*(0,87))-$ $(0,32*(0))+(0,26*0)-((35,75/0,209))-$ $((0,54*(0,4942*0)))+277,98)$	<b>89,2878</b>
<b>i=</b>	<b>(ICmáxD-ICmín)/4= (114,0932-87,40578)/4=</b>	<b>6,67185</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os resultados obtidos dos cálculos *ICmáxD*, *ICmín* e *i* a tabela com os limites dos intervalos dos níveis de eficiência conforme a tabela 3 para o edifício em análise.

Tabela 4 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

<b>Eficiência</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>Lim Mín</b>	-	95,9696644	102,641514	109,31336	115,985214
<b>Lim Máx</b>	95,9596644	102,631514	109,303364	115,97521	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Depois de avaliados os limites de intervalo do nível de eficiência percebe-se que a envoltória da Biblioteca Digital da PUC Minas poderia obter a Etiqueta A de eficiência energética, porém o PAZ limita a o selo da envoltória em Nível C.

## 4.2 Sistema de iluminação

Os projetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário da Biblioteca Digital da PUC Minas foram desenvolvidos para serem executados em duas etapas, já o projeto luminotécnico, foi desenvolvido apenas para os pavimentos da primeira fase de obra, ou seja, o subsolo, o pavimento térreo, o mezanino e os três primeiros pavimentos circulares seguintes, então, a análise do nível de eficiência do sistema de iluminação foi feita para os pavimentos da primeira etapa de obras.

Para análise do nível de eficiência do sistema de iluminação foram avaliados os pré-requisitos específicos para verificar qual a classificação máxima a

ser alcançada e em seguida realizado os procedimentos de cálculo, além da análise da compatibilização do projeto luminotécnico com o *layout* proposto.

#### **4.2.1 Pré-requisitos**

De acordo com o RTQ-C, para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação da edificação, além dos limites de potência instalada é necessário que os pré-requisitos de controle do sistema sejam atendidos. Para que o nível de eficiência do sistema de iluminação seja A ou B ou C cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deverá atender à divisão de circuitos e possuir ao menos um dispositivo para o acionamento independente da iluminação do ambiente. Tal controle deve ser facilmente acessível e localizado em um local onde seja possível ver todo o sistema de iluminação que controla, ainda neste requisito para áreas maiores que 250 m<sup>2</sup> cada dispositivo de controle deverá controlar uma área máxima de até 250 m<sup>2</sup> para ambientes de até 1000 m<sup>2</sup> e uma área máxima de até 1000 m<sup>2</sup> para áreas maiores. Para que o nível de eficiência seja A ou B, além de atender o requisito anterior, deve atender também ao item da contribuição natural, onde ambientes voltados para ambiente externo ou átrio não coberto ou com cobertura translúcida e que possuam mais de uma fileira de luminárias paralelas as aberturas, devem possuir controle para acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima a abertura. Para que o nível de eficiência seja A, além de atender aos dois requisitos anteriores deverá atender também ao desligamento automático do sistema de iluminação, este requisito se aplica aos ambientes com área superior a 250 m<sup>2</sup>.

Além dos pré-requisitos estabelecidos no RTQ-C, para o procedimento de determinação da eficiência do sistema de iluminação pode-se adotar dois métodos: o primeiro é o método da área do edifício, que consiste em avaliar de forma conjunta os ambientes do edifício e atribui um único valor para a avaliação do sistema, o segundo é o método das atividades do edifício que avalia de forma isolada cada ambiente do edifício, este último foi o método adotado para a análise do sistema de iluminação da Biblioteca Digital da PUC Minas.

O método de avaliação adotado para a análise do edifício do estudo de caso foi o método das atividades, os pré-requisitos foram analisados por ambiente.

Tabela 5- Densidade de potência instalada

<b>DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO - MÉTODO DAS ATIVIDADES DO EDIFÍCIO</b>					
	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>POTÊNCIA INSTALADA (W)</b>	<b>DENSIDAD E DE POTÊNCIA</b>	<b>NÍVEL DE EFICIÊNCIA</b>	
<b>AMBIENTE</b>					
<b>SUBSOLO</b>	Escada sul	15,50	84	5,42	A 5
	Antecâmara sul	3,10	28	9,03	C 3
	Circulação	43,46	160	3,68	D <sup>1</sup> 2
	Depósito	4,74	32	6,75	C 3
	Vestiário masculino	4,73	16	3,38	A 5
	Vestiário masculino	4,73	16	3,38	A 5
	Sala técnica	14,70	96	6,53	A 5
<b>PAVIMENTO TÉRREO</b>	Escada norte	12,22	84	6,87	A 5
	Escada sul	15,50	84	5,42	A 5
	Antecâmara norte	3,10	28	9,03	C 3
	I.S. masculina	13,30	96	7,22	D 2
	I.S. feminina	13,33	96	7,20	D 2
	I.S.P.N.E. masc.	2,57	16	6,23	C 3
	I.S.P.N.E. fem.	2,57	16	6,23	C 3
	Depósito	9,02	32	3,55	A 5
	Hall	102,83	768	7,47	C <sup>2</sup> 3
	Circulação	23,38	96	4,11	D <sup>1</sup> 2
<b>MEZANINO</b>	Escada norte	12,22	84	6,87	A 5
	Escada sul	12,82	84	6,55	A 5
	Antecâmara norte	3,10	28	9,03	C 3
	Antecâmara sul	3,10	28	9,03	C 3
	I.S. masculina	13,30	450	33,83	E 1
	I.S. feminina	13,33	450	33,76	E 1
	I.S.P.N.E. masc.	2,57	150	58,37	E 1
	I.S.P.N.E. fem.	2,57	150	58,37	E 1
	Circulação	23,60	96	4,07	D <sup>1</sup> 2
	Cozinha	9,02	32	3,55	A 5
	Lanchonete	98,60	512	5,19	A 5

(continua)

(continuação)

