UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA - PROARQ

QUALIDADE AMBIENTAL EM LABORATÓRIOS BIOMÉDICOS

Rodrigo das Neves Costa

Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como requisito parcial necessário à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

Orientadora: Mônica Santos Salgado, D. Sc.

Rio de Janeiro

Maio 2011

QUALIDADE AMBIENTAL EM LABORATÓRIOS BIOMÉDICOS

Rodrigo das Neves Costa

Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PROARQ), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como requisito parcial necessário à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

Aprovada por:

_____

Presidente: Mônica Santos Salgado, D. Sc.

_____

Membro: Maria Lygia Alves de Niemeyer, D.Sc.

_____

Membro: Valéria Michielin Vieira, D.Sc.

Rio de Janeiro

Maio 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

“Se queremos progredir, não devemos repetir a história, mas fazer uma história nova.”

“Temos de nos tornar na mudança que queremos ver.”

Mahatma Gandhi

Agradeço a Deus pela existência e pelas oportunidades concedidas.

Agradeço a Raquel, a meus pais e a meus familiares e amigos pelo incentivo, apoio e carinho que sempre me foram dados em todos os momentos, especialmente naqueles mais difíceis.

Agradeço a minha orientadora Mônica pela dedicação, pelas intervenções a meu favor e pelo pronto atendimento das minhas dúvidas.

Agradeço aos membros da banca pelas valiosas críticas ao trabalho, que me permitiram aprimorá-lo.

Agradeço ao corpo docente, às secretárias do PROARQ e às colegas de turma, com quem tive o prazer de aprender e vencer esta etapa.

Agradeço aos profissionais da FIOCRUZ que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho.

Dedico esta dissertação a Raquel e ao casamento que celebramos há pouco mais de um ano.

Qualidade Ambiental em Laboratórios Biomédicos

Rodrigo das Neves Costa

Orientadora: Mônica Santos Salgado

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PROARQ), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como requisito parcial necessário à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

Esta dissertação insere-se no contexto de pesquisas sobre a arquitetura de laboratórios biomédicos, na medida em que trata da aplicação dos conceitos de qualidade ambiental aos projetos destes espaços. A arquitetura de laboratórios destaca-se pela necessidade de incorporar princípios relacionados à biossegurança, pois o ambiente construído atua como uma das barreiras de proteção aos envolvidos direta ou indiretamente nos procedimentos realizados, frente aos riscos existentes. Nos últimos anos, vem sendo abordada mais intensivamente a performance ambiental das edificações laboratoriais, relacionando-se com a tendência mundial de reaproximação da arquitetura da esfera ambiental e da difusão do conceito de sustentabilidade. Neste sentido, destacam-se os métodos de abordagem da qualidade ambiental das edificações que visam a auxiliar na elaboração de projetos com melhores níveis de desempenho. O objetivo desta pesquisa é avaliar a compatibilidade de aplicação entre os requisitos físicos relacionados ao conceito de biossegurança e os princípios de qualidade ambiental, considerando o contexto dos projetos de laboratórios de pesquisas biomédicas. Para tal, utilizam-se matrizes que cruzam as características de sustentabilidade ambiental – premissas definidas pelo Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) – e requisitos físicos relacionados à biossegurança laboratorial relacionados aos níveis NB-2 e NB-3 – extraídos de diretrizes nacionais e internacionais. Como resultado, percebe-se que os requisitos físicos relacionados ao conceito de biossegurança não impedem a incorporação de princípios de qualidade ambiental ao projeto de laboratórios biomédicos, embora sejam identificadas interferências, tanto positivas como negativas.

Palavras-chave: laboratórios biomédicos, biossegurança, qualidade ambiental, sustentabilidade.

Rio de Janeiro

Maio 2011

Environmental Quality in Biomedical Laboratories

Rodrigo das Neves Costa

Advisor: Mônica Santos Salgado

Abstract of Dissertation presented to PROARQ / FAU / UFRJ, as partial requirement necessary to obtain the degree of Master of Science (M.Sc.) in Architecture.

This work fits into the context of researches about the biomedical laboratories architecture, as it deals with the application of the concepts of environmental quality to the design of these spaces. The laboratories architecture is distinguished by need to incorporate principles related to biosafety, because the building acts as a protection barrier to directly or indirectly involved in the procedures performed, against the existing risks. In recent years, it has been addressed more intensively the environmental performance of laboratory buildings, linking up with the architecture global trend of rapprochement in the environmental sphere and dissemination of sustainability concept. In this sense, we highlight the methodological approaches of the buildings environmental quality that are intended to assist in developing projects with better performance. The objective of this research is to evaluate the application compatibility between the physical requirements related to the concept of biosafety and environmental quality principles, considering the context of projects of biomedical research laboratories. To this end, we use arrays that overlap the features of environmental sustainability – assumptions set by the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) – and physical requirements related to laboratory biosafety levels BSL-2 and BSL-3 – extracted from national and international guidelines. As a result, it is clear that the physical requirements related to biosafety do not preclude the incorporation of environmental quality principles to the design of biomedical laboratories, although we identify interferences, both positive and negative.

Key words: biomedical laboratories, biosafety, environmental quality, sustainability.

Rio de Janeiro

Maio 2011

INTRODUÇÃO 01

CAPÍTULO 1
BIOSSEGURANÇA E LABORATÓRIOS BIOMÉDICOS 09

1.1. Consolidação da microbiologia como ciência e repercussões 13

1.2. Conceitos relacionados à biossegurança 20

1.3. O projeto dos laboratórios e sua influência na segurança ocupacional 26

1.4. Qualidade do projeto e a questão da sustentabilidade 33

CAPÍTULO 2
QUALIDADE AMBIENTAL NA ARQUITETURA 37

2.1. Evolução do conceito de arquitetura com qualidade ambiental 38

2.2. Arquitetura sustentável 47

2.3. Métodos de abordagem da qualidade ambiental nas edificações 54

CAPÍTULO 3
QUALIDADE AMBIENTAL EM LABORATÓRIOS 57

3.1. Sistema de avaliação de desempenho ambiental de edificações: LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) 59

3.2. Qualidade ambiental em laboratórios: o programa Labs 21 67

3.3. Proposta de matriz para avaliação de compatibilidade entre as exigências de biossegurança e os requisitos de qualidade ambiental 71

CONCLUSÕES 95

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101

ANEXO I
REQUISITOS FÍSICOS PARA NÍVEIS DE BIOSSEGURANÇA NB-2 E NB-3 109

ANEXO II
LEED VERSÃ0 3 (2009) 115

ANEXO III
TABELAS DE CRÉDITOS DO ENVIRONMENTAL PERFORMANCE CRITERIA (EPC) DO LABS21 121

Imagem 1.1 | "A peste de Atenas", quadro do pintor belga Michiel Sweerts 11

Imagem 1.2 | "O triunfo da morte", quadro de Peter Brueghel 12

Imagem 1.3 | Adolph Lutz e sua filha, Bertha Lutz, no interior do laboratório do Instituto de Manguinhos 17

Imagem 1.4 | Instalação de lavatórios nos hospitais 18

Imagem 1.5 | Charge sobre a vacinação envolvendo Oswaldo Cruz 18

Imagem 1.6 | Robert Koch trabalhando em seu laboratório 19

Imagem 1.7 | Ciclo da contenção 24

Imagem 1.8 | Pesquisador utilizando a cabine de segurança biológica 25

Imagem 1.9 | Fatores que influenciaram o surgimento da biossegurança 28

Imagem 1.10 | Laboratório típico para o nível NB-2 de biossegurança 31

Imagem 1.11 | Laboratório típico para o nível NB-3 de biossegurança 31

Imagem 1.12 | Lau-out de laboratório NB-3, ICB-USP, com destaque para alguns requisitos físicos 32

Imagem 1.13 | Detalhe para captação de luz natural no National Institutes of Health, Louis Stokes Laboratories, Maryland 36

Imagem 1.14 | Georgia Public Health Laboratory, Decatur, Goergia 36

Imagem 1.16 | Espaço técnico de Laboratórios NB-3, U.S. Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, Georgia, EUA. Fonte: HDR, 2010 37

Imagem 2.1 | Projeções sobre os limites de crescimento mundial 40

Imagem 2.2 | A construção da cabana primitiva segundo Vitruvius 42

Imagem 2.3 | Academia de Ciências da California, projeto de Renzo Piano, 2008 53

Imagem 2.4 | Metodologias de avaliação de desempenho ambiental das edificações pelo mundo 55

Imagem 3.1 | Checklist LEED versão 3 (2009) – parte 1 62

Imagem 3.2 | Checklist LEED versão 3 (2009) – parte 2 63

Imagem 3.3 | Participação no uso do LEED (2006) 64

Imagem 3.4 | Registros e certificações LEED no Brasil 65

Imagem 3.5 | Trecho do EPC – checklist para avaliação de projeto 70

Imagem 3.6 | Fases de desenvolvimento do QFD estendido (desdobramento do produto) 73

Imagem 3.7 | Tabelas que formam a casa da qualidade 74

Imagem 3.8 | Representação gráfica do cruzamento da tabela dos requisitos dos clientes com a tabela das características de qualidade 74

Imagem 3.9 | Matriz de cruzamento entre alvos ambientais e parâmetros de projeto – método ADDENDA 76

Imagem 3.10 | Modelo para o preenchimento da matriz de disciplinas de eco-eficiência com elementos arquitetônicos 77

Quadro 1.1 | Classificação de microorganismos infecciosos por grupo de risco 23

Quadro 1.2 | Relação entre classes de risco, níveis de biossegurança e laboratórios 30

Quadro 2.1 | As lógicas concorrentes da arquitetura sustentável 51

Quadro 3.1 | Comparativo de características entre LEED e EPC 70

Quadro 3.2 | Matriz de análise de impactos potenciais – premissas de sustentabilidade x requisitos de biossegurança – Nível de Biossegurança NB-2 82

Quadro 3.3 | Matriz de análise de impactos potenciais – premissas de sustentabilidade x requisitos de biossegurança – Nível de Biossegurança NB-3 83

INTRODUÇÃO

É fato que as doenças ocupam papel relevante na história da humanidade, notadamente por conta da capacidade de dizimar grandes populações através das epidemias. Paralelamente, a ciência sempre buscou elucidar as formas de transmissão, contágio e tratamento das enfermidades. Em relação a isto, Benchimol (1990) destaca que um marco modificador ocorreu com a teoria microbiana – ou pasteuriana – em função do avanço que representou na forma de abordagem das doenças. Além disso, teve como um de seus desdobramentos a consolidação dos laboratórios como locais indispensáveis e adequados ao desenvolvimento de pesquisas biomédicas.

Atualmente, as instituições que atuam em pesquisa, produção de insumos e prestação de serviços na área de saúde geram benefícios indispensáveis à sociedade em geral. Desta forma, destacam-se os laboratórios de pesquisas como elementos essenciais no desenvolvimento de suas atividades. Ressalte-se ainda que a demanda por espaços desta natureza cresceu, por exemplo, em função do surgimento de doenças emergentes e reemergentes e, consequentemente, da necessidade de estudos relacionados (NAVARRO et al., 2002).

No entanto, o laboratório é também um ambiente ocupacional sujeito à presença de variados riscos, relacionados às atividades desenvolvidas. Isso porque a complexidade e a diversidade das atividades do setor de saúde compreendem desde o atendimento primário, que expõe o profissional a uma variedade de agentes de risco por vezes desconhecidos, até estudos com organismos geneticamente modificados. Nos laboratórios biomédicos, estão presentes riscos físicos, químicos e biológicos que, em função de sua natureza, concentração, intensidade ou tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador.

Neste sentido, a abrangência e o papel da biossegurança foram ampliados nas últimas décadas, incluindo, além dos riscos biológicos, a segurança contra os riscos físicos, químicos, radioativos, ergonômicos e outros (PESSOA, 2006). Considerando a importância desta prevenção, a biossegurança é atualmente reconhecida como

disciplina fundamental. Ou seja, é indiscutível a necessidade de incorporação dos conceitos relacionados para o funcionamento seguro dos laboratórios que envolvem a manipulação de microorganismos infecciosos.

Relacionando a inserção do conceito de biossegurança com o ambiente construído, percebe-se que o processo de projeto das edificações laboratoriais é tarefa complexa e multidisciplinar, onde o papel da arquitetura é bastante destacado. Isso se expõe através das características arquitetônicas e construtivas que devem ser incorporadas ao laboratório, constituindo fatores indispensáveis para garantir sua segurança com relação ao grau de risco identificado. Tais condições têm relação com diversos aspectos arquitetônicos destes ambientes, como a setorização, o lay-out, o sistema construtivo, dentre outros.

Problema

Nos últimos anos, a globalização, os progressos consideráveis da tecnologia, o surgimento de novos laboratórios, a emergência de novas doenças, o aprimoramento das diretrizes existentes e a importância da sustentabilidade vêm modificando a concepção destes espaços (OMS, 2004). Assim, destaca-se a necessidade de considerar outros aspectos nos projetos, no caso específico desta pesquisa, através de uma abordagem sobre o desempenho ambiental dos laboratórios. Logo, é claro que a obtenção de laboratórios biomédicos de qualidade requer a consideração de outros aspectos, além daqueles relacionados à biossegurança, obviamente em compatibilidade com estes últimos.

A dificuldade que se impõe a esta pesquisa é aplicar as premissas de qualidade ambiental aos projetos de laboratórios biomédicos. Considerando que os laboratórios são ambientes destinados à manipulação de material biológico e, portanto, estão inevitavelmente sujeitos aos aspectos relacionados à biossegurança, é necessário compatibilizar estas características com outras necessidades que se apresentam. Este é o caso da sustentabilidade, que tem como um dos objetivos centrais garantir uma relação ambiental equilibrada entre as edificações e o meio.

Primeiramente, é importante considerar as diversas exigências a serem aplicadas aos projetos desta natureza, em função dos riscos identificados. Com relação a isto, os conceitos relacionados à biossegurança visam a redução da exposição dos envolvidos e do ambiente em geral aos agentes patogênicos (VIEIRA, 2008). Para tal, envolvem a necessidade de avaliação de riscos e se materializam através de barreiras de contenção necessárias à manipulação segura do material potencialmente contaminado, que são objetos de diretrizes específicas. Portanto, configuram-se como elementos do projeto, na medida em que interferem na infra-estrutura física do laboratório, e devem ser necessariamente incorporados à concepção arquitetônica.

Por outro lado, é importante perceber que atender aos requisitos de biossegurança, embora indiscutivelmente necessário, confere ao projeto abrangência apenas sobre determinados aspectos da saúde, em relação aos envolvidos diretamente ou indiretamente. Neste cenário, torna-se necessário inserir ainda a discussão sobre a sustentabilidade, cuja abordagem considera aspectos relacionados ao impacto ambiental da construção, gestão de recursos, eficiência energética, conforto ambiental e saúde.

Justificativa

Diversas são as motivações que impulsionaram a realização desta pesquisa, relacionadas basicamente às duas variáveis que são abordadas em função da problemática exposta: biossegurança e qualidade ambiental.

Atualmente, está bem evidenciada a crise ambiental que o planeta se encontra. Os problemas iniciados com a Revolução Industrial e acentuados no final do século XX acarretaram discussões sobre as circunstâncias ambientais do planeta, principalmente visando a garantia da preservação de condições adequadas de sobrevivência. Com isso, passaram a ser percebidos efeitos negativos em nível global: mudanças climáticas, aquecimento global, destruição da camada de ozônio, alteração de ecossistemas, elevação dos níveis oceânicos, diminuição das florestas e poluição (JOHN, 2007).

Neste contexto, a construção civil é considerada uma grande causadora de impactos ao meio ambiente. Isso porque as atividades relacionadas à construção, operação e demolição de edifícios implicam o consumo intensivo de energia, a utilização em larga escala de recursos naturais e a geração de resíduos. Logo, em função desta participação, tem se evidenciado a necessidade de modificação da concepção das edificações em geral.

Considerando o panorama deflagrado no final do século passado, a arquitetura, paralelamente às iniciativas deflagradas por outros setores, buscou reaproximar-se da dimensão ambiental nos projetos (GAUZIN-MÜLLER, 2006). Exemplos disto são o surgimento de correntes arquitetônicas ligadas à sustentabilidade e a criação de metodologias de avaliação de desempenho ambiental. Isso mostra que o conceito de desenvolvimento sustentável trouxe a idéia de minimização dos impactos gerados pela edificação, acentuando a obrigação do arquiteto em considerar os princípios de qualidade ambiental, objetivando um melhor desempenho dos projetos.

Estreitando o foco para as edificações laboratoriais, percebe-se que estas são grandes consumidoras de energia e recursos naturais. Tal fato revela-se através da demanda de energia elétrica 5 a 10 vezes maior (por metro quadrado) que edifícios comerciais, por exemplo. No caso de salas limpas e laboratórios de biocontenção, este consumo pode atingir 100 vezes o consumo de uma edificação de tamanho equivalente com função comercial ou institucional (EPA, 2000). Desta forma, fica evidente a utilidade de incorporar os princípios de qualidade ambiental aos laboratórios.

Enfim, considerando a existência e a necessidade de agregar os requisitos físicos relacionados à biossegurança, que se impõe aos projetos de ambientes laboratoriais destinados às pesquisas biomédicas, é de grande utilidade esclarecer a compatibilidade entre tais requisitos e os princípios de qualidade ambiental.

Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a compatibilidade de aplicação entre os requisitos físicos relacionados ao conceito de biossegurança e os princípios de qualidade ambiental, considerando o contexto dos projetos de laboratórios biomédicos. Este ponto central remete a verificar:

- se é possível incorporar princípios de sustentabilidade a laboratórios;
- se existem aspectos mais relevantes para o desempenho ambiental;
- quais são os pontos críticos a serem controlados;
- qual é a melhor forma de incorporar estes princípios aos projetos;
- se os requisitos de biossegurança representam entraves à qualidade ambiental destes ambientes;
- quais são as limitações para atingir a qualidade ambiental nos projetos de laboratórios biomédicos.

Neste sentido, espera-se contribuir para evolução e consolidação dos estudos sobre a arquitetura de laboratórios, visando agregar parâmetros e diretrizes a serem considerados nos projetos, além de propor temas para a elaboração de novos estudos.

Classificação da Pesquisa

Pode-se classificar a pesquisa em função de quatro aspectos principais: a natureza, a forma de abordagem do problema, os objetivos (fins) e os procedimentos técnicos utilizados (meios). Com base em Gil (1999), com relação à natureza, este estudo define-se como básico, pois objetiva gerar e consolidar conhecimentos sobre o tema, sem, necessariamente, convertê-los em aplicações práticas. Quanto à forma de abordagem do problema, a pesquisa é classificada como qualitativa, tendo em vista que baseia-se no estabelecimento de um vínculo entre biossegurança e qualidade ambiental.

Em relação aos objetivos, em primeira análise, de acordo com Barros e Lehfeld (1986), este trabalho se classifica como exploratório, na medida em que procura proporcionar maior conhecimento do problema, tornando-o mais explícito. Porém, é possível ainda enquadrar a pesquisa como descritiva, pois seu objetivo principal é avaliar a relação de compatibilidade entre dois campos aplicáveis aos projetos de laboratórios biomédicos: biossegurança e qualidade ambiental.

Com relação aos procedimentos técnicos, este estudo utilizou-se de pesquisa bibliográfica e documental, além de levantamento e análise de dados. Então, em primeiro momento, a pesquisa bibliográfica e documental possibilitou construir uma base teórica, visando o conhecimento do problema. Além disto, foi efetuado um levantamento de dados, considerando os temas de estudo, que fundamentaram a etapa posterior, a análise de dados.

Metodologia

Como forma de alcançar o objetivo principal do trabalho, tornou-se necessário traçar um breve panorama sobre o papel das doenças em relação à sociedade e a evolução dos conhecimentos relacionados às formas de transmissão e desenvolvimento, com destaque para as suas conseqüências. Foi necessário também identificar e apresentar os conceitos relacionados à biossegurança e sua aplicação nos ambientes laboratoriais, relacionando-os com os requisitos físicos inerentes a tais espaços. Com base nisto, foi possível identificar as atuais demandas aplicáveis aos projetos desta natureza e, com destaque para as necessidades ambientais.

Por outro lado, tratou-se de reconhecer e expor os princípios de sustentabilidade, através de um breve histórico sobre a preocupação ambiental e a busca pelo desenvolvimento sustentável. Além disso, foi importante destacar a relação entre a arquitetura e o meio ambiente, enfatizando o desenvolvimento de vertentes ecológicas e a evolução do conceito de participação da edificação no meio exterior. Em função disto, mostrou-se ainda a atual abordagem da arquitetura sustentável (e suas

correntes), além do desenvolvimento das metodologias para abordagem da sustentabilidade nas edificações.

Considerando o embasamento teórico, foi imperioso estabelecer um cruzamento entre os princípios de qualidade ambiental e as exigências de biossegurança aplicáveis aos laboratórios. A partir deste, foi possível destacar os aspectos determinantes para a incorporação dos requisitos de qualidade ambiental ao projeto, identificar as possibilidades de melhoria da qualidade ambiental, sem preterir os requisitos de biossegurança, e propor reflexões acerca dos futuros projetos de mesma natureza.

Os dados foram tratados através de uma matriz proposta para avaliar a compatibilidade entre as características de sustentabilidade ambiental – premissas definidas pelo Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) – e requisitos físicos relacionados à biossegurança laboratorial relacionados aos níveis NB-2 e NB-3 – recolhidos de diretrizes nacionais e internacionais. A proposição de análise foi estabelecida considerando referências anteriormente desenvolvidas em pesquisas que envolvem o uso de matrizes para avaliação do ambiente construído.

Esclareça-se que o LEED foi escolhido em função de alguns pontos verificados relacionados ao objeto de análise da pesquisa, basicamente com relação à estrutura deste sistema de avaliação quanto com relação a outras metodologias complementares desenvolvidas. Está apresentada no capítulo 3 uma pequena análise sobre as características deste programa e sua relação com este estudo.

Posteriormente, como resultado, os dados obtidos foram convertidos em considerações, proposições e diretrizes acerca da compatibilidade de aplicação entre os requisitos físicos relacionados à biossegurança e as premissas de qualidade ambiental, considerando o contexto dos projetos de laboratórios de pesquisas biomédicas.

Estrutura

A presente pesquisa foi estruturada em três capítulos. O Capítulo I trata dos aspectos intrínsecos às doenças – influência na sociedade, desenvolvimento da ciência e concepção dos ambientes de saúde – e aos laboratórios, onde são destacados os aspectos relacionados à biossegurança. Enfatizando o laboratório como ambiente ocupacional, mostra-se a aplicação da biossegurança através de requisitos para as áreas físicas dos laboratórios e as demandas aplicáveis a estes projetos.

Em seguida, o Capítulo II aborda a qualidade ambiental na arquitetura, mostrando inicialmente o agravamento dos problemas ambientais globais, a evolução da preocupação ambiental até o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável. Em paralelo, são colocadas as repercussões relacionadas à arquitetura. Evoluindo até a abordagem da arquitetura sustentável, ou ainda, com qualidade ambiental, destacam-se os métodos de auxílio e avaliação da qualidade ambiental nas edificações.

A avaliação da compatibilidade entre os requisitos físicos relacionados ao conceito de biossegurança e os princípios de qualidade ambiental nos laboratórios biomédicos é o tema tratado no Capítulo III. Neste sentido, são analisados os dados obtidos através da proposta de análise. Através das matrizes elaboradas, são geradas informações sobre a compatibilidade de aplicação entre os requisitos físicos de biossegurança e os alvos de qualidade ambiental, aplicáveis aos projetos de laboratórios de pesquisas biomédicas. Em seguida, destacam-se as conclusões obtidas, contribuições e diretrizes para projetos futuros, além de perspectivas de realização de novos estudos.

> "As pessoas, ouvindo falar em micróbios, como São Tomás de Aquino ouviu falar em anjos, subitamente concluíram que toda arte de cura resume-se em achar o micróbio e matá-lo."
>
> (Bernard Shaw - 1906)

É fato que, ao longo da história, as doenças constituem sérias ameaças aos seres humanos, dada sua capacidade de matar milhões de pessoas, alastrando-se por grandes regiões do mundo. E, durante muitos séculos, diversas foram as teorias formuladas sobre causas, formas de contágio, tratamento e prevenção das enfermidades transmissíveis. Não se sabia o que produzia as pestes e as grandes epidemias: castigos divinos, conjunções astrológicas e mudanças de clima eram algumas das explicações mais comuns (MARTINS, 1997).

Particularmente na natureza, destaca Groombridge (1992 apud MENDONÇA-HAGLER, 2001, p.16) que os microorganismos possuem "o mais rico repertório de diversidade genética e metabólica existente no planeta. Cerca de 50% do protoplasma[1] da biosfera[2] encontra-se no ambiente microbiano (bactérias, fungos, algas e protozoários)." Além disso, o registro dos microorganismos e sua história evolutiva ocorrem desde mais de 3,5 bilhões de anos e "são essenciais para os ciclos biogeoquímicos[3] e cadeias alimentares[4]". Por isso, a contribuição dos microorganismos

---

[1] Conteúdo de uma célula envolvido pela sua membrana plasmática, ou ainda, substância que constitui o interior das células (ALBERTS et al., 1997).

[2] Biosfera é o conjunto de todos os ecossistemas do planeta, ou seja, o espaço onde se desenvolve a vida. Seu limite superior é a camada de ozônio e o inferior varia desde o solo até o fundo do oceano.

[3] O ciclo biogeoquímico é o percurso realizado no meio ambiente por um elemento químico essencial à vida, compreendendo a transferência entre os organismos e as diferentes partes do planeta.

[4] A cadeia alimentar é uma seqüência de seres vivos/populações que se alimentam uns dos outros. É a maneira de expressar as relações de alimentação entre os organismos de uma comunidade/ecossistema.

é essencial para a vida no planeta, considerando sua participação nos mecanismos evolutivos.

Sobre as doenças, é possível afirmar que o homem sempre envidou grandes esforços no sentido de explicar e equacionar as calamidades traduzidas na expansão e na configuração das epidemias e pandemias. Neste sentido, Ujvari (2009) lembra que os avanços no entendimento do DNA e RNA dos microorganismos causadores de doenças ao homem aliam-se a arqueologia para esclarecer a história da humanidade, destacando ainda que os vírus e as bactérias têm sido grandes protagonistas neste processo histórico. Diante disso, fica patente a importância e a utilidade do estudo das doenças, evidenciando que as pesquisas que envolvem microorganismos causadores de enfermidades são fundamentais para a evolução científica.

No atual contexto mundial, considerando o desenvolvimento tecnológico e a globalização, a interferência do indivíduo no meio ambiente aumenta a cada dia, o que concorre para o surgimento e o agravamento do risco de introdução ou reincidência das doenças. Desta forma, o imprevisível e diversificado comportamento das doenças infecciosas emergentes e reemergentes[5] tem acarretado a discussão das condições de saúde nas instituições de ensino, pesquisa, tecnologia e de prestação de serviços. E isso expõe a necessidade de ambientes de pesquisa adequados.

Relacionado a isto, um importante conceito a ser abordado é o de epidemia, definido como a ocorrência, em uma comunidade ou região, de casos de uma doença em número superior ao esperado (SCLIAR, 2005). O autor complementa ainda que quando a doença se espalha de uma forma incontrolável e não se trata apenas de corpos individuais, mas da comunidade social, caracteriza-se uma situação nova e apavorante, capaz de levar o caos a cidades, a regiões e a países.

[5] Expressão conceitual que define a ação de novos agentes patogênicos, ou ainda, agentes já conhecidos com novas características de risco para a saúde do homem ou de animais.

Como exemplo, pode-se citar a Síndrome Aguda Respiratória Grave (SARS), ocorrida em vários países e regiões. Em novembro de 2002, a doença foi registrada na China e, em primeiro momento, foi caracterizada como um surto de pneumonia, afetando apenas quatro pacientes. Depois, em fevereiro de 2003, outros casos foram identificados em Hong Kong, no Vietnã, em Cingapura e no Canadá, quando ficou evidente a transmissibilidade da síndrome no ambiente hospitalar e a confirmação de uma doença respiratória de etiologia não conhecida.

Portanto, fica evidente que existem alguns fatores determinantes para a ocorrência das doenças emergentes, como a grande densidade populacional e a velocidade dos transportes. Porém, eventos como este mostram a capacidade que algumas doenças – cólera, varíola, sarampo e gripe são exemplos bastante conhecidos – possuem de atingir, ou até mesmo matar, milhões de pessoas em diferentes épocas e lugares (vide imagem 1.1).

Imagem 1.1 | "A peste de Atenas", quadro do pintor belga Michiel Sweerts. Fonte: Martins, 1997.

Contudo, é importante destacar que as doenças vêm ocorrendo a milhares de anos, havendo registros de diversos casos de epidemias, todos anteriores à teoria microbiana das doenças. Diante disso, é importante perceber a magnitude de suas conseqüências, a eventual incapacidade de controlar a propagação e a tentativa de formular teorias para explicar as forma de transmissão e contágio.

Alguns casos, como a denominada Peste Negra, considerada a pior epidemia da história da humanidade, exemplificam a imprevisibilidade, a recorrência e a magnitude das epidemias ao longo da história, evidenciando a gravidade dos riscos associados a doenças fora do controle da medicina (vide imagem 1.2). A ocorrência da doença se iniciou em 1347, espalhando-se rapidamente através das rotas marítimas e, em 1348, a doença já havia atingido as áreas mais densas de estados cristãos e muçulmanos. A peste desenvolveu-se num momento de crise agrária e, por volta de 1350, as regiões central e ocidental da Europa haviam sido afetadas.

Imagem 1.2 | "O triunfo da morte", quadro de Peter Brueghel. Fonte: Martins, 1997.

Considerando a incidência das doenças e sua evolução ao longo da história, é importante ressaltar que o conhecimento acerca do funcionamento das doenças nem sempre esteve bem elucidado e evoluiu juntamente com as civilizações. Os povos antigos acreditavam que tanto os fenômenos da natureza quanto as infecções eram enviadas por entidades divinas. Para revelar e prever as epidemias e desastres naturais era necessário receber e interpretar os sinais sagrados (FREITAS, 2003). Os egípcios acreditavam na propagação das doenças através do contato da pele, os hebreus julgavam que a contaminação se dava por meio de roupas e objetos, enquanto os indianos achavam que as doenças eram produzidas por vermes invisíveis.

Na Grécia antiga, século V a.C., Hipócrates contribuiu para desassociar as causas das doenças de eventos divinos. Isso porque ele foi pioneiro difundindo que as doenças eram ocasionadas pelo ambiente natural e que os sintomas eram reações normais do organismo. Neste sentido, suas afirmações influenciariam os anos seguintes, e até mesmo os próximos séculos, e Hipócrates ficaria conhecido como pai

da medicina. E também atribui-se a ele a elaboração do juramento médico, do qual se destaca o trecho: "(...) Aplicar os tratamentos para ajudar os doentes conforme minha habilidade e minha capacidade (...)."

Portanto, resta configurado que a busca pelo conhecimento sobre as enfermidades, em especial aquelas transmissíveis ao homem, é uma constante necessidade ao longo da história. Atualmente, sabe-se que muitas doenças são produzidas por microorganismos. No entanto, esse é um conhecimento biológico relativamente recente, com pouco mais de um século de idade. Martins (1997) afirma que, antes disso, desconhecia-se a real causa das doenças transmissíveis, e estas eram explicadas e tratadas de formas que atualmente soam absurdas.

Neste contexto, vale destacar um marco fundamental deste processo que ocorreu apenas durante a segunda metade do século XIX: o estabelecimento da teoria microbiana das doenças. Naquele momento, ocorreu a aceitação definitiva dos agentes infecciosos como causadores das doenças e se estabeleceu a medicina dos agentes patogênicos (SILVA, 2001b). Este processo induziu a um novo saber e um novo olhar sobre o homem – sujeito e objeto do conhecimento – inaugurando um discurso científico que determinava a utilização da fidelidade e da obediência incondicionais ao conteúdo da experiência. Desta forma, fica evidente a importância deste período histórico, visto que as descobertas ocorridas à época alteraram completamente a concepção sobre as enfermidades.

1.1. Consolidação da microbiologia como ciência e repercussões

Contrariando uma tendência evolutiva, Piazzo (1997) afirma que o que predominou no saber médico até a Idade Média foi a especulação em prejuízo da investigação prática e da observação. Assim, a teoria dos miasmas[6] foi amplamente utilizada no meio científico durante o século XIX. Por outro lado, nas últimas décadas do século XIX foram registradas intensas mudanças no que se refere às noções de

[6] Emanações que eram atribuídas às doenças infecto-contagiosas.

saúde até então conhecidas, desencadeadas pelas descobertas envolvendo as doenças e os microorganismos.

Da antiga visão de higiene passou-se à teoria da saúde pública sustentada por uma nova epidemiologia, em função dos diversos estudos realizados, destacando-se aqueles desenvolvidos por Pasteur e Koch. Esta renovação da saúde pública teve como propósito erradicar as doenças por meio da eliminação dos microorganismos. Canguilhem (1977) destaca que esta nova teoria microbiana, que representou uma promessa futura de cura e sobrevivência para milhões de homens e animais, comportaria igualmente a falência de todas as teorias médicas do século XIX. Estes estudos inovadores foram agrupados sob a denominação de microbiologia e revolucionaram a medicina, configurando-se então um novo modelo científico, definido da seguinte maneira:

> No plano epistêmico, a novidade da revolução pasteuriana foi ter constituído objetos de ciência que não se identificam ao homem sofredor e doente da tradição médica neo-hipocrática; foi ter inaugurado disciplinas que transcorrem em outro lugar que não o hospital, segundo métodos e regras que não são os da cura. Disciplinas que se realizam num universo específico – o laboratório – onde a relação do cientista com o seu objeto é mediatinizada por um conjunto cada vez mais complexo e sofisticado de técnicas e instrumentos. Suas experiências visam, é claro, a compreensão e erradicação da doença, quer seja no homem, nos animais ou mundo vegetal – mas esse é seu objetivo último, não sua causa ou motivação primeira. A relação entre o laboratório e a terapêutica não é imediata, sequer obrigatória para conferir legitimidade àquelas investigações mais puras do espectro das disciplinas que vão compor a chamada medicina experimental (BENCHIMOL, 1990, p. 7).