<b>1º PAVIMENTO</b>	Escada norte	12,22	84	6,87	A	5
	Escada sul	12,82	84	6,55	A	5
	Antecâmara norte	3,10	28	9,03	C	3
	Antecâmara sul	3,10	28	9,03	C	3
	Circulação	110,23	668	6,06	D <sup>1</sup>	2
	Depósito	9,02	32	3,55	A	5
	I.S. masculina	13,30	450	33,83	E	1
	I.S. feminina	13,33	450	33,76	E	1
	I.S. masculina	2,57	150	58,37	E	1
	I.S.P.N.E. fem.	2,57	150	58,37	E	1
	Reuniões	20,65	300	14,53	C	3
	Atendimento	10,86	300	27,62	E	1
	Sala técnica	13,09	300	22,92	E	1
	Circulação entre salas	6,71	150	22,35	E	1
	Docente	22,07	140	6,34	D <sup>1</sup>	2
	Treinamento	58,23	486	8,35	D <sup>1</sup>	2
	Psicologia	7,66	300	39,16	E	1
	Reuniões	20,79	300	14,43	D <sup>1</sup>	2
	Treinamento	28,68	450	15,69	D	2
	Reuniões	32,65	625	19,14	E	1
Auditório	111,50	2145	19,24	E	1	
<b>2º PAVIMENTO</b>	Escada norte	12,22	84	6,87	A	5
	Escada sul	12,22	84	6,87	A	5
	Antecâmara norte	3,10	28	9,03	C	3
	Antecâmara sul	3,10	28	9,03	C	3
	Circulação	115,80	368	3,18	D <sup>1</sup>	2
	Depósito	7,22	32	4,43	A	5
	I.S. masculina	13,30	450	33,83	E	1
	I.S. feminina	13,33	450	33,76	E	1
	I.S.P.N.E. masc.	2,57	150	58,37	E	1
	I.S.P.N.E. fem.	2,57	150	58,37	E	1
	Sala de suporte	11,88	300	25,25	E	1
	Sala de reunião 01	15,21	300	19,72	E	1
	Sala de reunião 02	15,41	300	19,47	E	1
	Circulação	9,50	450	47,37	E	1
	Laboratório de informática	38,47	611	15,88	D	2
	Laboratório de informática	34,89	580	16,62	E	1
	Laboratório de informática	37,88	286	7,55	A	5
	Sala multiuso	40,50	786	19,41	E	1
	Estações de trabalho	117,86	1920	16,29	D	2

(continua)

(continuação)

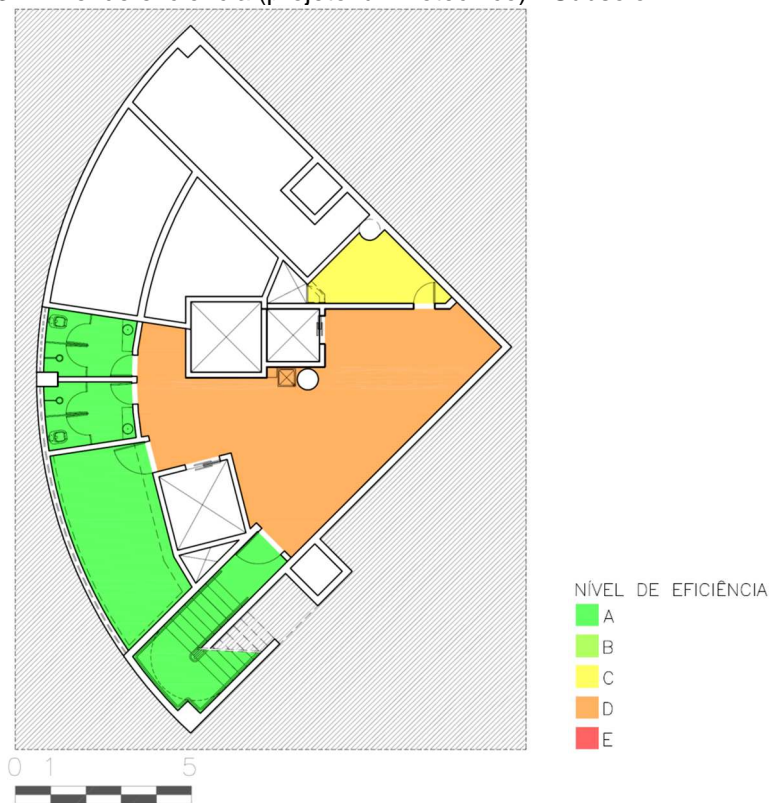
3º PAVIMENTO	Escada norte	12,22	84	6,87	A	5
	Escada sul	12,22	84	6,87	A	5
	Antecâmara norte	3,10	28	9,03	C	3
	Antecâmara sul	3,10	28	9,03	C	3
	Circulação	115,80	368	3,18	D'	2
	Depósito	7,22	32	4,43	A	5
	I.S. masculina	13,30	450	33,83	E	1
	I.S. feminina	13,33	450	33,76	E	1
	I.S.P.N.E. masc.	2,57	150	58,37	E	1
	I.S.P.N.E. fem.	2,57	150	58,37	E	1
	Estações de trabalho sul	126,41	2140	16,93	E	1
	Reuniões 01	9,67	150	15,51	D	2
	Reuniões 02	25,17	300	11,92	B	4
	Reuniões 03	11,62	150	12,91	B	4
	Estações de trabalho norte	165,19	3215	19,46	E	1
CASA DE MÁQUINAS	Escada sul	12,22	84	6,87	A	5
	Antecâmara sul	3,10	28	9,03	C	3
	Casa de máquinas	62,38	96	1,54	A	5
<b>TOTAL</b>		<b>2106,38</b>	<b>26776</b>			

1 - Limitado a esta nota por não atender ao pré-requisito de divisão de circuitos

2 - Limitado a esta nota por não atender ao pré-requisito de contribuição da luz natural

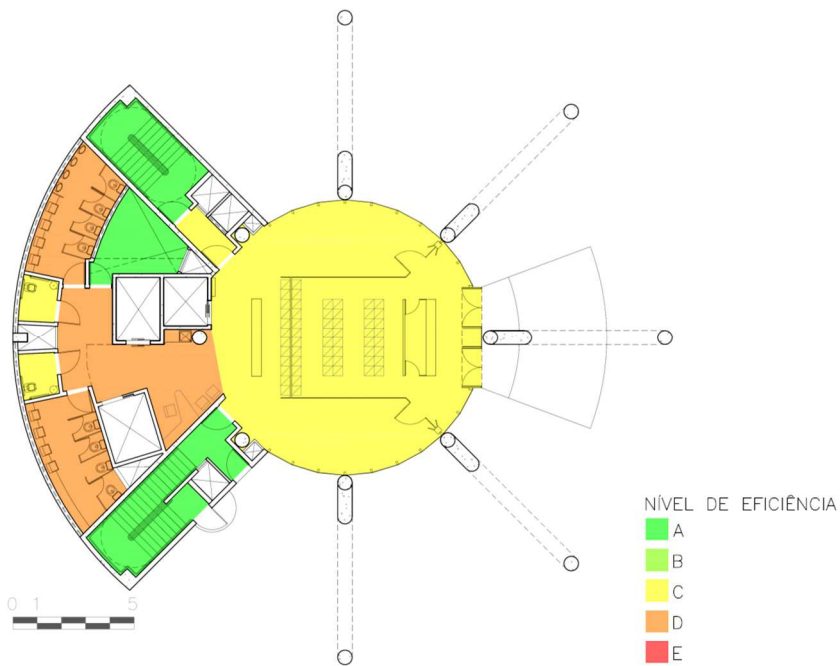
As figuras a seguir mostram os resultados obtidos do nível de eficiência por ambientes.

Figura 13 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - Subsolo



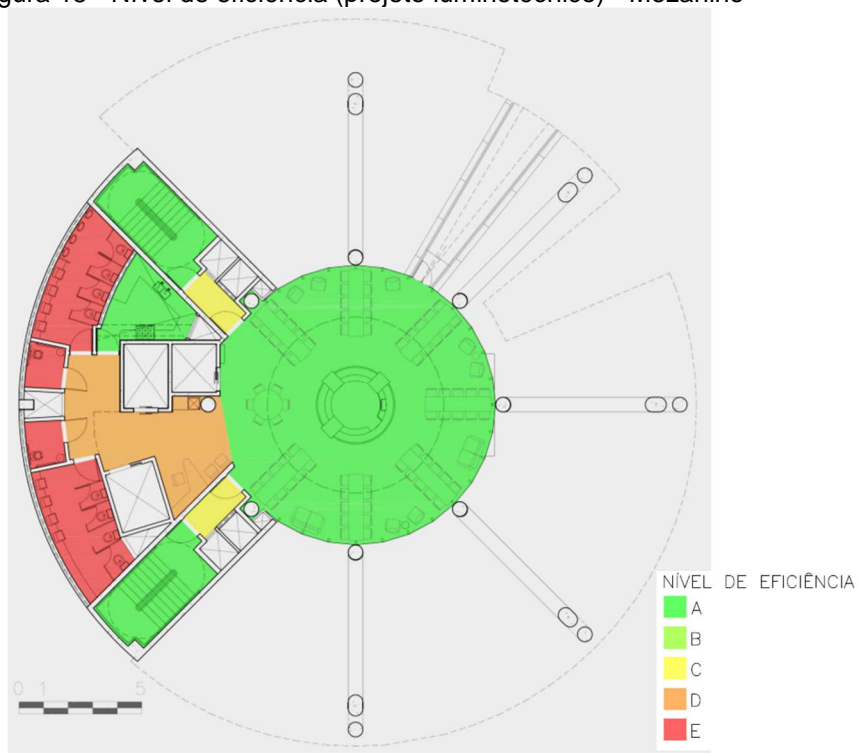
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - Térreo



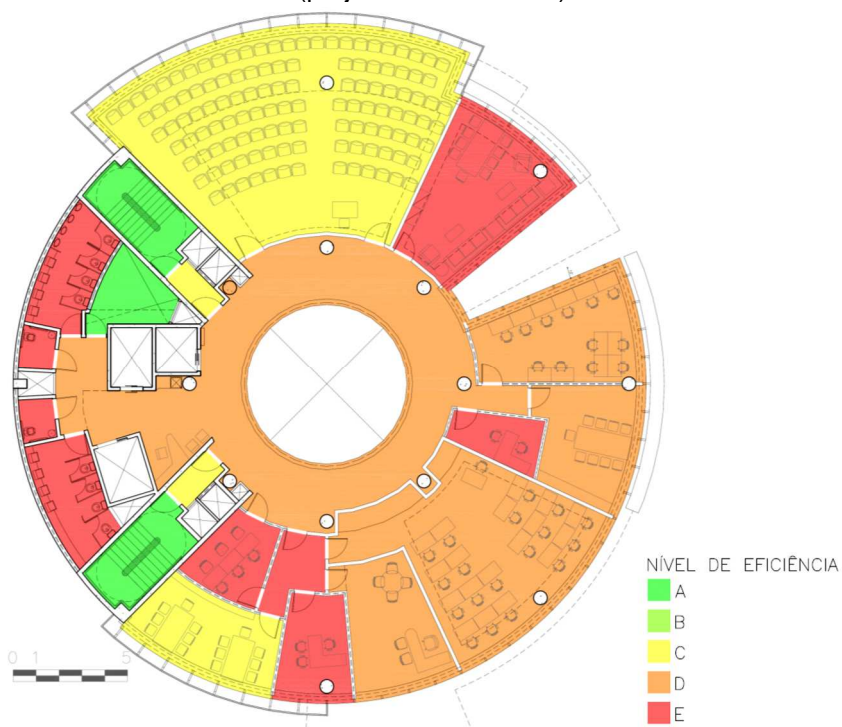
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - Mezanino



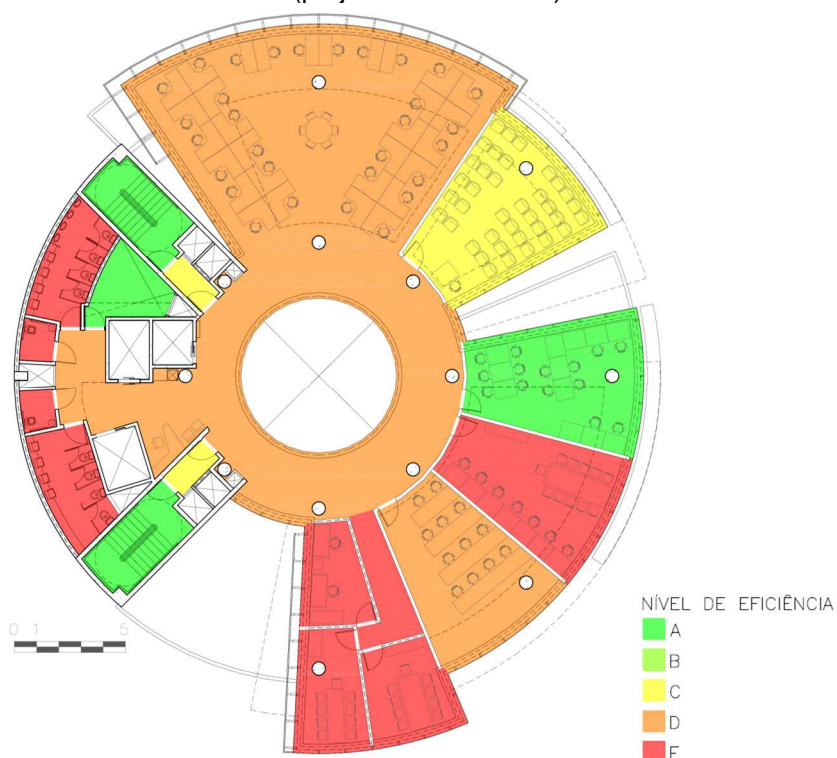
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - 1º Pavimento