Esta evolução do conhecimento científico acerca das doenças ficou conhecida como Revolução Pasteuriana e foi marcada pela intensa necessidade de experimentação. Com isso, é importante perceber que surge a necessidade de

transposição do local de realização de experiências: do hospital para o laboratório. Destacam-se, cronologicamente organizadas abaixo, as descobertas consideradas pioneiras sobre as doenças causadas por microorganismos (MARTINS, 1997):

1835 | Agostino Bassi descobre que a doença dos bichos da seda é produzida por microorganismos;

1836 | Antoine Donné descobre microorganismos associados a doenças venéreas;

1840 | Jacob Henle propõe que todas as doenças contagiosas seriam produzidas por microorganismos;

1850 | Casimir Davaine e Pierre Rayer descobrem um bacilo causador de uma doença (antraz);

1855 | John Snow publica estudos que mostram que o cólera se transmite principalmente pela água contaminada;

1861-68 | François Jules Lemaire estuda substâncias anti-sépticas, detecta microorganismos no ar e propõe que eles são as causas das doenças transmissíveis;

1863-69 | Davaine comprova o papel de bactérias como causa do antraz;

1865-67 | Antoine Béchamp mostra que uma nova doença dos bichos da seda (pebrina) é produzida por parasitas microscópicos;

1867-1871 | Joseph Lister desenvolve o método cirúrgico anti-séptico;

1876 | Robert Koch estuda o antraz e desenvolve a metodologia de estudo de microorganismos causadores de doenças;

1880-83 | Robert Koch identifica os microorganismos causadores da tuberculose e do cólera;

1880-85 | Louis Pasteur e colaboradores desenvolvem vacinas contra antraz e raiva;

Década de 1880 | Descoberta de vários microorganismos causadores de doenças, por diversos pesquisadores.

Portanto, ao final do século XIX, a Revolução Pasteuriana pontua uma divisão histórica, marcada pela aceitação definitiva dos agentes infecciosos como causadores das doenças, estabelecendo a medicina ligada aos agentes patogênicos, processo que motivou novas formas de abordagem científica das doenças. Esses estudos desenvolvidos principalmente por Pasteur, dentre outros pesquisadores, foram agrupados sob a denominação de microbiologia. A partir destas descobertas, ocorreram evoluções no conhecimento sobre as formas de contágio, transmissão, diagnóstico, cura e prevenção das doenças.

No entanto, estas descobertas, além de alterar profundamente a medicina, influenciaram o pensamento e as estruturas sociais da época. O novo paradigma impunha-se como modelo para a formação daqueles que se dedicavam ao tratamento das doenças e, a partir daquele momento, à ciência das doenças. Além disso, estas mudanças se refletiram na organização da saúde pública, que foi reformulada sob novos parâmetros. Com isso, podem ser destacados quatro diferentes desdobramentos de grande vulto (BENCHIMOL, 1990), dentre os quais três possuem relação com a arquitetura e o urbanismo:

- Consolidação da microbiologia como ramo da ciência médica;

- Alteração na concepção dos ambientes hospitalares;

- Adoção de medidas de saúde pública e saneamento básico;

- Consagração do laboratório como local de desenvolvimento de pesquisas.

Primeiramente, a consolidação da microbiologia como ciência permitiu e originou um grande impulso no desenvolvimento de pesquisas. Isso se verificou principalmente com a fundação de diversos centros de pesquisa ao final do século XIX e início do século XX. Vieira (2008) destaca que o Instituto Pasteur, fundado em 1888 em Paris, pontuou o fechamento de um ciclo iniciado a partir das pesquisas de seu

fundador, que culminaram no domínio das doenças infecciosas e na delimitação do vasto campo científico da microbiologia. No Brasil, o Instituto Soroterápico de Manguinhos, posteriormente denominado Instituto Oswaldo Cruz, foi fundado em 1900, com o objetivo inicial de preparar e distribuir soro antes que a peste bubônica chegasse ao Rio de Janeiro.

Imagem 1.3 | Adolph Lutz e sua filha, Bertha, no interior do Laboratório do Instituto de Manguinhos. Fonte: COC/FIORUZ, s/d.

Por outro lado, Benchimol (1990) lembra que, até o século XVIII, os hospitais, geralmente mantidos por instituições religiosas de caridade, mais se assemelhavam a asilos de indigentes, com salas úmidas, escuras e lotadas, oferecendo condições completamente desfavoráveis. Os doentes partilhavam leitos onde se misturavam os sexos, as idades e os males. Com altíssimos índices de mortalidade, eram edificações que propiciavam a multiplicação da doença em seu interior e a proliferação delas no organismo urbano.

Diante das novas constatações, os hospitais passam a ser planejados arquitetonicamente de forma diferente, com partes que deviam interagir entre si, objetivando a cura dos pacientes. As descobertas demonstram a necessidade de isolar as diferentes doenças para combater os seus respectivos agentes biológicos, bem como o surgimento dos conceitos de desinfecção e esterilização. Desta forma, Silva (2001a) afirma que, neste momento, a configuração espacial dos hospitais já passa a atender procedimentos de fluxos de materiais que tinham contato com os pacientes.

Imagem 1.4 | Instalação de lavatórios nos hospitais. Fonte: Martins, 1997.

Além disso, as transformações ocorridas no século XIX impulsionaram diversas reformas urbanas nas grandes cidades mundiais, sob a lógica da higiene urbana, que visavam eliminar os riscos de epidemias. A concentração populacional nos centros das principais cidades, com casas e ruas estreitas e escuras, mal ventiladas e desprovidas de saneamento básico, constituía um sério risco para o controle de epidemias que freqüentemente emergiam e afetavam, também, o desenvolvimento econômico regional.

Nesse contexto, pode-se citar como exemplo a reforma urbanística idealizada por Pereira Passos, que implementou diversas ações que visavam, dentre outros aspectos, melhorar as condições de salubridade e higiene da cidade do Rio de Janeiro. Da mesma forma, cita-se o projeto de lei foi aprovado em 1904, que instituía a vacina obrigatória, defendida principalmente por Oswaldo Cruz, que realizou importantes campanhas contra a varíola, a febre amarela e a peste bubônica, apesar da resistência.

Imagem 1.5 | Charge sobre a vacinação envolvendo Oswaldo Cruz. Fonte: Martins, 1997.

Finalmente, a partir das experimentações de Pasteur, foram desenvolvidas diversas técnicas e conceitos relativos ao estudo das doenças, tais como a fermentação, a coloração dos microrganismos e a fotografia microscópica. Nesse contexto, Vieira (2008) coloca que o laboratório foi amplamente eleito como lugar específico para geração de conhecimentos científicos, impulsionando e conferindo maior legitimidade às disciplinas e aos experimentos biomédicos, independentemente de sua eventual utilidade imediata.

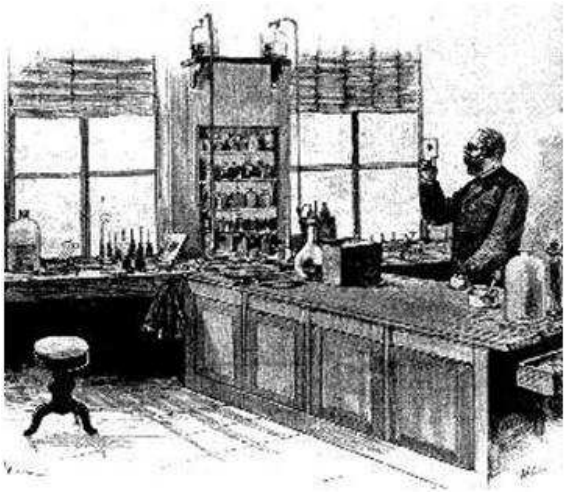

Imagem 1.6 | Robert Koch trabalhando em seu laboratório. Fonte: Martins, 1997.

Considerando os seus desdobramentos, percebe-se que a revolução pasteuriana marcou o início de um processo de acelerado desenvolvimento das ciências biomédicas. Naquele momento, as pesquisas em saúde passaram a ser desenvolvidas em maior quantidade e qualidade. Com isso, a demanda inicial de pesquisas cresceu e se modificou, gerando a necessidade de espaços novos para a realização das atividades científicas na área biomédica, sob novas perspectivas, tais como a identificação de agentes causadores de doenças, produção de vacinas e soros.

Como conseqüência, os laboratórios biomédicos finalmente se consolidaram como ambientes de desenvolvimento de conhecimentos e assumiram papel de grande importância e responsabilidade, dada a singularidade dos trabalhos desenvolvidos, expondo as pessoas próximas ou que neles trabalham a riscos de doenças. Assim, fica evidente a participação da arquitetura como elemento chave na melhoria de qualidade destas atividades. Porém, nem sempre foi dada a relevância necessária às questões de

segurança ocupacional pertinentes aos laboratórios e sua relação com o ambiente construído, abordadas através dos conceitos relacionados à biossegurança.

1.2. Conceitos relacionados à biossegurança

É inegável que a biossegurança surgiu como disciplina em função da necessidade de prevenção dos riscos associados aos espaços de saúde. Isso se torna claro ao analisar os principais conceitos relacionados, como o risco ocupacional, a prevenção, a contenção e as barreiras.

Inicialmente, cabe destacar que o surgimento do termo risco coincide com o processo de formação das modernas sociedades ocidentais no final da Renascença e início das revoluções científicas e tecnológicas (LAPA, 2005). Desde sua origem, este conceito é vinculado às incertezas e ao desafio de prever e controlar o futuro. Porém, este cenário foi alterando-se gradativamente, até se proceder à constatação de que o homem é responsável por criar e remediar seus próprios males.

Neste sentido, o médico italiano Bernardino Ramazzini destacou-se com os primeiros estudos sobre doenças relacionadas aos processos de trabalho, catalogando-as em livro que data do ano de 1700. Contudo, somente a Revolução Industrial e o estabelecimento das relações entre capital e trabalho impulsionaram alguns setores da sociedade a perceberem a existência de doenças ocupacionais. Naquela época, estas se deviam principalmente à exploração social do trabalho e submissão dos trabalhadores a condições extremamente adversas, insalubres e perigosas.

Atualmente, segundo Freitas (2003), predomina a compreensão do conceito de risco vinculado à possibilidade de prever situações por meio de conhecimentos, proveniente da teoria probabilística desenvolvida na França do século XVII. Conway (1982) complementa que o risco pode também ser definido como a proporção entre a probabilidade de ocorrência e a severidade de possíveis efeitos adversos. Tais efeitos podem estar associados à exposição ocupacional, o que resulta em uma investigação

de determinação de causa e de identificação dos agentes de risco, que visa evitar exposições e proteger a saúde do trabalhador e o meio ambiente.

Em síntese, pode-se concluir que o conceito de risco se associa a determinados fatores. São eles: o desenvolvimento do trabalho, a percepção e a identificação dos riscos relacionados às atividades ocupacionais, as condições ambientais, a previsibilidade de eventuais acidentes, os efeitos gerados e o grau de exposição a agentes prejudiciais. Logo, fica evidente que o grau de risco é majoritariamente definido em função da atividade em questão.

Neste particular, cabe ressaltar que a complexidade e a diversidade das atividades do setor de saúde compreendem desde o atendimento primário, expondo o profissional a uma variedade de agentes de risco por vezes desconhecidos, até sofisticados estudos que envolvem a manipulação de material genético. Este último coloca o profissional diante de uma tecnologia avançada de modificação genética, cuja dimensão de risco ainda não pode ser plenamente mensurada.

É importante acrescentar ainda que, além dos agentes patogênicos tradicionalmente conhecidos, as doenças emergentes e reemergentes representam um problema adicional para os profissionais de saúde, destacando-se dois aspectos. O primeiro diz respeito à definição de mecanismos eficazes de contenção do processo de contágio; e o outro refere-se à identificação de medidas que assegurem o controle do risco ao qual estão sujeitos estes profissionais. Neste contexto, se destaca o papel da arquitetura, pois a concepção dos ambientes que envolvem o contato com as doenças é uma das medidas a serem adotadas para minimizar os riscos associados.

Paralelamente, Hirata (2002) afirma que os laboratórios de ensino e pesquisa biomédica diferenciam-se dos demais não apenas pela variabilidade de atividades desenvolvidas – manipulação de produtos químicos, radioativos e microorganismos patogênicos – mas também pela alta rotatividade de material humano: professores, pesquisadores, alunos de graduação, pós-graduação e demais técnicos. Neste sentido, a OMS afirma que “os profissionais que atuam em laboratórios de pesquisa e

diagnóstico constituem o grupo de maior risco do total dos profissionais que trabalham na área de saúde." (PESSOA; LAPA, 2003, p.230).

Diante disso, é importante perceber que a tarefa de avaliar, prever e controlar os riscos inerentes às atividades laboratoriais é bastante complexa, dada a quantidade de fatores que as influenciam. Logo, é fundamental estabelecer uma avaliação multidisciplinar, considerando principalmente o caráter variável das condições de trabalho nestes espaços. Neste sentido, o papel da arquitetura é preponderante, pois a concepção destes ambientes deve incorporar determinadas premissas que atuam como barreiras de proteção aos riscos identificados.

Pessoa (2006, p.51) afirma ainda que "o controle das infecções no setor de microbiologia é fundamental, isto porque, no preparo e manejo das culturas, são produzidas quantidades significativas de microorganismos infecciosos". Logo, o indivíduo pode permanecer exposto a uma concentração ainda maior de microorganismos do que ocorreria com a exposição direta ao paciente que originou o espécime. Isso mostra a magnitude dos riscos associados ao ambiente laboratorial.

Ainda sobre o conhecimento e identificação dos riscos ocupacionais, Torreira (1997) expõe uma série de prioridades a serem observadas, conforme a seguinte hierarquia de importância (do mais importante para o menos importante): eliminar os perigos identificados, reduzir o nível de riscos, proporcionar dispositivos de segurança, providenciar advertências e estabelecer procedimentos de segurança e equipamentos de proteção necessários.

Neste contexto, é importante destacar a definição de biossegurança, no seu conceito amplo:

> o conjunto de saberes direcionados para ações de prevenção, minimização ou eliminação de riscos inerentes às atividades de pesquisa, produção, ensino, desenvolvimento tecnológico e prestação de serviços, as quais possam comprometer a saúde do homem, dos

animais, das plantas e do meio ambiente ou a qualidade dos trabalhos desenvolvidos (FIOCRUZ, 2005, p. 11).

E ainda, é importante ressaltar que, paralelamente ao avanço científico e tecnológico, foi ampliado o alcance do conceito de risco. Assim, essa mudança alargou também a abrangência dos conceitos relacionados à biossegurança. No caso particular das atividades laboratoriais, passou a incluir além dos riscos biológicos, a segurança contra os agentes presentes: físicos, químicos, radioativos, ergonômicos e outros.

Considerando a patogenicidade para o homem, o modo de transmissão, o raio de ação e a existência de medidas de prevenção e tratamento, os agentes biológicos são classificados conforme quatro diferentes classes de risco, crescentes segundo os perigos de infecção que representam para o homem e animais. Esta classificação está sintetizada no Quadro 1 e refere-se exclusivamente à manipulação em laboratório.

Quadro 1.1 – Classificação de microorganismos infecciosos por grupo de risco.

Grupo de Risco	Características dos agentes biológicos
Risco 1	**Nenhum ou baixo risco individual e coletivo.** Microrganismos que provavelmente não podem causar doenças em homens ou animais. Exemplo: *Lactobacillus*.
Risco 2	**Moderado risco individual e baixo risco coletivo.** Agentes patogênicos que provocam doenças em homens ou animais, embora não representem sério risco para quem os manipula, para a comunidade ou o ambiente. As exposições em laboratórios podem causar infecções graves. Mas há tratamento efetivo e medidas de prevenção disponíveis; o risco de disseminação é limitado. Exemplo: *Schistosoma mansoni* (esquistossomose).
Risco 3	**Alto risco individual e baixo risco coletivo.** Agentes patogênicos que geralmente causam doenças graves em homem ou animais, mas que não se disseminam habitualmente de um indivíduo infectado para outro de forma imediata. Existem medidas de prevenção e tratamento eficazes. Exemplo: *Bacillus anthracis* (anthrax).
Risco 4	**Alto risco individual e alto risco coletivo.** Agentes patogênicos que podem causar graves doenças em homem ou animais, transmitindo-se de um indivíduo para outro direta ou indiretamente e com muita facilidade. Geralmente não há medidas de prevenção e tratamento efetivas. Exemplo: *Ebolavirus* (ebola febre hemorrágica).

Fonte: Adaptado de OMS, 2004.

A aplicação das diretrizes de biossegurança no ambiente laboratorial se dá através dos elementos de contenção, denominação utilizada para descrever os métodos de segurança necessários à manipulação dos agentes de risco. Ou seja, o objetivo da contenção é eliminar, ou reduzir sensivelmente, a exposição da equipe do laboratório, de outros indivíduos ou mesmo do meio externo aos agentes patogênicos potencialmente perigosos.

Sendo assim, percebe-se que a contenção corresponde basicamente à forma de materialização dos conceitos de biossegurança, apoiando-se em três aspectos básicos, conforme apresentados na imagem 1.7, e definidos como formadores do ciclo da contenção: procedimentos e técnicas laboratoriais; equipamentos de segurança coletivos e individuais; projeto das instalações físicas.