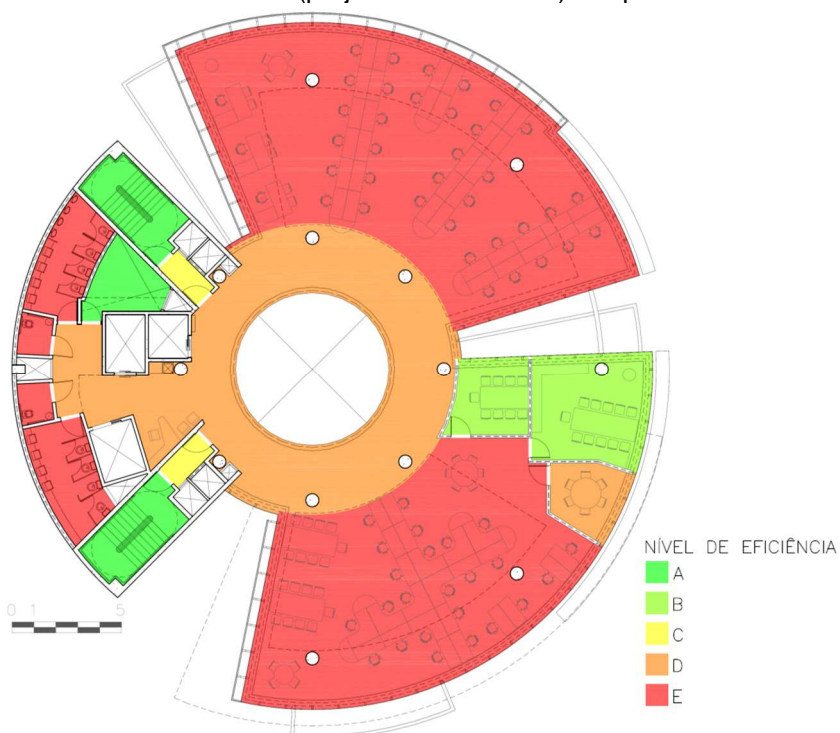
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 17 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - 2º Pavimento



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 18 - Nível de eficiência (projeto luminotécnico) - 3º pavimento



Fonte: Elaborado pelo autor

Após o cálculo da eficiência energética por ambiente foi verificado se todos eles atendiam aos pré-requisitos de classificação. Verificou-se que o desligamento automático do sistema de iluminação de ambientes maiores que 250m<sup>2</sup> não se aplica a nenhum ambiente do projeto do estudo de caso. O hall do pavimento térreo não atendeu ao pré-requisito da contribuição da luz natural – ver Tabela 5. A circulação de todos os pavimentos e a sala de treinamento, sala dos docentes e sala de reunião do 1º pavimento não atenderam ao pré-requisito da divisão dos circuitos – ver Tabela 5. Os ambientes que não atenderam aos pré-requisitos foram isolados e calculados isoladamente, em seguida calculou-se o nível de eficiência dos demais ambientes e ponderou-se todos os resultados obtidos.

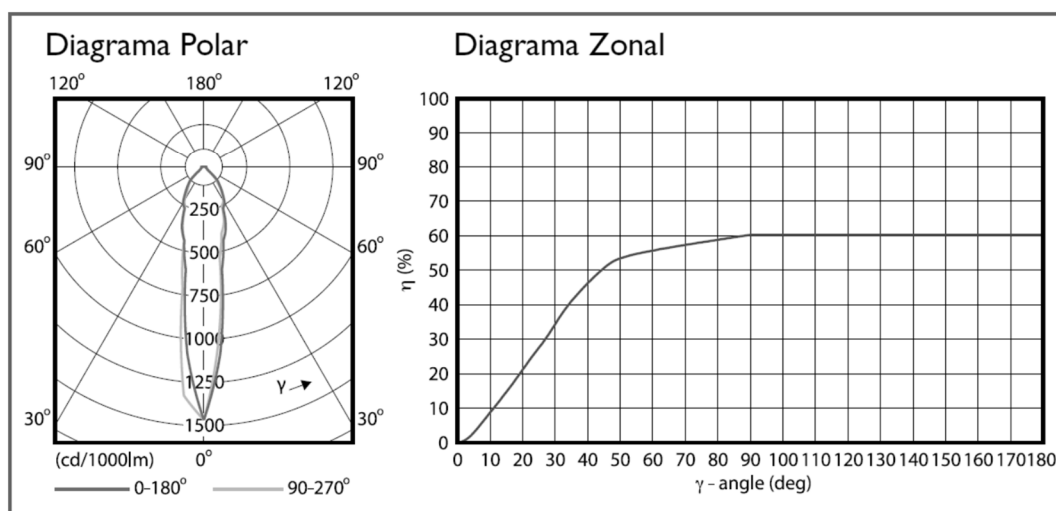
Em seguida, através do método das atividades, verificou-se a potência instalada da edificação (41.228W) e que o valor da média ponderada encontrado foi de 2,924 o que corresponde ao Nível C de eficiência.

As luminárias com lâmpadas de vapor metálico especificadas em projeto são dois modelos da Philips, a primeira é uma luminária de embutir da linha D'eco Light Collection MBS341 1xCDM com uma lâmpada de 150W usada tanto em salas de trabalho e treinamento com em salas menores do setor administrativo, já o segundo modelo é a luminária Spot Philips D'eco Light Collection MCS350 usada principalmente nas salas maiores.

Figura 19- Fotometria da luminária MBS341

**Fotometria:**

Luminária: MBS341  
 Lâmpada: 1 XCDM-T1 50W/942 EB  
 Fluxo Luminoso: 1 x 14000 lm  
 L.O.R.:

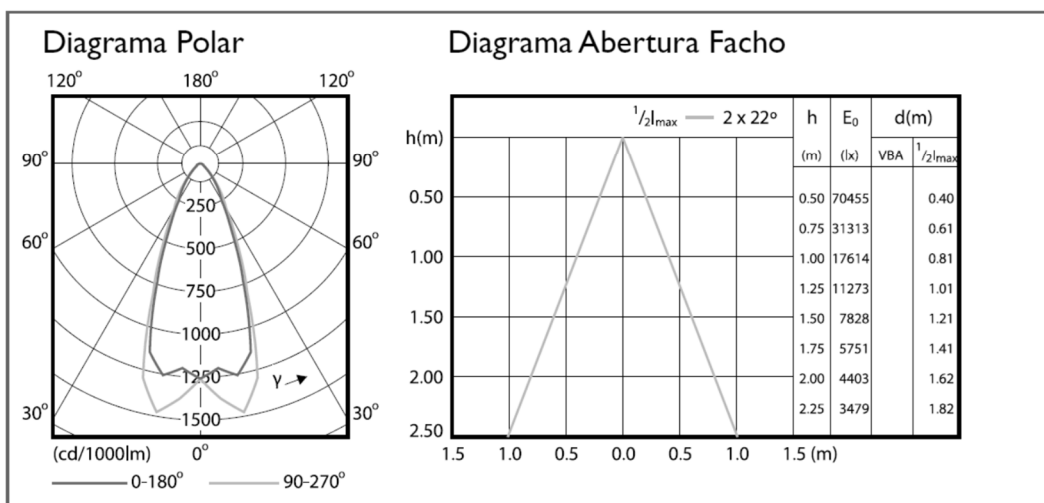


Fonte: Luminárias Indoor Philips

Figura 20 - Fotometria da luminária MCS350

**Fotometria:**

Luminária: MCS350  
 Lâmpada: 1 x CDM-T 150W/830  
 Fluxo Luminoso: 1 x 14000 lm  
 L.O.R.:



Fonte: Luminárias Indoor Philips

### 4.3 Resultados e Discussão

De acordo com o Relatório de Ecoeficiência de Márcio Porto (2013) a classificação do projeto para a certificação LEED foi feita de acordo com as características do projeto executivo bem como das possibilidades orçamentárias optando pela classificação em nível Prata, contabilizando uma somatória de 51 pontos em uma escala que vai até 110 pontos.