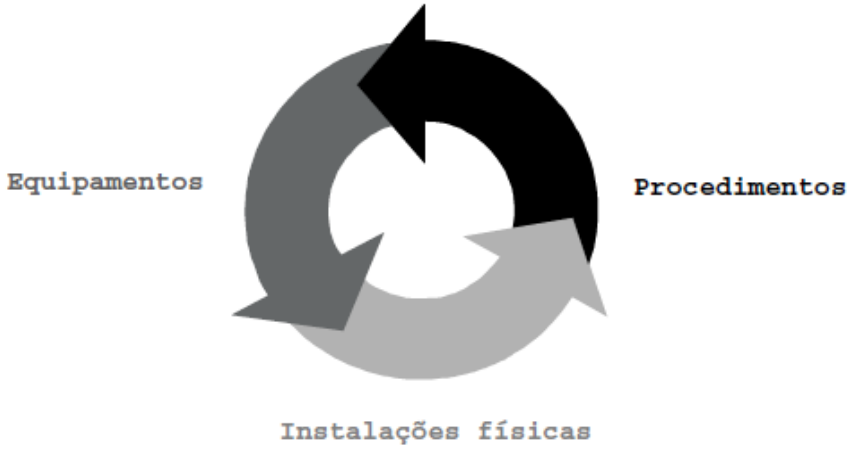

Imagem 1.7 | Ciclo da contenção. Fonte: Vieira, 2008.

Este trinômio fundamental demonstra quão destacado é o papel que a arquitetura nos laboratórios, dado que as instalações físicas são parte integrante da contenção. Neste sentido, vale acrescentar ainda que o layout e as instalações laboratoriais são muito importantes para a segurança dos envolvidos – direta e indiretamente – e do meio ambiente. E, além disso, o projeto deve contemplar os demais requisitos ambientais, inclusive aqueles que não se associam à biossegurança.

Desta forma, a contenção pode ser classificada como primária ou secundária. A contenção primária refere-se à proteção da equipe de trabalho e da própria pesquisa, enquanto a secundária diz respeito à proteção do ambiente externo ao

laboratório. Ainda sobre a contenção primária, Majerowicz (2003) afirma que é a proteção pessoal e do ambiente laboratorial contra exposição ao agente infeccioso, através do emprego de boas técnicas de microbiologia e do uso de equipamentos de segurança. E destaca ainda que a contenção secundária é a proteção do ambiente externo ao laboratório, contra a exposição de material infeccioso e é proporcionada por uma combinação de instalações e práticas operacionais.

A contenção envolve o uso de barreiras, que são definidas como sistemas que combinam aspectos construtivos, equipamentos e métodos operacionais que buscam o controle das condições ambientais dos laboratórios. Assim, a função das barreiras é atuar na minimização dos riscos, através elementos como antecâmaras, autoclaves com dupla porta e outros dispositivos destinados a controlar os riscos de contaminação.

Imagem 1.8 | Pesquisador utilizando a cabine de segurança biológica. Fonte: ICB-USP, 2010.

Fica evidente que os laboratórios de pesquisa destinados a manipular agentes patogênicos devem fornecer elementos de contenção e um programa de segurança cujo objetivo é a proteção dos profissionais de laboratório e outros que atuem na área. Novamente, observa-se que a arquitetura, no processo de planejamento e concepção das edificações laboratoriais, deve considerar o espaço físico como um dos elementos de biossegurança. Logo, pode-se afirmar que este influencia decisivamente tanto a confiabilidade da pesquisa quanto a proteção da saúde dos envolvidos e do meio.

Pelo exposto, percebe-se a importância da antecipação e do reconhecimento dos riscos nesses espaços de trabalho em contenção biológica, incorporando as medidas necessárias já na fase de concepção dos ambientes, notadamente através dos dispositivos responsáveis pela contenção. Portanto, cabe destacar as características relacionadas à biossegurança aplicáveis aos laboratórios.

1.3. O projeto dos laboratórios e sua influência na segurança ocupacional

De forma geral, os riscos estão constantemente vinculados ao ambiente ocupacional. Em 1978, as normas relativas à segurança e medicina do trabalho foram consolidadas pela portaria de nº 3.214, do MTE, com o objetivo de proporcionar a proteção dos trabalhadores contra qualquer risco de saúde que pudesse decorrer devido às condições e do trabalho realizado.

Dentre elas, destaca-se NR-17 (BRASIL, 1995), que trata basicamente da ergonomia, estabelecendo parâmetros que visam permitir a adaptação das condições de trabalho às características psico-fisiológicas dos trabalhadores, proporcionando um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. E tais condições de trabalho incluem aspectos relacionados ao levantamento, transporte e descarga de materiais, ao mobiliário, aos equipamentos, às condições ambientais do posto de trabalho e à própria organização do trabalho.

Neste contexto, é importante citar também a NBR 15575 (ABNT, 2010) que define o desempenho mínimo obrigatório para alguns sistemas das edificações ao longo de uma vida útil obrigatória. Esta norma atende a tendência mundial de elaboração de referências de desempenho e visa estimular a inovação tecnológica e a sustentabilidade no mercado da construção, reforçando como o principal objetivo da edificação o atendimento das necessidades de conforto e segurança do morador.

Ainda neste sentido, a NR-9 (BRASIL, 1995) estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação do PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais), que visa tanto à preservação da saúde dos trabalhadores quanto à proteção do meio

ambiente e dos recursos naturais. Isso ocorre principalmente através da minimização dos riscos ambientais existentes ou futuros no ambiente de trabalho. As ações do PPRA devem ser desenvolvidas no âmbito da empresa, sob a responsabilidade do empregador, com a participação dos trabalhadores, sendo sua abrangência e profundidade dependentes das características de cada atividade.

Esta mesma referência define uma classificação dos agentes de riscos ambientais: físicos (relacionados às formas de transmissão de energia), químicos (produtos que possam penetrar no organismo através da respiração, absorção cutânea ou ingestão) e biológicos (bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus e outros). Ressalte-se que, em função de sua natureza, concentração, intensidade ou tempo de exposição, tais agentes são capazes de causar danos à saúde do trabalhador, sendo estes classificados em permanentes ou temporários. Nesse sentido, é necessário destacar ainda a importância da aplicação do princípio da precaução, com o objetivo de nortear as ações de prevenção em relação à saúde e ao meio ambiente.

Contudo, apesar da presença de todos os agentes citados, é destacada nos ambientes laboratoriais a presença dos riscos biológicos, dadas a presença e as características dos microorganismos, como o poder de invasão, o grau de patogenicidade, a resistência a processos de esterilização, a virulência, a capacidade mutagênica, o que expõe as pessoas próximas ou que nele trabalham à contaminação. Dessa forma, é importante ressaltar que o contato seguro desses indivíduos com os agentes de risco biológico é o objeto de atenção especial da disciplina de biossegurança.

Destaca-se o surgimento e o reconhecimento da AIDS como doença contagiosa como outro fator importante que contribuiu para ampliar as discussões sobre os aspectos de biossegurança entre os profissionais de saúde. Em função desta enfermidade, abriram-se debates para se compreender a dinâmica das relações de trabalho nos ambientes de saúde, as formas de transmissão pela via ocupacional (TEIXEIRA; VALLE, 2003).

Porém, somente na década de 70 que surgiram as primeiras normatizações e diretrizes sobre os aspectos de prevenção em atividades realizadas em serviços de saúde, a partir das publicações do Centers for Disease Control and Prevention (CDC), nos Estados Unidos, como é o caso das Recomendações para manipulação de sangue, secreções e excreções de portadores de Hepatite B (1970) e a Classificação de Risco dos Agentes Etiológicos (1974). Em 1983, a Organização Mundial de Saúde (OMS), reconhecendo os riscos inerentes à manipulação de agentes biológicos, lançou a primeira versão do manual de biossegurança. Esta publicação incentivou a implementação de regras, em nível local, para a manipulação de microorganismos patogênicos em laboratórios.

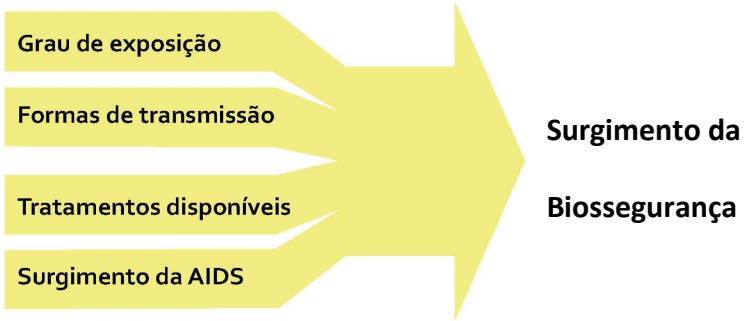

Imagem 1.9 | Fatores que influenciaram o surgimento da biossegurança. Fonte: o autor.

Estas ocorrências definem o reconhecimento da biossegurança como disciplina e, com isso, os conceitos relacionados começam a ser aplicados e incorporados aos ambientes de saúde em geral. Com isso, a observância dos princípios relacionados à biossegurança torna-se circunstância indispensável na obtenção de condições seguras para o desenvolvimento das atividades que envolvem a manipulação de microorganismos, em especial nos laboratórios biomédicos.

Cabe esclarecer que o termo designativo adotado neste capítulo – laboratórios biomédicos – refere-se principalmente à função principal destes ambientes, que é a manipulação de material biológico. Além disso, outra possível denominação é laboratório de saúde pública, quando se relaciona à pesquisa proteção da saúde de populações de cidades, municípios e estados. E ainda, em relação ao nível de contenção biológica, os ambientes podem receber a denominação de laboratórios de base ou de contenção.

Com relação a esta classificação, laboratórios de base são aqueles que comportam atividades que envolvem a manipulação de agentes biológicos que não causam doenças ao homem, ou ainda, que apresentam moderado risco de contaminação individual sem, contudo, oferecer grandes riscos para a comunidade. Por outro lado, os laboratórios de contenção, como a própria denominação já expõe, possuem diversos elementos de contenção relacionados, dada o grau de risco associado aos agentes manipulados. Nestes ambientes, as conseqüências da liberação acidental do patógeno são gravíssimas, dado que são microorganismos potencialmente letais.

Neste sentido, o desenho das instalações que compõem um laboratório de microbiologia constitui um dos fatores indispensáveis para assegurar sua eficácia, ou seja, os laboratórios onde são manipulados agentes biológicos devem necessariamente ser projetados considerando a variável biossegurança. Isso porque os agentes biológicos representam um risco real ou potencial para o homem, os animais e para o meio ambiente. Desta forma, uma das medidas indispensáveis é preparar uma estrutura física que favoreça a precaução aos riscos presentes nos laboratórios de pesquisa.

Pessoa (2006) confirma que, considerando os microorganismos manipulados em laboratórios, a inserção de barreiras físicas é fundamental para projetá-los dentro das normas e requisitos de biossegurança vigentes. Assim, o desenvolvimento destes projetos requer um estudo específico, que objetiva garantir a adoção dos requisitos técnicos necessários ao nível de contenção correspondente, obtendo espaços com níveis de biossegurança adequados à manipulação dos microorganismos em questão.

Consolidando o exposto, é importante destacar o papel desempenhado pelo projeto de laboratórios como elemento integrante da contenção, dada a sua capacidade de oferecer barreiras concorrentes para a segurança do trabalho. Para tal, a concepção destes ambientes deve ser desenvolvida a partir de uma criteriosa avaliação dos riscos presentes na atividade, já que a identificação incorreta destes prejudica sobremaneira as soluções adotadas.

Preliminarmente ao projeto, as dependências biomédicas devem ser analisadas quanto à classe de risco dos patógenos envolvidos na pesquisa. E a relação entre os riscos biológicos, graduados através das classes de risco 1 a 4 expostas no item anterior, e as necessidades de biossegurança, aplicadas através dos princípios de contenção e emprego de barreiras, é dada através do nível de biossegurança laboratorial. Existem quatro níveis: NB-1, NB-2, NB-3 e NB-4, expostos no quadro 2, relacionados aos requisitos crescentes de segurança para o manuseio dos agentes biológicos, terminando no maior grau de contenção e complexidade do nível de proteção.

Quadro 1.2 – Relação entre classes de risco, níveis de biossegurança e laboratórios.

Classes de risco	Níveis de Biossegurança	Tipo de Laboratório
1	**NB – 1** Básico	**Laboratórios básicos de ensino e pesquisa.** Nível adequado à manipulação de agentes biológicos conhecidos por não causarem doenças em adultos sadios.
2	**NB – 2** Básico	**Laboratórios clínicos; laboratórios de serviços de diagnóstico e pesquisa.** Nível adequado à manipulação dos agentes biológicos cujos riscos individual é moderado e para a comunidade é baixo. O risco de propagação é limitado.
3	**NB – 3** Contenção	**Laboratórios de diagnóstico e pesquisa especiais.** Nível adequado à manipulação dos agentes biológicos com potencial para transmissão por via e a causarem patologias potencialmente letais, para as quais existem usualmente medidas de tratamento e/ou de imunização.
4	**NB – 4** Contenção Máxima	**Unidades de agentes patogênicos perigosos.** Nível adequado à manipulação dos agentes biológicos exóticos ou perigosos, com alto poder de transmissão por via respiratória ou transmissão desconhecida e alta letalidade. Não há medida profilática ou terapêutica eficiente.

Fonte: Adaptado de OMS (2004) e Brasil (2004a).

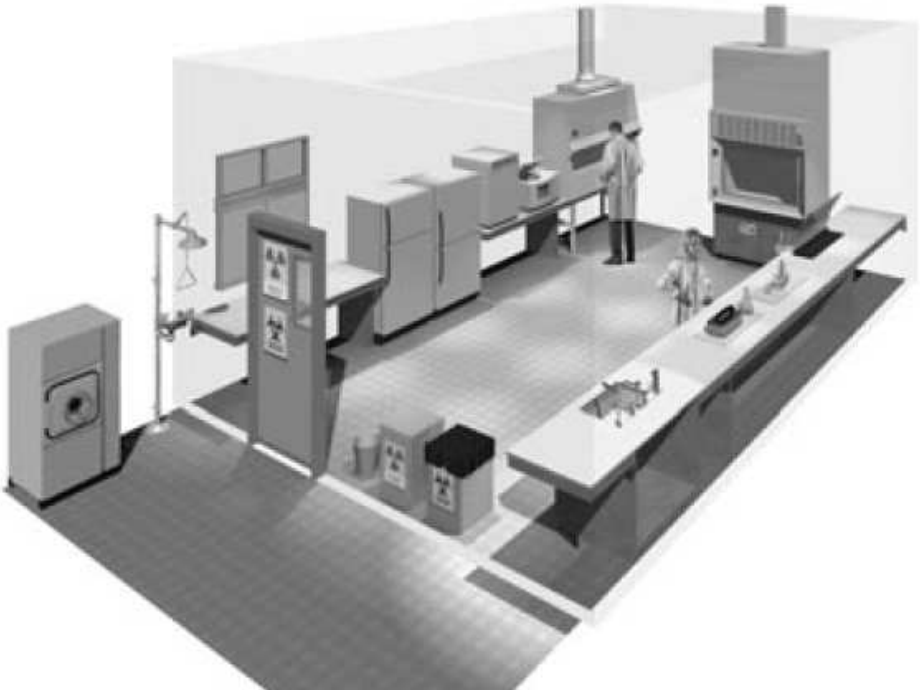

Imagem 1.10 | Laboratório típico para o nível NB-2 de biossegurança. Fonte: OMS, 2004.

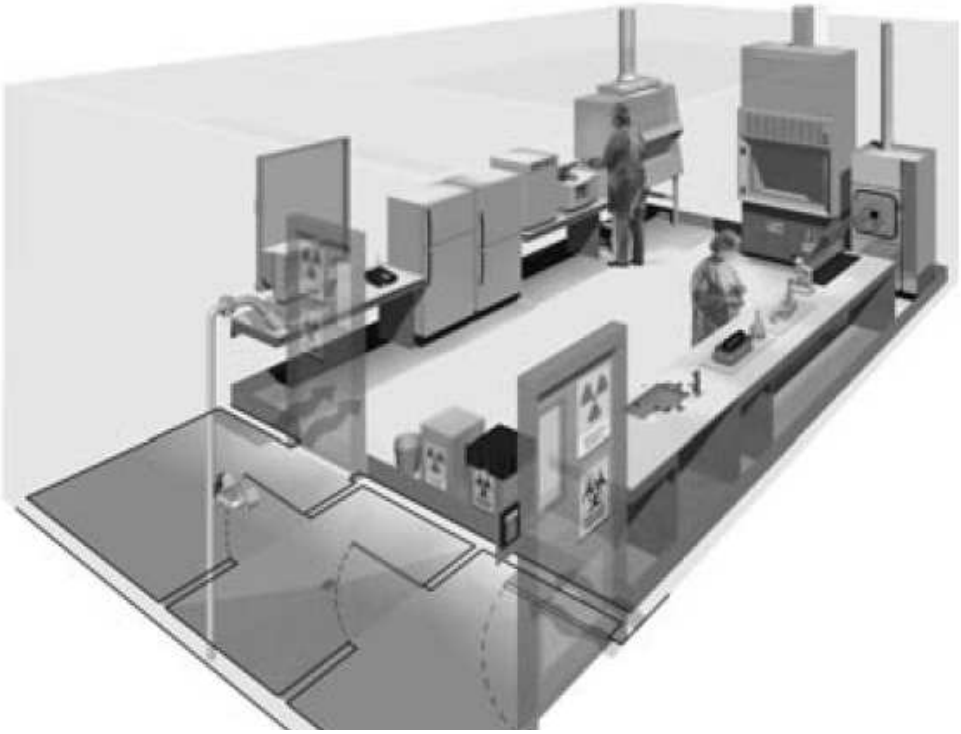

Imagem 1.11 | Laboratório típico para o nível NB-3 de biossegurança. Fonte: OMS, 2004.