A eficiência energética é comum tanto na etiqueta PROCEL Edifica quanto na certificação LEED, neste último a eficiência energética é destacada como Energia e Atmosfera pontua em até 35 pontos. A Biblioteca Digital da PUC Minas atende aos três pré-requisitos (sistema de comissionamento fundamental do sistema de energia, performance mínima de energia e gerenciamento fundamental da refrigeração) e alcança 10 pontos de acordo com o sistema de créditos estabelecidos pela certificação LEED. (PORTO, 2013).

Segundo os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C e após todas as análises sobre a envoltória serem feitas chegou-se ao nível de eficiência C para a envoltória do projeto em estudo.

Os pré-requisitos específicos para a envoltória são compostos pela transmitância térmica da cobertura e das paredes, no caso específico deste projeto a cobertura não se enquadra nos pré-requisitos em função do seu uso (reservatório superior de água pluvial, já as paredes tiveram a transmitância térmica (U) de  $1,602\text{w/m}^2\text{K}$ , valor que atende ao pré-requisito para Nível A. As fachadas do edifício são compostas por três materiais distintos: as aberturas envidraçadas, uma parede com cobertura vegetal voltada para o oeste e as demais áreas compostas por placas de metalbond de cor cinza que limita a eficiência do edifício em Nível B. O Percentual de Abertura Zenital (PAZ) (4,12%) e o Fator Solar (FS) do vidro da abertura zenital limitaram a classificação da envoltória em Nível C. O vidro especificado para a abertura zenital é translúcido, com 12mm de espessura e possui o fator solar de 0,78, para este fator solar o Percentual de Abertura Zenital (PAZ) é limitado a 4,12%.

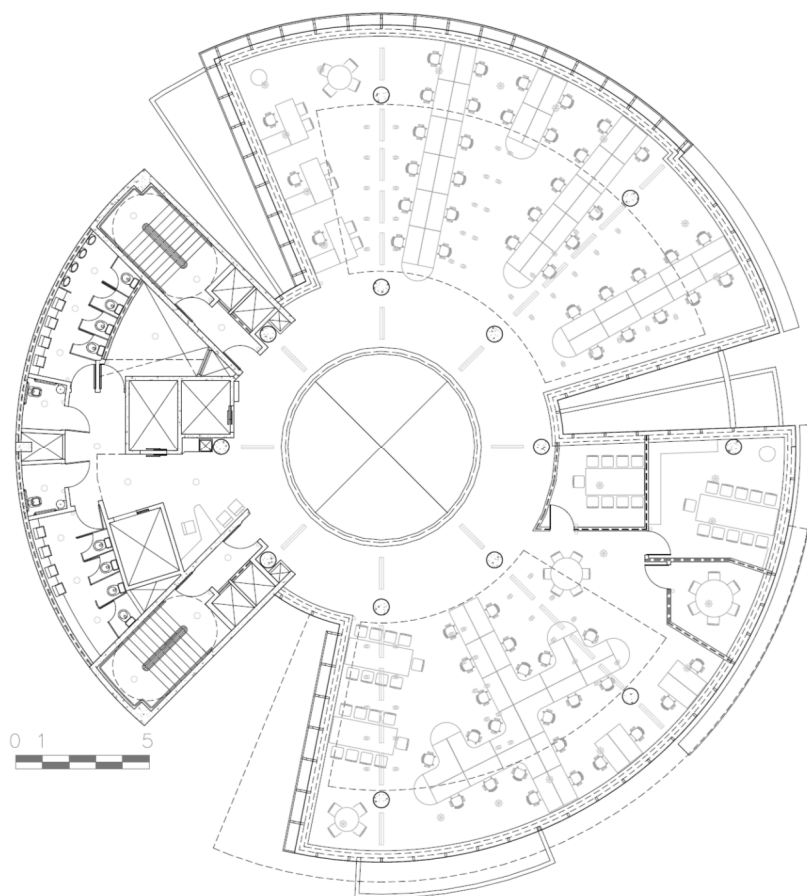
Os procedimentos de cálculo determinaram a eficiência da envoltória da Biblioteca Digital da PUC Minas em Nível A, porém o pré-requisito do Percentual de Abertura Zenital (4,12%) limita a etiquetagem da envoltória em Nível C. Para o PAZ

adotado no projeto o RTQ-C limita o Fator Solar do Vidro em 0,30, ou então, para o FS utilizado (0,59) o Percentual de Abertura Zenital poderia ser no máximo 3%.

A análise do nível de eficiência do sistema de iluminação foi feito de acordo com os procedimentos de cálculo determinados pelo RTQ-C e descritos anteriormente. O método das áreas utilizado para a determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação mostrou que nos ambientes onde existiam a luminária D'eco Light Collection MBS341 1xCDM com potência de 150W o nível de eficiência foi menor.

Após a análise técnica do projeto luminotécnico sobreposto ao projeto de layout percebeu-se que a disposição do layout não é a mais adequada à disposição das luminárias propostas conforme mostra a figura abaixo. Outro aspecto do sistema de iluminação que se destaca são as luminárias que apesar de serem eficientes podem criar manchas que gerariam desconforto ao usuário.

Figura 21 - Projeto luminotécnico e layout – 3º pavimento



Fonte: William Abdalla

## **5 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA AUMENTAR O NÍVEL DE EFICIÊNCIA**

Na proposta foram considerados os resultados obtidos na análise do nível de eficiência da envoltória e do sistema de iluminação, porém a proposta de intervenção diz respeito apenas a alteração de materiais, salvo no caso da área da abertura zenital do átrio, preservando todos os demais conceitos propostos pelos autores do projeto.

Para a envoltória, o projeto da Biblioteca Digital da PUC Minas alcançou o nível de eficiência energética C devido ao fator solar do vidro utilizado e ao percentual de abertura zenital (PAZ).