Em função disto, a determinação do nível de biossegurança deve ser efetuada através da análise das características das pesquisas desenvolvidas no ambiente laboratorial em questão (vide imagem 1.12), considerando um julgamento profissional

especializado, através da avaliação de risco. Ressalte-se que esta não deve ser realizada somente em função da relação direta entre a classe de risco biológico do patógeno e o nível de biossegurança laboratorial.

A partir daí, são estabelecidas diversas exigências físicas, tanto construtivas como arquitetônicas. São exemplos: o acesso ao laboratório através do mecanismo de portas intertravadas, a pressurização negativa do sistema de ar condicionado, o tratamento dos efluentes e os equipamentos necessários ao funcionamento da unidade. Algumas destas exigências estão ilustradas na imagem 1.12.

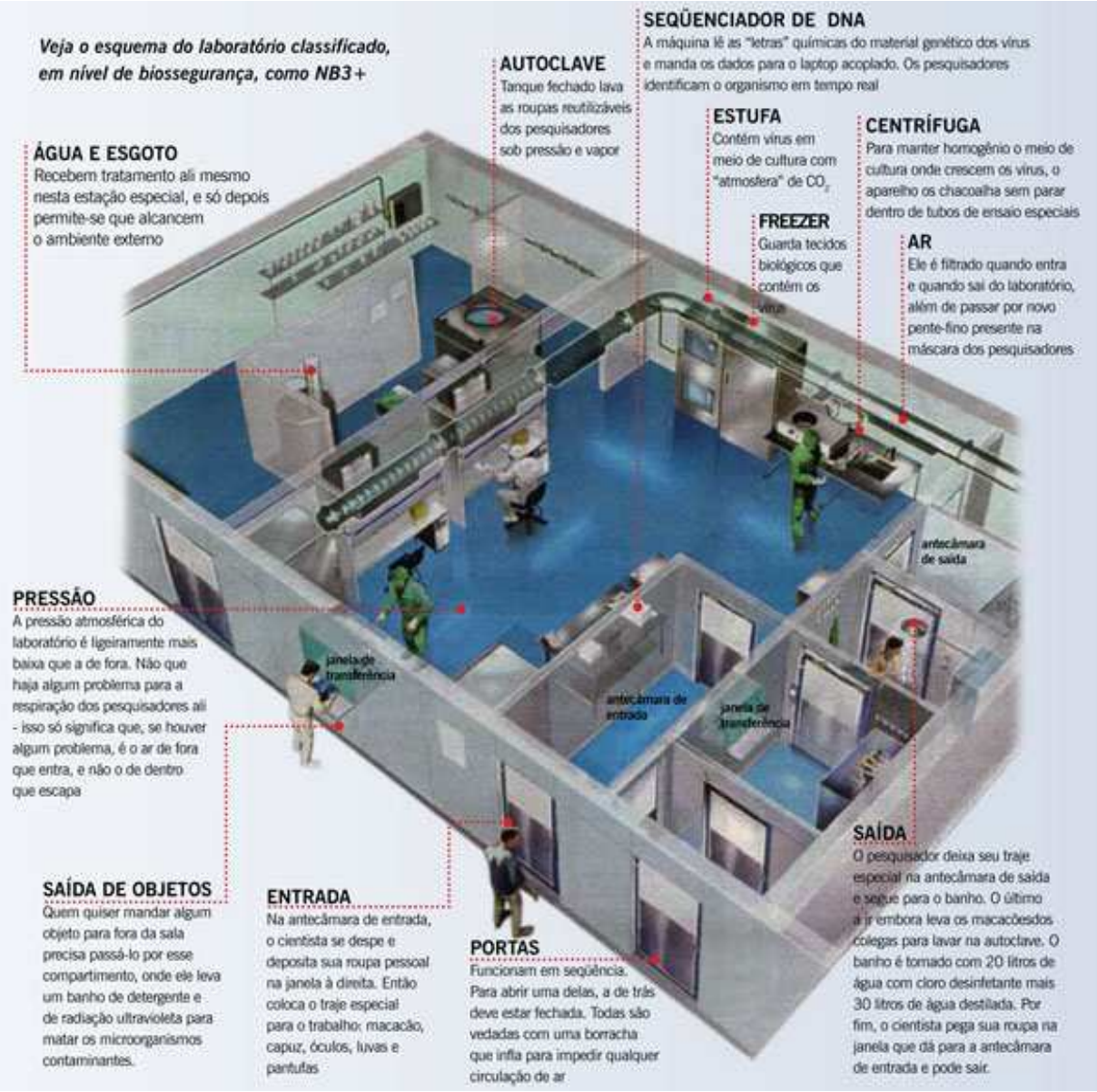

Imagem 1.12 | Laboratório NB-3, ICB-USP, com destaque para alguns requisitos físicos. Fonte: ICB, 2010.

Fica evidente que o papel da contenção biológica para os laboratórios, especialmente aqueles com maiores níveis de biossegurança associados, é primordial, tendo em vista os riscos associados. No atendimento a essa questão, existem requisitos físicos que devem ser plenamente considerados e incorporados pelo projeto das áreas laboratoriais, visando sempre a minimizar o contato dos indivíduos com os agentes de risco, além de proteger o meio externo. Mais uma vez se destaca o papel do projeto de arquitetura como grande elemento de barreira que integra a contenção biológica necessária aos laboratórios.

1.4. Qualidade do projeto e a questão da sustentabilidade

É fato que os laboratórios que desenvolvem atividades de pesquisa, produção de insumos e prestação de serviços na área de saúde desenvolvem serviços essenciais à sociedade. Nesse particular, destacam-se os laboratórios de pesquisas biomédicas como elementos estratégicos para as indústrias, estabelecimentos de saúde, de ensino e de pesquisa, na medida em que são ambientes com elevado grau de especialização e indispensáveis aos processos desenvolvidos.

No Brasil, o Sistema Nacional de Laboratórios de Saúde Pública foi instituído em julho de 1977, com a finalidade de apoiar o Sistema Nacional da Vigilância Epidemiológica, bem como definir ações para apoiar o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária. O número de laboratórios de saúde pública cresceu nos últimos anos e, em função disto, em 2002 a FUNASA organizou este Sistema em sub-redes por agravos ou programas, de forma hierarquizada por grau de complexidade das atividades relacionadas à vigilância epidemiológica, vigilância ambiental em saúde, vigilância sanitária e assistência médica.

Atualmente, como exemplo, é possível citar que já existem mais de 30 laboratórios nível NB-3 construídos no país (nem todos em funcionamento), distribuídos conforme critérios: epidemiologia, capacidade técnica, demanda e região geográfica. Ou ainda, pode-se afirmar que não há instalações nível NB-4 no Brasil.

Estas ainda estão restritas principalmente aos Estados Unidos, Canadá, Ásia e Europa. Entretanto, o sistema ainda carece de confiabilidade sobre seus registros, pois não considera, por exemplo, o funcionamento pleno das instalações.

Do ponto de vista histórico, pouca experiência vinha sendo demonstrada no desenho e qualidade ambiental (SIMAS; CARDOSO, 2008). Somente nos últimos anos novas diretrizes vêm sendo elaboradas na área de arquitetura, o que modificou a concepção dos espaços, materiais de acabamento, mobiliário e sistemas de tratamento de ar, a fim de controlar de forma eficaz os eventuais riscos inerentes às atividades de pesquisas e/ou por suas aplicações nas áreas laboratoriais.

E este processo evolutivo tem envolvido diversos profissionais: pesquisadores, técnicos de laboratórios, arquitetos e engenheiros, de modo a estabelecer e aplicar, no projeto laboratorial, padrões e normas que assegurem o cumprimento das condições de segurança necessárias. A própria relação entre a biossegurança e a qualidade ambiental mostra a relevância da interdisciplinaridade, caracterizando inovações refletidas no planejamento e na execução de projetos arquitetônicos de instalações laboratoriais.

Atualmente, a maioria dos laboratórios de saúde pública no Brasil tem cerca de 20 anos de idade; e cresce a necessidade de renová-los através de reformas ou da construção de novas edificações (SIMAS; CARDOSO, 2008). Com isso, apresentam-se novas demandas físicas, impulsionadas pelo surgimento de diversos fatores, relacionados ao surgimento de normatizações, novos conceitos de proteção de informações, incorporação de novas tecnologias e a própria sustentabilidade.

Nesta última década, surgiram diversas publicações que abordam, dentre outros aspectos, os requisitos físicos a serem incorporados aos projetos dos ambientes laboratoriais, inclusive de origem nacional, o que não ocorria anteriormente. São exemplos: Biossegurança em laboratórios biomédicos e de microbiologia (BRASIL, 2004a), Diretrizes gerais para o trabalho em contenção com material biológico (BRASIL, 2004b) e Projetos físicos de laboratórios de saúde pública (BRASIL, 2004c), todos

elaborados por órgãos ligados ao Ministério da Saúde. Além disso, pesquisas sobre o tema se tornaram mais freqüentes, destacando-se a importância dos requisitos físicos de biossegurança para os ambientes destinados ao trabalho microbiológico em contenção, como é o caso dos estudos desenvolvidos por Azeredo (2004), Lapa (2005), Pessoa (2006), Simas e Cardoso (2008), Vieira (2008).

Além disso, o acúmulo de novas tecnologias e conhecimentos, os procedimentos operacionais e construtivos para a manipulação de agentes biológicos patogênicos vêm sendo modificados. Houve, por exemplo, o surgimento de novas técnicas de manipulação com organismos geneticamente modificados (SIMAS; CARDOSO, 2008). Tem sido necessária também a acomodação de equipamentos para novos sistemas informacionais, operacionais e de diagnóstico. As autoras destacam ainda a ampliação dos requisitos de segurança, não só predial como de controle de acesso ao material biológico, o que acarretou a necessidades de construção de plataformas tecnológicas, áreas de animais ou áreas para gerenciamento de resíduos.

Considerando este contexto e o tema desta pesquisa, existe a necessidade de incorporar outros aspectos aos projetos, sem preterir a biossegurança, como é caso da sustentabilidade. E este trabalho trata de verificar a compatibilidade entre ambos, a fim de permitir uma melhoria na qualidade ambiental destes espaços, considerando que os laboratórios são ambientes sujeitos a riscos e, portanto, devem invariavelmente atender aos requisitos de biossegurança. As instalações do laboratório representam um desafio singular para o projeto eficiente e sustentável, dada a sua inerente complexidade de sistemas, requisitos de saúde e segurança, flexibilidade e capacidade de adaptação às necessidades, a intensidade de uso de energia e impactos ambientais.

A intenção de verificar a aplicabilidade dos conceitos de sustentabilidade às edificações laboratoriais é ampliar a abrangência destes projetos. Isto considera as tendências arquitetônicas atuais, principalmente relacionadas ao impacto ambiental da construção, questão preponderante atualmente, dada a crise que o planeta se encontra e suas conseqüências.

Destaca-se que, atualmente, já é possível encontrar exemplos de laboratórios desta natureza que procuram incorporar premissas de sustentabilidade, notadamente sob o aspecto ambiental. Exemplos encontrados são o National Institutes of Health - Louis Stokes Laboratories - e o Georgia Public Health Laboratory, que usam a captação de luz natural para reduzir o consumo de energia elétrica e melhorar a qualidade da iluminação.

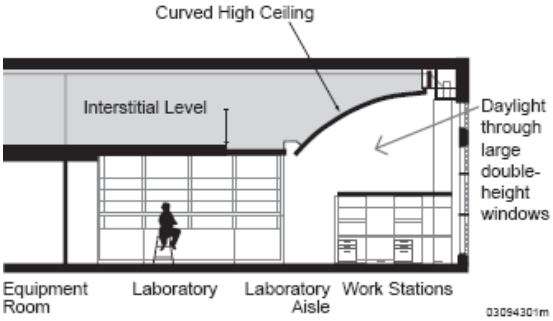

Imagem 1.13 | Detalhe para captação de luz natural no National Institutes of Health, Louis Stokes Laboratories, Maryland. Fonte: Labs21, 2010.

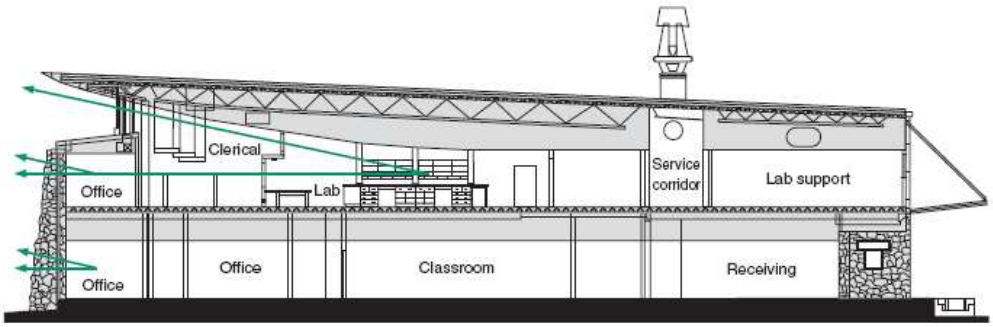

Imagem 1.14 | Georgia Public Health Laboratory, Decatur, Goergia. Fonte: Labs21, 2010.

> A humanidade de hoje tem a habilidade de desenvolver-se de uma forma sustentável, entretanto é preciso garantir as necessidades do presente sem comprometer as habilidades das futuras gerações em encontrar suas próprias necessidades.
>
> (Agenda 21, 1992)

Atualmente, os empreendimentos da construção civil são considerados grandes causadores de impactos ao meio ambiente, já que as atividades relacionadas à construção, operação e demolição de edifícios implicam o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos. Nas últimas décadas, a necessidade de minimização desses inconvenientes gerados pelas edificações e a difusão dos conceitos de desenvolvimento sustentável têm levado o setor a buscar projetos com melhores níveis de desempenho ambiental.

Neste contexto, os problemas deflagrados no final do século XX acarretaram a discussão das circunstâncias ambientais do planeta, principalmente visando a garantir a preservação de condições aceitáveis de sobrevivência. A degradação do meio ambiente, as mudanças climáticas e o efeito estufa foram alguns dos desafios a serem superados pelo desenvolvimento sustentável. Logo, avaliar as técnicas construtivas adotadas em relação às variáveis ambientais passou a ser importante no sentido de reduzir o impacto ambiental provocado pelas edificações.

Em função disto, desenvolveram-se diversas iniciativas focadas inicialmente na avaliação e melhoria da eficiência energética dos edifícios. Em seguida, se intensificaram as pesquisas para a integração da qualidade ambiental aos projetos, além de criação de ferramentas orientadas para a abordagem da sustentabilidade. Assim, cabe ressaltar o surgimento da preocupação ambiental como propulsor da formação do conceito de desenvolvimento sustentável e as mudanças na relação entre a arquitetura e o meio ambiente.

Primeiramente, a fim de contextualizar o tema da arquitetura sustentável no cenário internacional, é imprescindível abordá-lo conceitualmente. Diante de diversas definições para o termo meio ambiente, podemos entendê-lo, considerando o objetivo de relacioná-lo à arquitetura, como o meio físico natural, que interage com os seres vivos. Ou ainda, de forma mais abrangente, como o "conjunto dos elementos naturais, que na complexidade de suas relações, constituem o marco, o meio e as condições de vida do homem" (MENEGAT, 2004, p.115).

Além disso, é importante destacar que o meio ambiente é um elemento impulsor e fundamental para o desenvolvimento das sociedades contemporâneas, e sua influência sobre o desenvolvimento dos países é indiscutível. Além de promover e definir as condições de vida globais, seus recursos são capazes de fornecer energia, matérias-primas e, conseqüentemente, subsidiar as atividades econômicas. Contudo, mesmo diante dos inúmeros benefícios, a humanidade praticou comportamentos agressivos ao meio ambiente ao longo do tempo, conforme se expõe a seguir.

2.1. Evolução do conceito de arquitetura com qualidade ambiental

A percepção do homem sobre os problemas ambientais gerados pelo consumo de recursos naturais e pela geração de resíduos não foi significativa até o final do século XVIII, visto que os problemas eram verificados pontualmente e geravam impactos temporários. Com a Revolução Industrial, os efeitos nocivos da ação antrópica sobre o meio ambiente aumentaram verticalmente. Esta capacidade de intervenção ao mesmo tempo em que provocou grandes danos ambientais, também ofereceu meios para que a humanidade afastasse a ameaça imediata que estes danos pudessem representar para sua sobrevivência e, com isso, retardasse a adoção de técnicas e procedimentos mais sustentáveis (ROMEIRO, 2001).

Neste sentido, a Revolução Industrial marcou o início de um processo de transformações progressivas que se relaciona, dentre outras áreas, com a tecnologia e o meio ambiente. Cabe destacar alguns aspectos relacionados: aumento acelerado da

extração de recursos e do consumo de combustíveis fósseis, notadamente carvão mineral e petróleo, em função do emprego de novas máquinas e tecnologias; crescimento quantitativo da produção de bens e alteração dos padrões de consumo. Além disso, a população urbana superou o contingente do campo, reforçando o processo de formação das metrópoles e deflagrando a situação precária das unidades habitacionais.

Em meados do século XX, a degradação dos recursos naturais passou a gerar problemas mais notáveis sem, contudo, causar limitações ao desenvolvimento em nível global. Após a Segunda Guerra Mundial, elevaram-se exageradamente os padrões de consumo mantidos até então, tornando-os incompatíveis com o equilíbrio ecológico. Neste momento, a utilização de tecnologias não considerava a limitação dos recursos naturais, assim como o consumo não controlava a quantidade de resíduos gerados e lançados no meio. Assim, esses aspectos deflagaram definitivamente o processo de escassez de recursos e degradação ambiental que estão bem caracterizados atualmente (MAGRINI, 2001 apud ZAMBRANO, 2008).

Neste particular, as discussões sobre os limites do desenvolvimento do planeta e os riscos da degradação do meio ambiente ganharam enorme intensidade, levando a ONU a promover uma Conferência sobre o Meio Ambiente em Estocolmo, realizada em 1972, que representou um grande marco para a questão ambiental. Com a presença de países em diversos níveis de desenvolvimento, tornou-se pública a temática, admitindo a degradação ambiental à qual o planeta já estava sujeito. Pioneiramente, o encontro associou problemas sociais e econômicos, como a fome e a pobreza, e discutiu a qualidade de vida da população mundial, relacionando-a às questões ambientais.

A partir de Estocolmo, cresceu o número de países que incluíram programas ambientais em suas agendas e, no mesmo ano, Dennis Meadows e os pesquisadores do Clube de Roma publicaram o estudo “Limites do Crescimento” (MEADOWS et al., 1972). Este concluía que, mantidos os níveis de industrialização, poluição, produção de alimentos e exploração dos recursos naturais, o limite de desenvolvimento do planeta

seria atingido, no máximo, em 100 anos, provocando uma repentina diminuição da população mundial e da capacidade industrial.

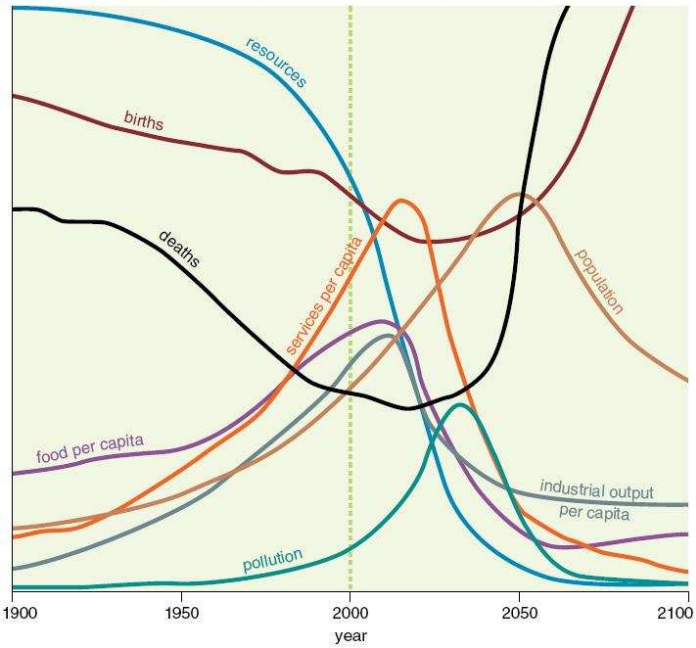

Imagem 2.1 | Projeções sobre os limites de crescimento mundial. Fonte: Meadows et al., 1972.

Em seguida, as crises na produção de petróleo ocorridas em 1973 e 1979 contribuíram no sentido de alertar para o perigo da dependência exagerada de combustíveis fósseis. Subitamente, o aumento exponencial dos preços do produto despertou os países mais desenvolvidos para a vulnerabilidade energética a que estavam sujeitos. Com isso, as grandes potências mundiais perceberam que, apesar de todo o seu poderio tecnológico, não possuíam controle sobre a disponibilidade da matéria-prima essencial para manter seus padrões de produção e qualidade de vida.

Em reação a situação estabelecida, a busca da qualidade ambiental retomou uma antiga aspiração humana do esforço para estabelecer um equilíbrio harmonioso com a natureza que o rodeia (GAUZIN-MÜLLER, 2006). Diante destas constatações, surgiu a idéia do desenvolvimento sustentável, em oposição ao modelo de crescimento econômico da época, visando conciliar este desenvolvimento acelerado com a preservação ambiental e, ainda, com a redução da pobreza no mundo.

Verifica-se então que a degradação do meio ambiente e as modificações climáticas estão diretamente relacionadas com as atividades humanas. Após uma série de consultas internacionais, o conceito de desenvolvimento sustentável foi definido

primeiramente pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Bruandtland, através do informe “Our Commom Future”, amplamente divulgado e discutido durante a 42ª Conferência das Nações Unidas, em 1987. Este tinha como objetivo principal assegurar que o desenvolvimento econômico e social se processasse de modo ambientalmente sustentável e introduziu a conhecida definição:

> Um desenvolvimento que seja capaz de responder às necessidades do presente sem, contudo, comprometer a capacidade das gerações futuras de responder às suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987, p. 44).

Neste sentido, diversos desafios se apresentaram para serem solucionados através dos modelos de crescimento baseados no conceito de desenvolvimento sustentável. Ficaram evidentes as conseqüências da exploração excessiva de matérias-primas, o rápido avanço do efeito estufa e a acelerada degradação do equilíbrio dos ecossistemas. Segundo Gauzin-Müller (2003), os danos irreversíveis causados ao planeta e seus habitantes vêm sendo sinalizados por especialistas há décadas e se relacionam basicamente com quatro fenômenos: crescimento acelerado da população; esgotamento de matérias-primas e combustíveis fósseis; degradação do ar, água e solo; proliferação e acúmulo de resíduos.

Em função da situação apontada, diversos encontros internacionais ocorreram desde então visando discutir os efeitos das condições de desenvolvimento, fixar metas e propor soluções. Destacam-se neste contexto os compromissos assumidos no Rio de Janeiro, durante a realização da ECO-92, que se converteram em numerosas medidas relacionadas aos setores de indústrias, transportes, controle de energia e gestão de resíduos, forçando os habitantes dos países industrializados a preservar os recursos naturais e a repensar o estilo de vida e o uso do território.

A partir deste contexto, evidencia-se a indústria da construção como um dos setores que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, determinando impactos ambientais que devem ser motivo de preocupação a todos os envolvidos nas inúmeras cadeias produtivas relacionadas. Além do consumo de

matéria e energia, destacam-se os impactos relacionados aos resíduos gerados e a qualidade do ambiente que se proporciona às gerações atuais e futuras. Estes aspectos ambientais sintetizam as relações entre construção e meio ambiente.

Em função disto, cabe destacar a relação entre meio ambiente e arquitetura, que é intrínseca e relaciona-se aos objetivos desta. Primeiramente, o ambiente construído pode ser compreendido como fruto da interação entre o homem e o meio, cuja necessidade primária foi a proteção em relação às condições climáticas. O princípio inicialmente relacionado era basicamente aproveitar as características convenientes do clima e restringir aquelas indesejáveis. O Tratado de Arquitetura elaborado por romano Marco Vitrúvio Polião (De Architectura), no século I a.C., conhecido como o primeiro deste gênero, traz premissas sobre o aspecto climático das edificações:

> Firmitas é assegurada quando as fundações são levadas até o solo firme e os materiais sabiamente selecionados; utilitas, quando o arranjo das partes é perfeito e não apresenta obstáculos ao uso, e quando cada classe de edifício é designada sua orientação conveniente e apropriada; e venustas, quando a aparência da obra é agradável e elegante, e quando os seus membros estão em proporção devida de acordo com os corretos princípios da simetria (VITRUVIUS, 1960, I, p. 17).

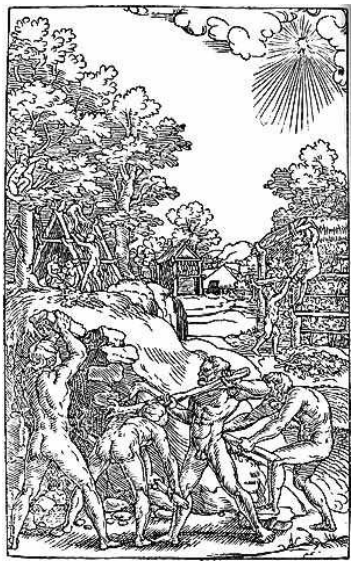

Imagem 2.2 | A construção da cabana primitiva segundo Vitruvius. Fonte: Vitruvius, 1960.

Segundo Gonçalves e Duarte (2006), ao longo da história da arquitetura e das cidades, as considerações sobre as premissas essenciais de projeto e seu impacto nas condições de conforto ambiental e eficiência energética não foram tomadas como essenciais por um relativo curto espaço de tempo. Embora tenha sido praticado durante séculos por necessidade, principalmente na arquitetura doméstica e vernácula, o respeito ao meio ambiente caiu em desuso após a Revolução Industrial, uma época em que o homem explorou até o esgotamento os recursos naturais.

Considerando a Revolução Industrial como ponto de partida para a mudança no panorama arquitetônico mundial, percebe-se que esta trouxe um novo elenco de materiais, como o aço e o concreto armado, que substituíram as construções em alvenaria de pedra – predominante desde o Egito Antigo até o século XIX. Porém, segundo Lamberts (1997), somente a partir da Segunda Guerra Mundial, ocorreram as grandes transformações sociais, econômicas e técnicas que terminaram por alterar o radicalmente o quadro da arquitetura global.

Tendo em vista este panorama de inconvenientes ambientais associados às edificações, cabe então resgatar alguns aspectos do problema apresentado nesta pesquisa, que é a aplicação da qualidade ambiental aos laboratórios biomédicos. Estas edificações naturalmente possuem um elevado número de exigências tecnológicas incorporadas em função do grau de risco associado, o que traz principalmente um acentuado consumo energético. Isto exemplifica o caráter destas edificações e sua relação com o meio ambiente.

Após a Revolução Industrial, o desenvolvimento e a aplicação em larga escala destas novas tecnologias, que possibilitaram a adoção de novas técnicas construtivas, aliadas a grande oferta de combustíveis de baixo custo impulsionaram uma mudança no padrão arquitetônico mundial (CORBELLA; YANNAS, 2003). E tal mudança materializou-se principalmente através do International Style (Estilo Internacional, em português) que, sob o ponto de vista ambiental, foi marcado no tocante à qualidade ambiental pela desconsideração do conforto e da eficiência energética.

Tal alteração teve ocorrência justamente a partir da Segunda Guerra Mundial, quando o estilo espalhou-se mundialmente, denotando uma modalidade arquitetônica cubista (FRAMPTON, 2003). De forma geral, tratava-se de uma arquitetura simples, formada por muitas superfícies planas, tanto nas paredes como nas coberturas, de vidros, metais e materiais pétreos, guiando-se por conceitos como transparência, movimento e leveza. E sua aparente homogeneidade foi adaptada e modulada de forma a responder a diferentes condições climáticas e culturais.

Neste contexto, a difusão deste estilo arquitetônico veio acompanhada da crença de que a tecnologia de sistemas prediais oferecia meios para o controle total das condições ambientais dos edifícios, levou à repetição das caixas de vidro e ao inerente elevado consumo de energia nas décadas seguintes (GONÇALVES; DUARTE, 2006). Ou seja, o alcance do conforto ambiental baseava-se quase que exclusivamente nos sistemas artificiais, ignorando a gestão das características locais e a interação da arquitetura com elas, ou seja, a edificação criava sua condição independente do meio externo.

Desta forma, é possível citar a arquitetura de Mies van der Rohe como referência do Estilo Internacional, notadamente pela presença das grandes cortinas de vidro nas fachadas de seus edifícios de escritórios. Cabe destacar ainda que esta linguagem arquitetônica, nascida nos edifícios institucionais, foi adotada também nas tipologias residenciais unifamiliar e multifamiliar, inclusive com uma Exposição, em Nova Iorque, denominada The International Style (GÖSSEL; LEUTHÄUSER, 2005).

Apesar de ter promovido avanços com relação à racionalização e à industrialização dos processos construtivos, o Estilo Internacional é tido como responsável por uma perda de qualidade ambiental na arquitetura, justamente pela repetição indiscriminada de tipologias arquitetônicas que desconsideravam o contexto climático onde se inseriam (ZAMBRANO, 2008). E a obtenção do conforto, principalmente térmico, se baseava exclusivamente na adoção de sistemas de condicionamento, desconsiderando as possibilidades climáticas como fatores positivos de projeto.

Um contraponto ao Estilo Internacional foi feito por Le Corbusier, que lançou idéias modernistas como a estrutura independente, o terraço-jardim, a planta livre, os pilotis e o modulor, que relacionava as proporções entre o homem e o espaço arquitetônico projetado. No entanto, poucos profissionais fizeram uso da técnica arquitetônica como Le Corbusier, limitando a arquitetura funcionalista a um mero jogo de fachadas ou a uma luta pela conquista de vãos cada vez maiores em concreto armado (LAMBERTS, 1997). Em paralelo, os avanços de áreas particulares do processo de concepção arquitetônica não eram mais assimilados pelos arquitetos.

Neste enfoque, cabe destacar que a arquitetura modernista brasileira, especialmente durante o período de 1930 a 1960, demonstrou características bioclimáticas, destacando-se o amplo emprego de brise-soleils e cobogós (GONÇALVES; DUARTE, 2006). Entre os arquitetos atuantes nessa época, Lúcio Costa foi um dos que cumpriu grande papel na educação e na prática arquitetônica, na medida em que ressaltava a importância da compreensão das condições climáticas e da geometria solar para a concepção de projetos.

Porém, o Estilo Internacional foi amplamente seguido a nível mundial e o grande consumo de energia necessário para suplantar os inconvenientes criados por este tipo de arquitetura não era tomado em consideração. Isso porque seu custo era irrisório, além de não existir uma consciência generalizada sobre a enorme poluição associada à geração e ao consumo dessa energia (CORBELLA; YANNAS, 2003). Uma mudança deste panorama começou a se formar em função da crise energética ocorrida na década de 1970, quando o custo do petróleo elevou-se de forma exponencial.

No final da década de 1980 e início da década de 1990, as questões de sustentabilidade foram inseridas na agenda arquitetônica e urbanística internacional, notadamente no continente europeu, de forma consistente, trazendo novos paradigmas. Segundo Gonçalves e Duarte (2006), o tema teve maior ênfase na vertente ambiental, em função das discussões internacionais ocorridas na década de

1970. Com isso, se tornou inquestionável a necessidade de atentar para as conseqüências dos problemas ambientais já deflagrados.

Assim, surge como reação a este panorama a chamada arquitetura solar, que teve como premissa básica a incorporação da radiação solar como fonte de energia dos edifícios, contribuindo principalmente para seu aquecimento e iluminação natural, poupando energia elétrica. Neste sentido, a arquitetura começou a se reaproximar da integração com o entorno, explorando o potencial dos recursos disponíveis. Esses projetos constituíram as bases sobre as quais começaram a ser desenvolvidas construções com abordagens ambientais mais responsáveis.

Contudo, a aplicação destes conceitos revelou que esta arquitetura, focada exclusivamente na utilização da energia solar, apresentava um desequilíbrio térmico considerável, já que as soluções adotadas para atender ao período de inverno não eram compatíveis com as condições de conforto térmico necessárias ao verão (ZAMBRANO, 2008). Este fator deu origem a contestações em relação a este tipo de arquitetura, que passou a ser considerada pouco abrangente.

Nos anos 80, ocorreram diversas mudanças climáticas, como a redução da camada de ozônio e o aumento dos gases do efeito estufa, principalmente agravados pelo acelerado crescimento populacional nas grandes cidades (ROAF et al., 2006). Estas novas condições impulsionaram o surgimento da arquitetura bioclimática, que teve como marca a valorização da interação entre o homem e o clima. Desta forma, a edificação é recolocada como meio de intervenção do qual o arquiteto se utiliza para promover as condições de conforto ideais ao desenvolvimento das atividades humanas.

Assim, pode-se sintetizar a abordagem principal desta arquitetura como a otimização da relação entre a edificação e o clima local, focando o conforto térmico e a redução do consumo energético. Ou seja, tratava-se de usar o clima em favor da arquitetura, o que pressupunha diferentes soluções para locais (e principalmente climas) distintos. Nesse sentido, a arquitetura bioclimática não apresentou traços

comuns tão evidentes quanto a solar, principalmente porque estava mais relacionada ao local de implantação.