Para o sistema de iluminação o nível de eficiência obtido de acordo com o RTQ-C foi Nível C, sendo que os ambientes que apresentaram o maior consumo são os que possuem a luminária D'eco Light Collection MBS341 1xCDM com potência de 150W e que estes ambientes são os que maior área.

### **5.1 Envoltória**

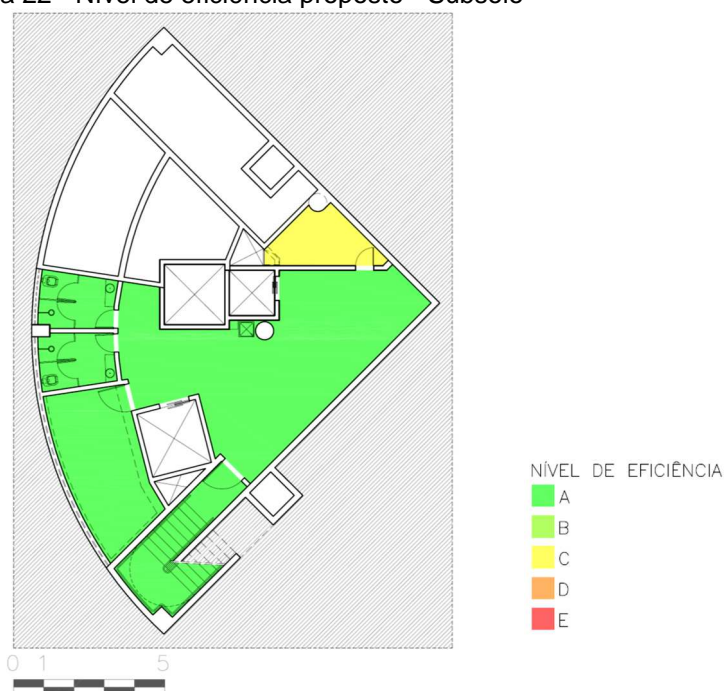
Para aumentar o nível de eficiência da envoltória de Nível B para Nível A, propõe-se a redução da área da cobertura zenital de 4,12% para área inferior a 4% da área total da cobertura e a substituição do vidro laminado 12 mm da cobertura zenital que possui o fator solar de 0,78 por um vidro com fator solar máximo de 0,52.

### **5.2 Sistema de iluminação**

A proposta para melhorar a eficiência energética do edifício de Nível C para Nível A, é a substituição das lâmpadas de com potência de 150W das luminárias D'eco Light Collection MBS341 por lâmpadas com 70W de potência com eficiência luminosa de 86lm/W . A luminária de Philips SlimLine também deverá ter sua lâmpada de 32W substituída pela lâmpada Master TL5 High Efficiency Eco 25=28W/840 que tem eficiência luminosa de 114lm/W.

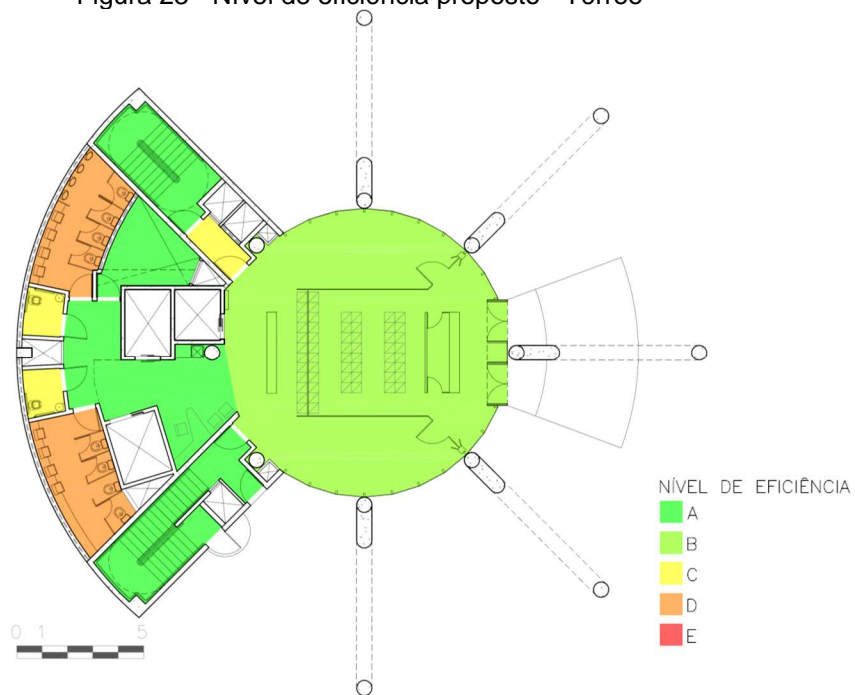
Além de propor a substituição das lâmpadas por outras mais econômicas e eficientes, o sistema elétrico também deverá atender ao pré-requisito da divisão de circuitos, através de uma representação gráfica da sala mostrando qual a área abrangida pelo circuito, e ao pré-requisito da contribuição da luz natural, onde será necessário redistribuir os circuitos da iluminação de maneira que a fileira de luminária mais próxima à janela tenha o acionamento independente dos demais circuitos.

Figura 22 - Nível de eficiência proposto - Subsolo



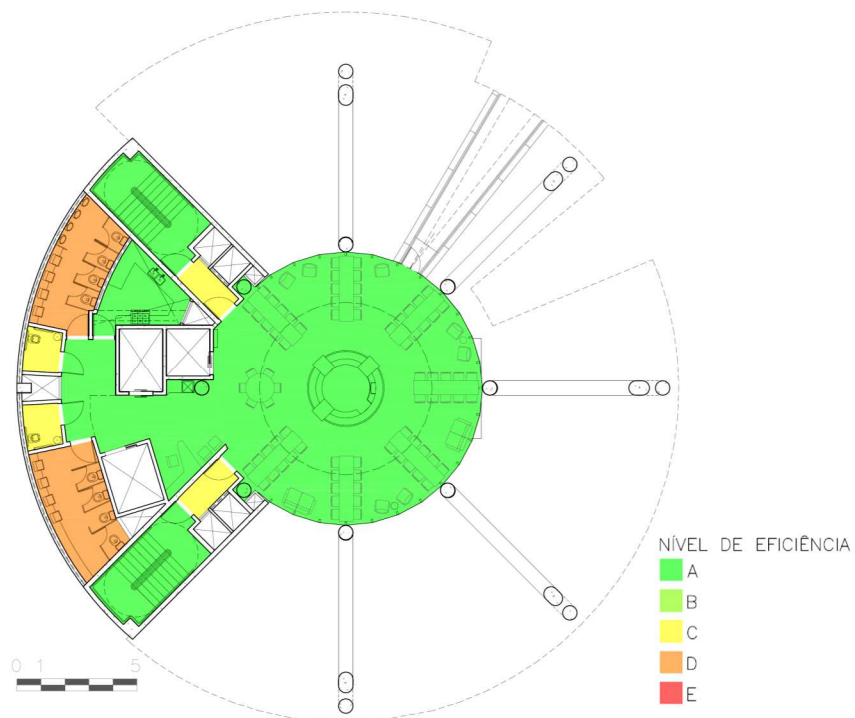
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23 - Nível de eficiência proposto - Térreo



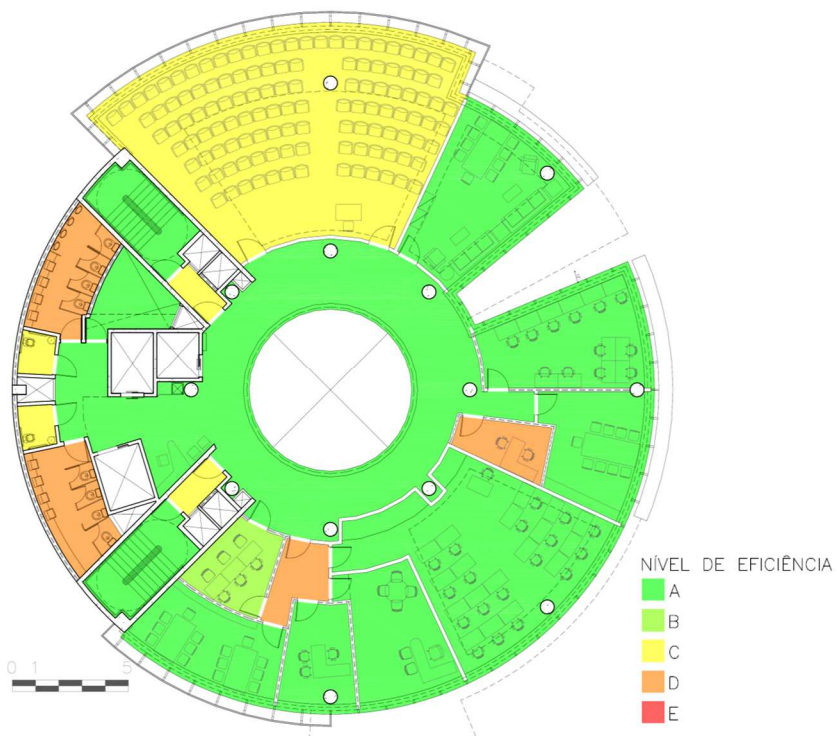
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 24 - Nível de eficiência proposto - Mezanino



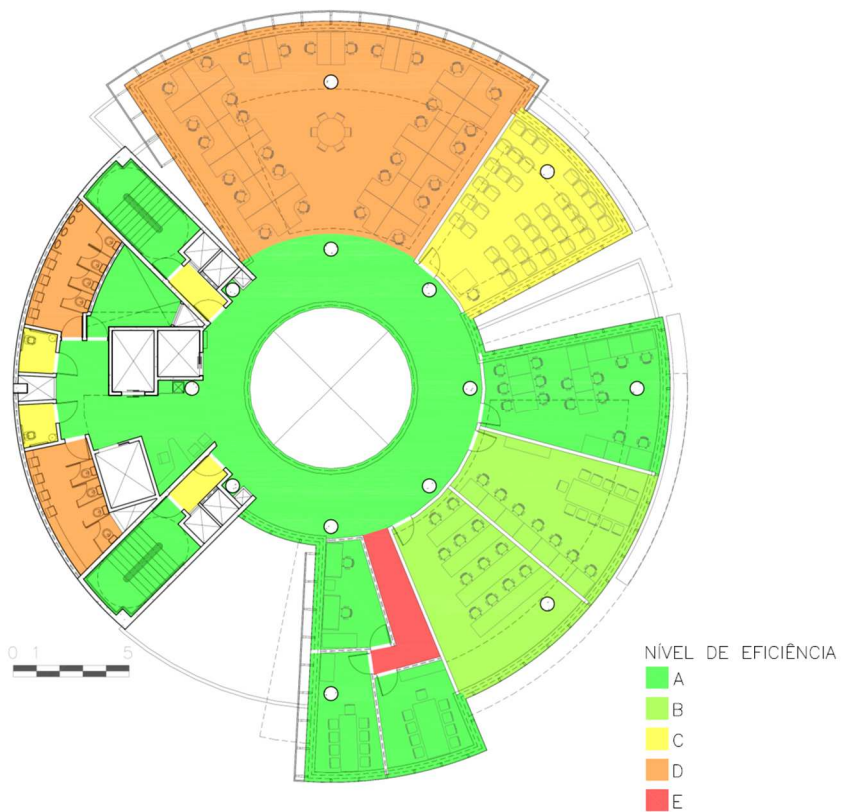
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25 - Nível de eficiência proposto - 1º Pavimento



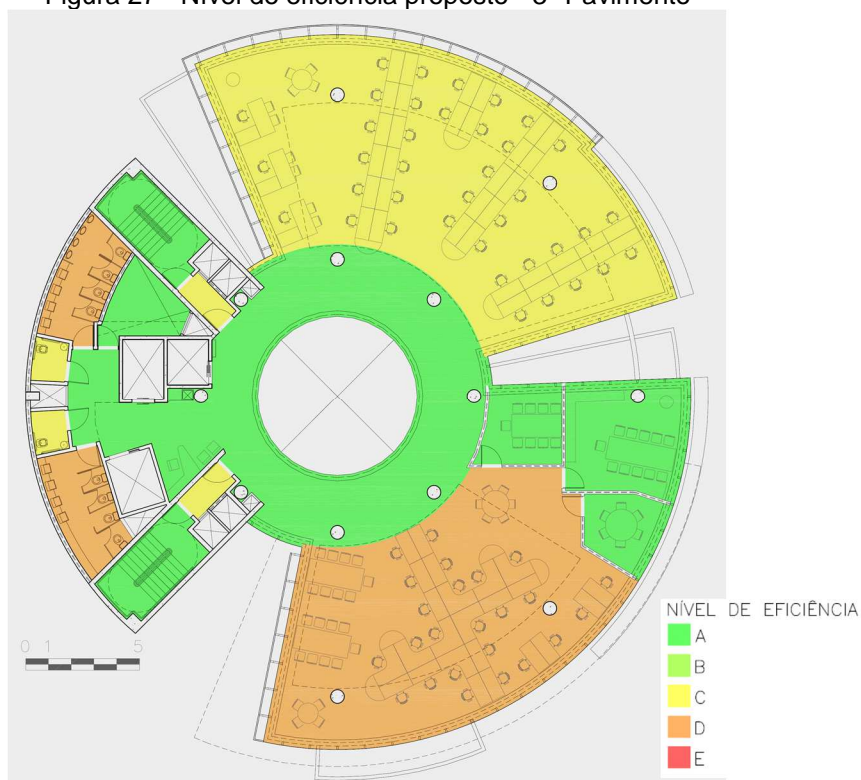
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26 - Nível de eficiência proposto - 2º Pavimento



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27 - Nível de eficiência proposto - 3º Pavimento



Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda para o sistema de iluminação, sugere-se a sua compatibilização e integração com o projeto de layout e a verificação da possibilidade de substituir as lâmpadas de alto consumo por lâmpadas de Led, que reduziriam ainda mais o consumo, conseqüentemente aumentando o desempenho energético do edifício.