A abordagem bioclimática na arquitetura envolveu a interpretação e tradução para aspectos arquitetônicos de parâmetros de temperatura, radiação solar, umidade, vento, latitude, altitude, vegetação, precipitações, etc. Isto evidencia o aumento da complexidade de abordagem do projeto: outras variáveis são consideradas nas tomadas de decisões. Segundo Gonçalves e Duarte (2006), a arquitetura bioclimática ganhou importância dentro do conceito de sustentabilidade por conta da estreita relação entre conforto ambiental e consumo energético, relacionado com os sistemas de condicionamento de ar e de iluminação artificial.

2.2. Arquitetura sustentável

Seguindo a lógica de desenvolvimento, surge a arquitetura sustentável que, de acordo com Corbella e Yannas (2003), "é a continuidade mais natural da bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior". É uma arquitetura que tem como premissa aumentar a qualidade de vida do ser humano através da qualidade do ambiente construído e sua integração com o entorno, valorizando as características locais, reduzindo o consumo de energia e garantindo a melhor disponibilidade de recursos para as futuras gerações.

No entanto, antes de atingir a abordagem sustentável, a arquitetura desenvolvida no final da década de 1980 e início dos anos 1990 apresentou-se como uma vertente ecológica. Esta tem como objetivo principal estabelecer uma relação harmoniosa com o meio, adaptando a edificação, através do uso de materiais e técnicas que não agressivos ao entorno natural, de modo a minimizar seu impacto sobre os recursos naturais reconhecidamente limitados e eliminar o desperdício energético (STEELE, 1997).

Nesta linha, a evolução desta abordagem se iniciou a partir da mobilização mundial impulsionada pela ONU para destacar os problemas ambientais já evidentes à época. Neste sentido, a ECO-92 teve grande importância, já que procurou expor e relacionar as causas e os inconvenientes ambientais, o que evidenciou que certas parcelas possuíam relação direta com as edificações e, consequentemente, com a arquitetura praticada. Surge então a necessidade de considerar, além dos aspectos ambientais, conceitos econômicos e sociais.

Com a difusão do conceito de desenvolvimento sustentável, aliada à tomada de consciência sobre o esgotamento dos recursos naturais, muitos estudos foram realizados com o intuito de identificar quais eram os grandes responsáveis pela insustentabilidade ambiental. De acordo com Lemos (2005), no panorama de impactos ambientais, a indústria da construção civil responde pela extração aproximada de 20% dos recursos naturais e da geração potencial de poluentes atmosféricos e residuais.

Em particular, Sattler (2003) classifica os impactos determinados pela indústria da construção civil em dois tipos: impactos durante a fase de produção da construção (extração, processamento, distribuição e utilização dos produtos), considerados de maior interferência no ambiente; e impactos durante a fase de utilização da construção (aplicações no local, desenvolvimento da vida no local, disposição e descarte dos produtos correspondentes).

Neste período, surgem iniciativas que visam mudar a concepção das edificações, denotando uma clara mudança de paradigmas. McDonough (apud NESBITT, 2008), em discurso proferido em 1993, sugere novos padrões éticos para o arquiteto, considerando antiético que os arquitetos continuem a trabalhar como de costume. Diz ainda que é preciso adotar uma abordagem sustentável do projeto, levando em consideração as conseqüências de longo prazo de seus atos. Segundo ele, o novo papel dos arquitetos é o de assumir a liderança no desenvolvimento de novas definições e medidas de prosperidade, produtividade e qualidade de vida (em termos que não se limitem à acumulação de bens materiais).

Em função disto, a preocupação ambiental, a pesquisa de novas técnicas construtivas e a reciclagem de materiais passaram a figurar na agenda arquitetônica mundial. Desenvolveram-se pesquisas acadêmicas com o objetivo de desenvolver conhecimentos e tecnologias para obter soluções mais favoráveis no comportamento das edificações em relação ao meio ambiente (ZAMBRANO, 2008). São alvos comuns: redução da emissão de gases e produtos tóxicos, aprimoramento do tratamento de resíduos, técnicas de reaproveitamento de água, eficiência energética do edifício e processos de fabricação de materiais. A reboque, surgem instrumentos de avaliação visando a apoiar e avaliar o desempenho de projetos e edificações.

A partir destes estudos, percebe-se uma mudança na abordagem do projeto: passa-se a considerar as interferências causadas durante todo o ciclo de vida da edificação. Isso inclui, por exemplo, a avaliação dos processos de fabricação dos materiais de construção, o transporte necessário, a energia empregada na sua aplicação e manutenção, os impactos gerados pela demolição da edificação, dentre outros. Forma-se, neste momento, um consenso que relaciona a edificação não somente a um entorno imediato, mas também ao meio ambiente de forma mais abrangente, considerando impactos em escala local, regional e global.

Ao iniciar o século XXI, após sofrer ajustes de alguns parâmetros em seu conceito, a arquitetura sustentável é consolidada, abrangendo aspectos não somente ambientais, mas também econômicos e sócio-culturais, em resposta aos novos interesses contemporâneos sobre os efeitos das atividades humanas e alinhada ao desenvolvimento sustentável (ZAMBRANO, 2008). Uma conceituação atual é dada por Mülfarth (2003, p.31): “uma forma de promover a busca pela igualdade social, valorização dos aspectos culturais, maior eficiência econômica e menor impacto ambiental nas soluções [...] garantindo a competitividade do homem e das cidades”.

Desta maneira, o tema da sustentabilidade vem influenciando abordagens de projeto na arquitetura contemporânea e conta com iniciativas e exemplos nas mais diversas condições urbanas e ambientais. Extrapolando as questões de conforto ambiental e suas relações com a eficiência energética, recursos para a construção e a

operação do edifício, como materiais, energia e água, fazem parte das variáveis que vêm sendo exploradas, com especial atenção na formulação de propostas de menor impacto ambiental (GONÇALVES; DUARTE, 2006).

Neste sentido, diversos arquitetos passam a adotar premissas visando orientar o desenvolvimento de projetos que alcancem níveis de performance mais adequados, notadamente com relação ao meio ambiente. Como exemplo, McDonough (apud NESBITT, 2008) elaborou os nove princípios de Hannover, uma tentativa de estabelecer diretrizes gerais para o desenvolvimento de projetos sustentáveis para a Feira Mundial do Milênio, realizada em Hannover, na Alemanha, dos quais se destacam os seguintes:

1. Insistir no direito da humanidade e da natureza de coexistir em condições sustentáveis, diversas, saudáveis e de ajuda mútua.

2. Reconhecer a interdependência entre os projetos humanos e o mundo natural e sua dependência deste, com as mais amplas e diversas implicações em todas as escalas. Estender a reflexão sobre projetos humanos ao reconhecimento dos seus efeitos mais distantes.

4. Aceitar a responsabilidade pelas conseqüências das decisões de projeto para o bem-estar das pessoas, a viabilidade dos sistemas naturais e seu direito à coexistência.

6. Eliminar o conceito de desperdício. Avaliar e otimizar o ciclo completo dos produtos e processos para imitar os sistemas naturais, nos quais não há desperdício (MCDONOUGH apud NESBITT, 2008, p. 439-440).

Contudo, apesar da aparente convergência em relação aos conceitos relacionados à arquitetura sustentável, cabe destacar que esta tendência mundial não pode ser tratada como totalmente homogênea, pois em seu processo de amadurecimento e disseminação surgiram diferenças teóricas. Constatam-se várias

formas de incorporação dos princípios de desenvolvimento sustentável e sua tradução nos projetos de arquitetura, correspondendo a diferentes posturas. Estas diferentes correntes arquitetônicas diferenciam-se principalmente pelos dispositivos usados para caracterizar a imagem de uma arquitetura sustentável.

Guy e Farmer (2001) consideram que foram geradas 6 lógicas distintas e concorrentes englobadas pela arquitetura sustentável, conforme exposto no quadro seguinte.

Quadro 2.1 – As lógicas concorrentes da arquitetura sustentável

6 lógicas	Imagem do espaço	Fonte do conhecimento	Imagem do edifício	Tecnologia	Conceito ideal do espaço
Eco-técnica	Global	Técnica-racional	Futurista	High-tech Eficiente	Urbano compacto
Eco-cêntrica	Frágil	Metafísica	Poluidor	Autônoma Renovável	Harmonia com a natureza
Eco-estética	Alienante	Sensual	Icônica	Orgânica	Transfor-madora de consciência
Eco-cultural	Local	Fenomenológica	Autêntica	Lugar comum	Moradia Habitação
Eco-médica	Poluído	Médica	Saudável	Não-tóxica	Melhoria da qualidade de vida
Eco-social	Hierárquico	Sociológica	Democrá-tica	Flexível e Participativo	Não hierárquico

Fonte: Adaptado de Guy e Farmer (2001).

Analogamente, e considerando a produção arquitetônica desta década, Gauzin-Müller (2006) destaca duas tendências consideradas extremas e mais difundidas: low-techs e high-techs. Como posturas intermediárias, define outras três correntes: os humanistas ecológicos, a ecologia democrática e social, além dos minimalistas ecológicos. Já Williamson et al. (2003) relacionam as tendências a três tipos de imagens geradas a partir da aplicação dos princípios de sustentabilidade à produção arquitetônica: a imagem cultural, a imagem natural e a imagem técnica, admitindo a sobreposição de diferentes imagens.

Dentre as correntes, os pioneiros foram os low-techs ou no-techs, fortemente ligados aos movimentos ambientalistas. Nesta linguagem, a imagem natural é

valorizada, destacando-se a relação entre a edificação e seu entorno, em correspondência às correntes eco-cêntrica e eco-estética apresentadas no quadro 2.1. São preferidos os mecanismos e soluções de projeto que possibilitem ao edifício trabalhar aproveitando a natureza, principalmente como fonte de energia, visando limitar sua pegada ecológica ao seu próprio lote. Os materiais naturais que requerem processos de industrialização mais simples e menos impactantes são os mais utilizados, além do resgate de práticas arcaicas ou artesanais, o que enfatiza a premissa de menor intervenção humana sobre o meio.

A imagem técnica preconizada pela corrente high-tech (também denominada eco-tech) tem como destaque a tecnologia de ponta. A sustentabilidade é abordada como questão a ser resolvida através da aplicação de dispositivos tecnológicos inovadores, defendendo o uso da alta tecnologia para minimizar os impactos ambientais, utilizando para isto sistemas computadorizados e autogestores. Para tal, sua imagem baseia-se no uso de materiais e sistemas construtivos contemporâneos: vidros reflexivos, aço inox, revestimento modular em alumínio, materiais isolantes, fachadas duplas ventiladas, coletores solares, painéis fotovoltaicos, sistemas de automação e sensores são alguns exemplos.

Seus defensores acreditam que, para haver progresso, é necessário que algo seja perdido. Logo, a própria tecnologia mostraria o caminho para a qualidade ambiental (SLESSOR, 1997). Arquitetos com grande projeção mundial foram os pioneiros na concepção desta abordagem, amplamente difundida a partir dos anos 90: Norman Foster, Richard Rogers, Jean Nouvel, Renzo Piano, dentre outros.

Enfim, Zambrano (2008) cita a possibilidade de sobreposições de imagens, ou seja, edificações que apresentam características relacionadas a diferentes correntes apresentadas. Entende-se que o mesmo arquiteto pode se valer de diferentes linguagens, até mesmo em função das condições que se apresentam em cada projeto. Destaca-se, neste sentido, o recente projeto de Renzo Piano para a Academia de Ciências da Califórnia, que utiliza diferentes referências arquitetônicas, o que se

verifica através de presença intensa dos elementos naturais e uso de dispositivos de alta tecnologia para obtenção de conforto térmico e lumínico.

Imagem 2.3 | Academia de Ciências da California, projeto de Renzo Piano, 2008.

Fonte: GREAT BUILDINGS, 2010.

Em suma, a partir destes movimentos, de forma gradativa, os projetos arquitetônicos, tanto de construções novas como retrofits (reformas), passam então a ser desenvolvidos com a ótica da sustentabilidade. Surgem então, durante a primeira década do século XXI, as edificações denominadas Green Buildings (Edifícios Verdes, em português), empreendimentos nos quais os impactos ambientais gerados no projeto, na construção e na operação do edifício são minimizados, sem interferir no atendimento das necessidades dos usuários (SILVA, 2000). Nestes, a preocupação com a sustentabilidade relaciona-se ao ciclo de vida do edifício: inicia-se na fase projetual, prossegue durante a utilização da edificação e encerra-se com o seu desmonte.

Este cuidado passou a ser primordial, pois não se pode restringir a busca de sustentabilidade das edificações apenas ao seu impacto ambiental imediato, mas

também considerar todos os aspectos sociais, econômicos, culturais e políticos envolvidos a curto, médio e longo prazo. Assim, a expressão Green Building passou a ser adotada de forma a englobar todas as iniciativas dedicadas à criação de construções que utilizassem os recursos de maneira eficiente, promovessem conforto, tivessem vida útil ampliada e fossem adaptáveis às mudanças de necessidades dos usuários.

As alterações implementadas através da incorporação de novas premissas ao projeto geraram alterações radicais nos processos de concepção e produção dos edifícios, envolvendo objetivos de engenharia e arquitetura a serem alcançados. Com o intuito principal de avaliar o desempenho dos projetos e, consequentemente, da edificação através do alcance destas metas, foram desenvolvidos diversos métodos de auxilio ao desenvolvimento de projetos com qualidade ambiental.

2.3. Métodos de abordagem da qualidade ambiental nas edificações

Embora não exista uma classificação formal neste sentido, Silva (2007) classificou os sistemas de avaliação ambiental disponíveis em duas categorias. De um lado, estão os sistemas que promovem a construção sustentável através de mecanismos de mercado. O Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) foi pioneiro e lançou as bases de todos os sistemas de avaliação orientados para o mercado que seriam posteriormente desenvolvidos em todo o mundo, como o HK-BEAM, o LEED , o NF Bâtiments Tertiaires Démarche HQE e do CASBEE.

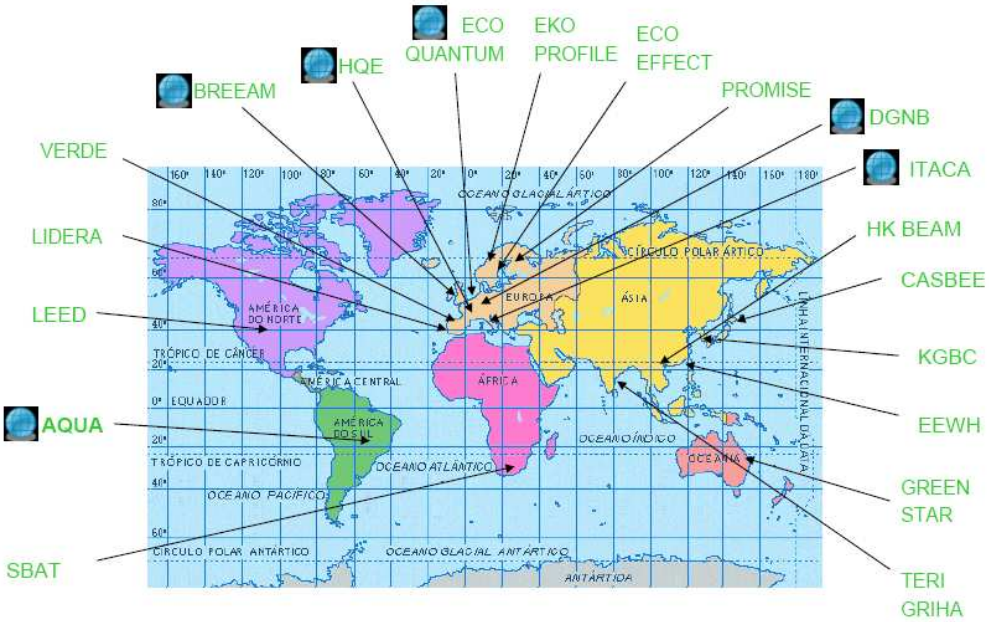

Imagem 2.4 | Metodologias de avaliação de desempenho ambiental das edificações pelo mundo.

Fonte: Adaptado de Silva, 2007.

Estes sistemas foram desenvolvidos para serem facilmente absorvidos por projetistas e pelo mercado em geral, e têm, portanto, uma estrutura mais simples, normalmente formatada como uma lista de verificação. Para divulgar o reconhecimento do mercado pelos esforços dispensados para melhorar a qualidade ambiental de projetos, execução e gestão operacional, todos eles são vinculados a algum tipo de certificação de desempenho. No segundo grupo estão os métodos orientados para pesquisa, como o Building Environmental Performance Assessment Criteria (BEPAC) e seu sucessor, o Green Building Challenge (GBC), centrados no desenvolvimento metodológico e fundamentação científica.

Com base nisto, Zambrano (2004) analisou comparativamente diversos instrumentos de avaliação da edificação, surgidos entre a década de 1990 e o início dos anos 2000, segundo seus objetivos e características: BREEAM (Reino Unido), BEPAC (Canadá), LEED (EUA), GBC (consórcio internacional), CASBEE (Japão) e HQE (França). Destaca a autora que, a exceção do HQE, os demais têm o foco principal na avaliação e certificação, sendo o auxílio ao projeto um objetivo complementar.