## 6 CONCLUSÃO

A sustentabilidade permeia aspectos sociais, culturais, econômicos, dentre outros e envolve também os aspectos ambientais. O foco deste trabalho foi o estudo de caso de um dos diversos vieses dos aspectos ambientais que é a eficiência energética, aplicado no projeto da Biblioteca Digital da PUC Minas.

Segundo os seus autores, o projeto da Biblioteca Digital da PUC Minas partiu do conceito de um projeto sustentável, porém, com análise técnica específica do sistema de iluminação e da envoltória do edifício por meio do sistema de Etiquetagem PBE Edifica, percebeu-se que o nível de eficiência energética poderá ser aumentado de acordo com os requisitos deste sistema de classificação. De acordo com os Requisitos Técnicos para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, os níveis de eficiência C e C, respectivamente, do sistema de iluminação e da envoltória demonstram nível médio de desempenho energético do edifício. Durante as entrevistas com as equipes envolvidas no projeto e com a contratante pôde-se perceber a dificuldade de comunicação/relação entre essas equipes tendo como decorrência a incompatibilidade entre o projeto de layout e a disposição das luminárias no projeto luminotécnico. O projeto do estudo de caso foi submetido a uma consultoria para uma possível certificação do LEED, podendo alcançar até 51 pontos o que permitiria uma certificação em nível Prata.

O projeto luminotécnico especifica luminárias para lâmpadas fluorescentes usadas no subsolo, térreo, mezanino e nas áreas de circulação e depósito dos três primeiros pavimentos da Biblioteca Digital, e luminárias com lâmpadas de vapor metálico compactas com tubo de descarga cerâmico de alto desempenho (93lm/W), estas luminárias foram propostas para os pavimentos tipo. As luminárias fluorescentes utilizadas no projeto são modelos compactos e possuem baixo consumo de energia. O tipo de luminária especificado é indicado para ambientes com pé-direito alto devido a sua curva fotométrica possuir um pequeno ângulo de abertura, como mostra as figuras. A luminária especificada não é adequada aos ambientes com pé-direito iguais aos do projeto em estudo por gerar manchas escuras, causando desconforto no usuário.

Após análise do projeto percebeu-se a importância da comunicação e integração entre as diversas equipes multidisciplinares envolvidas no projeto, criando

assim um cenário ideal para o desenvolvimento de projetos mais sustentáveis. Além disso, é essencial que a gestão dessas equipes especializadas seja por um coordenador experiente. Enfim, para que se tenha um projeto de um edifício eficiente energeticamente e sustentável é de suma importância a gestão e integração de equipes especializadas desde a concepção do projeto até a conclusão da obra.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, Wiliam Ramos; CALDEIRA, Altino Barbosa. Memorial descritivo do projeto executivo da obra da biblioteca do futuro. 2013.

ARAÚJO, *et al.* O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano. **Quatit@s Revista Eletrônica**. n. 1, 2008. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/download/128/101>> Acesso em 02 jun. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15520**. Norma Brasileira. Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT. 2003. 66p.

BARBOSA, Miriam. *et al.* **Estudo da viabilidade de aplicação do sistema de certificação LEED em edificações brasileiras**: Estudo de caso em um hotel. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis – ELECS 2009. 2009. Recife.

BATISTA, *et al.* **Sustentabilidade nas edificações**: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade\\_nas\\_edificacoes\\_contexto\\_internacional\\_e\\_algumas\\_referencias\\_brasileiras\\_na\\_areasustentabilidade\\_nas\\_edificacoes\\_contexto\\_internacional\\_e\\_algumas\\_referencias\\_brasileiras\\_na\\_area.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_areasustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_area.pdf)> Acesso em 27 abr. 2014.

BRASIL. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Resultados do Procel 2012 ano base 2011. 2012. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=&params=itemID=%7BA1516CFD-2424-4E17-BA99-912E47D91F9D%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>> Acesso em: 10 fev. 2014.

\_\_\_\_\_. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C. 2010.

\_\_\_\_\_. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Resultados do Procel 2012 ano base 2011. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/data/documents/storedDocuments/%7BEB3DAE90-58CB-48BF-86E9-1CA876F683B0%7D/%7B7D71F5D8-62EE-4228-91D4-117F4A6EAD51%7D/C7.jpg>> Acesso em: 10 fev. 2014.

FUJIHARA, Maria Carolina. **Construção Sustentável e Certificação LEED no Brasil**. [200?].

LUCAS, Vanessa. **Construção sustentável** – sistema de avaliação e certificação. 2011. 197f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

LUMINÁRIAS INDOOR PHILIPS. Disponível em:  
<[http://www.lighting.philips.com.br/pwc\\_li/br\\_pt/connect/Assets/pdf/Luminarias%20Indoor\\_jul10.pdf](http://www.lighting.philips.com.br/pwc_li/br_pt/connect/Assets/pdf/Luminarias%20Indoor_jul10.pdf)> Acesso em: 12 mar. 2014.

MONTES, María Andrea Triana. **Diretrizes para incorporar conceitos de sustentabilidade no planejamento e projeto de arquitetura residencial Multifamiliar e comercial em Florianópolis.** 2005. 188f. Dissertação (Mestrado). Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PORTO, Márcio. **Relatório de Ecoeficiência:** pleito certificação LEED – Nível Prata. Relatório apresentado à Secretaria de Infraestrutura da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Ano de 2013.

REIS, Daniel Costa. **Gestão de Projetos no Âmbito da Construção Sustentável.** 2011. 371f. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto. 2011.

SÃO PAULO. Sinduscon – SP. **Resíduos da Construção Civil e o estado de São Paulo.** 2012.

SILVA, Janeth Vieira da. **Edificações Sustentáveis:** Investigação sobre a aplicação do Sistema de Certificação LEED a um Edifício em Belo Horizonte, Brasil. 2013. 205f. Dissertação (Mestrado). Escola da Vida e do Ambiente, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2013.

VALENTE, Josie Pingret. **Certificações na Construção Civil:** Comparativo entre LEED e HQE. 2009. 71f. Monografia (Graduação). Escola Politécnica de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000277.pdf>> Acesso em: 09 fev. 2014.