Embora considerando que indiscutivelmente o HQE é um sistema de avaliação que tem grande eficácia sobre o processo de projeto, pois sua aplicação baseia-se exatamente na abordagem/escolha dos elementos de arquitetura em função do desempenho ambiental destes, cumpre destacar brevemente aqui a escolha do LEED como referência escolhida para esta pesquisa. Em síntese, como será detalhado adiante, o LEED é um sistema de estrutura simples, fácil utilização e amplamente difundido.

Considerando que o objetivo central da pesquisa é avaliar a compatibilidade entre as características construtivas e arquitetônicas relacionadas ao conceito de biossegurança e os requisitos de qualidade ambiental, percebe-se que não se trata de incorporar características ao projeto. Isso porque os elementos relacionados à biossegurança são pré-determinados e obrigatórios. Portanto, é mais interessante para este estudo perceber os impactos destas características na qualidade ambiental do que ponderar sobre sua aplicação, já que estas são obrigatórias. Assim, para cruzar as características para avaliar impactos relaciona-se bem com estrutura de avaliação do LEED (checklist).

Retomando o tópico sobre os métodos de avaliação de desempenho ambiental das edificações, esta breve análise demonstrou que elas são naturalmente diferentes em virtude dos diferentes contextos em que surgiram, caracterizados por diferentes agendas ambientais, técnicas construtivas e conceitos sustentáveis. As pesquisas, ferramentas e procedimentos que objetivam a melhoria da sustentabilidade das edificações, além de tentar atender à problemática contemporânea, refletem uma evolução das pesquisas desenvolvidas no século passado.

Partindo para o contexto dos ambientes laboratoriais, vale ressaltar que, nos últimos anos, a concepção dos ambientes laboratoriais vem evoluindo, inclusive no sentido de agregar novas tecnologias e incorporar aspectos anteriormente desconsiderados como a sustentabilidade. Diante disso, é imprescindível também aplicar procedimentos de avaliação destes ambientes, visando elevar os níveis de desempenho e reduzir o impacto ambiental gerado.

> O desafio para arquitetos, engenheiros e outros profissionais de construção é construir a nova geração de laboratórios com eficiência energética, fontes de energia renovável e práticas de construção sustentável em mente. E fazer isto mantendo, ou ainda superando, os altos padrões contemporâneos de conforto, saúde e segurança.
>
> (EPA - 2000)

Os laboratórios de pesquisas biomédicas destacam-se atualmente como tipologia arquitetônica. Assim como a catedral foi importante no século XIV, a estação de trem teve grande relevância no contexto do século XIX e o edifício de escritórios despontou no século XX, o laboratório tem grande representatividade no século atual (EPA, 2000). Isso porque estes edifícios incorporam, tanto com relação ao programa quanto às tecnologias empregadas, a cultura e os valores contemporâneos, além de atrair numerosos recursos intelectuais e econômicos da sociedade.

Primeiramente, essas instalações representam uma grande oportunidade de avanço para tecnologias construtivas ambientalmente mais eficientes. Como já exposto, o laboratório típico utiliza muito mais energia e água por metro quadrado do que um equivalente edifício de escritórios. Como exemplo, é possível citar um dos fatores que contribuem para isto: o sistema de ventilação intensiva, um dos requisitos indispensáveis para garantir a segurança dos envolvidos frente aos riscos de contaminação.

Neste viés, a situação acentua-se ainda mais nos casos de salas limpas e laboratórios de biocontenção. Isso porque o consumo pode atingir até 100 vezes o consumo de uma edificação de tamanho igual com função comercial ou institucional (EPA, 2000). Portanto, fica evidente que é importante agregar as premissas de qualidade ambiental aos projetos, focando na melhoria de eficiência e desempenho, já que a arquitetura é um ponto de interseção entre as exigências de biossegurança e as premissas de sustentabilidade.

Da mesma forma, é importante destacar que as exigências dos ambientes laboratoriais de pesquisas biomédicas diferem radicalmente dos outros edifícios, evidenciando que existe uma clara necessidade de criar iniciativas exclusivamente voltadas para essas edificações. Neste sentido, a aplicação das premissas da construção sustentável a esta tipologia vem ocorrendo de forma mais intensa desde o início deste século, com destaque para o programa Labs21 (Laboratórios para o Século XXI), que visa auxiliar na incorporação de requisitos de qualidade ambiental aos laboratórios, considerando também os aspectos relativos à biossegurança.

Assim, o objeto principal deste capítulo é a análise de compatibilidade entre os requisitos de qualidade ambiental e as exigências de biossegurança, considerando os laboratórios biomédicos. Para tal, tornou-se necessário buscar referências nos dois campos de interesse (biossegurança e sustentabilidade), a fim de estabelecer uma proposta de análise.

Por um lado, as características relacionadas à biossegurança laboratorial foram obtidas e compiladas através de pesquisas desenvolvidas anteriormente, além de fontes bibliográficas nacionais e internacionais. Em comum, estes referenciais estabelecem grupos de características construtivas e espaciais a serem incorporadas aos projetos de laboratórios, em caráter orientativo, de acordo com o grau de risco identificado.

Quanto à avaliação de desempenho ambiental, o sistema eleito foi o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), embora existam outros disponíveis. Isso se justifica em função de alguns pontos verificados nesta pesquisa tanto com relação à estrutura deste sistema de avaliação quanto em relação a outras metodologias complementares desenvolvidas.

Primeiramente, cabe destacar que o programa Labs21 desenvolveu uma ferramenta de auxílio ao projeto baseada no checklist original desenvolvido pelo LEED, diferenciando-se justamente pela inserção de exigências de biossegurança. Tal ferramenta (Environmental Performance Criteria – EPC) já constitui uma possibilidade

de incorporação de sustentabilidade aos projetos de ambientes laboratoriais, ou seja, considerando a biossegurança.

Além disso, é importante lembrar que o objetivo geral desta pesquisa é avaliar a compatibilidade de aplicação entre os requisitos físicos relacionados ao conceito de biossegurança e os princípios de qualidade ambiental nos projetos de laboratórios de pesquisas biomédicas. Assim, a existência de uma ferramenta consolidada abre uma possibilidade de comparação com os resultados obtidos na análise desenvolvida nesta pesquisa.

Com relação ao LEED, um conceito básico a ser percebido é que o sistema de avaliação preconiza fortemente a eficiência energética, enquanto atribui menor importância ao conforto ambiental. Esta característica, em primeira análise, parece ruim, mas se aplica bem ao caso dos laboratórios, já que as condições ambientais são muito afetadas pelas diretrizes biossegurança, a exemplo da ventilação artificial, sendo interessante então privilegiar a eficiência.

Outro fator que importante é a estrutura simples do sistema de avaliação, com itens bem definidos, aplicação direta (checklist) e fácil incorporação como ferramenta de auxílio ao projeto. Esta formatação atende ao método proposto – desenvolvimento e aplicação de matrizes – para análise das características selecionadas. Diante disso, fica caracterizada a utilidade de adotar o LEED como referência de análise nesta pesquisa, com relação aos critérios de qualidade ambiental.

3.1. Sistema de avaliação de desempenho ambiental de edificações: LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

Diante da necessidade de alteração do papel da construção civil no cenário de impactos ambientais mundiais como parte das estratégias para cumprimento das metas estabelecidas a partir da ECO-92, surgiram mundialmente metodologias para avaliação de desempenho ambiental da edificação e seus sistemas constituintes. Cook (2001) sustenta que tais iniciativas visam principalmente estimular a demanda de

mercado por níveis superiores de desempenho, concentrando-se principalmente na questão ambiental da sustentabilidade.

Neste contexto, insere-se a iniciativa de criação do LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), surgida em 1996 nos Estados Unidos, desenvolvida pela USGBC (United States Green Building Council) como resposta aos problemas ambientais já deflagrados. O LEED é um sistema de certificação internacionalmente reconhecido, que apresenta um grande potencial de crescimento, principalmente por conta do investimento que é feito para difusão e revisão contínuas (SILVA, 2007).

Para compreensão do funcionamento do sistema, é importante destacar algumas características. O objetivo principal do LEED, segundo a USGBC (2010), é facilitar a transferência de conceitos da construção ambientalmente responsável para os profissionais e a indústria da construção. A primeira versão denominada LEED 1.0 foi lançada em janeiro de 1999, através da USGBC. A versão 3 está disponível desde 2009 e foi estruturada em 3 partes: LEED 2009 (com melhoria no sistema de avaliação), um novo LEED online e um modelo de certificação revisado.

A metodologia é orientada para uma classificação de desempenho consensual que visa o mercado, com o objetivo acelerar o desenvolvimento e implementar práticas de projeto e construção ambientalmente responsáveis. Para tal, estabelece algumas estratégias gerais, tais como economia de energia, eficiência no consumo de água, redução de emissões de CO_2, melhoria na qualidade dos ambientes internos, gestão dos recursos e sensibilidade para seus impactos.

O desenvolvimento inicial do sistema baseou-se na hipótese de que um programa voluntário seria mais interessante para estimular o mercado a alcançar rapidamente as metas estabelecidas, enquanto os métodos tradicionais de normatização apenas ajudariam a melhorar as condições, a eficiência energética e o desempenho ambiental (USGBC, 2010). Complementa Silva (2007) que acreditava-se que o desenvolvimento de sistemas de classificação consistentes implicaria em

incentivar outros segmentos da construção a desenvolver produtos de maior qualidade ambiental.

O sistema de avaliação analisa o desempenho ambiental do edifício através da concessão de créditos em função do atendimento a critérios pré-estabelecidos. A performance mínima exigida como nivelamento para avaliação de um edifício é o cumprimento de pré-requisitos, o que funciona como seleção prévia. Estando satisfeitos todos estes pré-requisitos, o empreendimento torna-se elegível a passar para a etapa de análise e classificação de desempenho, pois o sistema pontua créditos para o atendimento dos critérios, organizados em checklist dividido em grupos temáticos.

Tais créditos são concedidos basicamente em função de ações de projeto, construção ou gerenciamento que contribuam para reduzir os impactos ambientais. São consideradas como referência normas e recomendações de instituições independentes com credibilidade reconhecida, como a ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers e o DOE (Department of Energy).

A atual versão do checklist é dividida em 8 categorias, contendo 8 pré-requisitos e 56 créditos, totalizando 110 pontos. Em função dos pontos obtidos, o empreendimento pode ter seu desempenho classificado como: certificado (40 a 49 pontos), prata (50 a 59 pontos), ouro (60 a 79 pontos) ou platina (80 pontos ou mais). O checklist correspondente é mostrado em duas partes nas imagens 3.1 e 3.2.

LEED 2009	
Checklist de projeto	
ESPAÇO SUSTENTÁVEL - pontos possíveis: 26	
Pré-requisito 1	Prevenção da poluição na atividade da construção
Crédito 1	Seleção do terreno
Crédito 2	Densidade urbana e conexão com a comunidade
Crédito 3	Requalificação de áreas degradadas
Crédito 4.1	Transporte alternativo (acesso ao transporte público)
Crédito 4.2	Transporte alternativo (bicicletário e vestiário para os ocupantes)
Crédito 4.3	Transporte alternativo (uso de veículos de baixa emissão)
Crédito 4.4	Transporte alternativo (área de estacionamento)
Crédito 5.1	Desenvolvimento do espaço (proteção e restauração do habitat)
Crédito 5.2	Desenvolvimento do espaço (maximizar espaços abertos)
Crédito 6.1	Projeto para águas pluviais (controle da quantidade)
Crédito 6.2	Projeto para águas pluviais (controle da qualidade)
Crédito 7.1	Redução da ilha de calor (áreas descobertas)
Crédito 7.2	Redução da ilha de calor (coberturas)
Crédito 8	Redução da poluição luminosa
USO RACIONAL DA ÁGUA - pontos possíveis: 10	
Pré-requisito 1	Redução no uso da água - 20%
Crédito 1	Uso eficiente de água no paisagismo
Crédito 2	Tecnologias inovadoras para águas servidas
Crédito 3	Redução no uso da água
ENERGIA E ATMOSFERA - pontos possíveis: 35	
Pré-requisito 1	Comissionamento dos sistemas de energia
Pré-requisito 2	Performance energética mínima
Pré-requisito 3	Gestão de gases refrigerantes (não uso de CFCs)
Crédito 1	Otimização da performance energética
Crédito 2	Geração local de energia renovável
Crédito 3	Melhoria no comissionamento
Crédito 4	Melhoria na gestão de gases refrigerantes
Crédito 5	Medições e verificações
Crédito 6	Energia "verde"

Imagem 3.1 | Checklist LEED versão 3 (2009) – parte 1. Fonte: USGBC, 2010.

QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA - pontos possíveis: 15	
Pré-requisito 1	Qualidade do ar interno (performance mínima)
Pré-requisito 2	Controle ambiental da fumaça de cigarro
Crédito 1	Monitoramento da captação de ar exterior
Crédito 2	Aumento da ventilação
Crédito 3.1	Plano de gestão da qualidade do ar (durante a construção)
Crédito 3.2	Plano de gestão da qualidade do ar (antes da ocupação)
Crédito 4.1	Materiais de baixa emissão (adesivos e selantes)
Crédito 4.2	Materiais de baixa emissão (pinturas e revestimentos)
Crédito 4.3	Materiais de baixa emissão (carpetes e sistemas de piso)
Crédito 4.4	Materiais de baixa emissão (compostos de madeira e agrofibras)
Crédito 5	Controle das fontes internas de produtos químicos e poluentes
Crédito 6.1	Controle de sistemas (iluminação)
Crédito 6.2	Controle de sistemas (conforto térmico)
Crédito 7.1	Conforto térmico (projeto)
Crédito 7.2	Conforto térmico (verificação)
Crédito 8.1	Iluminação natural e paisagem (luz do dia)
Crédito 8.2	Iluminação natural e paisagem (vistas)
INOVAÇÃO E PROCESSO DO PROJETO - pontos possíveis: 6	
Crédito 1.1	Inovação no projeto
Crédito 1.2	Inovação no projeto
Crédito 1.3	Inovação no projeto
Crédito 1.4	Inovação no projeto
Crédito 1.5	Inovação no projeto
Crédito 2	Profissional acreditado LEED
CRÉDITOS REGIONAIS - pontos possíveis: 4	
Crédito 1.1	Prioridades regionais
Crédito 1.2	Prioridades regionais
Crédito 1.3	Prioridades regionais
Crédito 1.4	Prioridades regionais
Total de pontos possíveis: 110	

Imagem 3.2 | Checklist LEED versão 3 (2009) – parte 2. Fonte: USGBC, 2010.

É importante ressaltar ainda que a certificação é válida por cinco anos. Encerrado este prazo, o processo dever ser repetido e revalidado através da realização de nova avaliação por um organismo credenciado pela entidade responsável pelo sistema de certificação (USGBC). Neste momento, os focos da avaliação passam a ser a operação e a gestão do empreendimento.

Com relação à aplicabilidade do LEED, percebe-se que o sistema pode ser utilizado como ferramenta de auxílio ao projeto, o que facilita a sua incorporação à prática profissional, notadamente por conta de sua estrutura simples (HERNANDES; DUARTE, 2007). E ainda, por ter sido concebido para atuar como facilitador na tomada de decisões, a estrutura permite a avaliação isolada apenas dos requisitos para os quais se pretenda obter a certificação. Embora não haja um critério explícito de ponderação entre as categorias, a quantidade variável de itens, dentro de cada categoria, define implicitamente o peso das mesmas.

E ainda, um dos motivos da ampla disseminação do método, verificada a nível mundial, reside no fato de que se trata de um documento aprovado e utilizado por diversos atores: indústria da construção, esferas de governo, associações, além de fabricantes de materiais e produtos. E, acima de tudo, destaca-se novamente que se trata de um método de estrutura simples, de fácil entendimento e adequação, que faz uso de checklists para verificação dos requisitos (VIEIRA; BARROS FILHO, 2009).

Imagem 3.3 | Participação no uso do LEED (2006). Fonte: USGBC, 2006.

Ainda sobre este aspecto, Hernandes e Duarte (2007) destacam os papéis determinantes dos agentes envolvidos para o resultado final da avaliação/certificação. São eles: os clientes, os empreendedores e/ou construtores, os usuários e os arquitetos e/ou projetistas. Neste sentido, estes últimos têm papel diferenciado, pois atuam diretamente sobre 77% dos itens do checklist.

Como exemplo da disseminação desse sistema, destaca-se que o USGBC já licenciou uma versão do LEED para ser usada no Canadá. Além disso, está sendo desenvolvida uma versão para a Índia em associação com a Confederation of Indian Industries. E ainda, o LEED também inspirou a elaboração de um sistema de avaliação chinês de sustentabilidade para avaliação de residências (HERNANDES; DUARTE, 2007).

No Brasil, a utilização da metodologia também vem crescendo, haja vista o número de edificações certificadas ou em processo de certificação (imagem 3.4). Além disso, cabe destacar a implantação da fundação do Green Building Council Brasil (GBCB) em 2007. A instituição tem como um dos objetivos adaptar o LEED para aplicação ao Brasil. Como exemplo, a Petrobrás elegeu o LEED como sistema de certificação para um de seus projetos mais relevantes: o centro de pesquisas CENPES II, no Rio de Janeiro (GONÇALVES; DUARTE, 2006). Isto reforça a presença do LEED em nível nacional e ilustra um exemplo de utilização do sistema norte-americano.

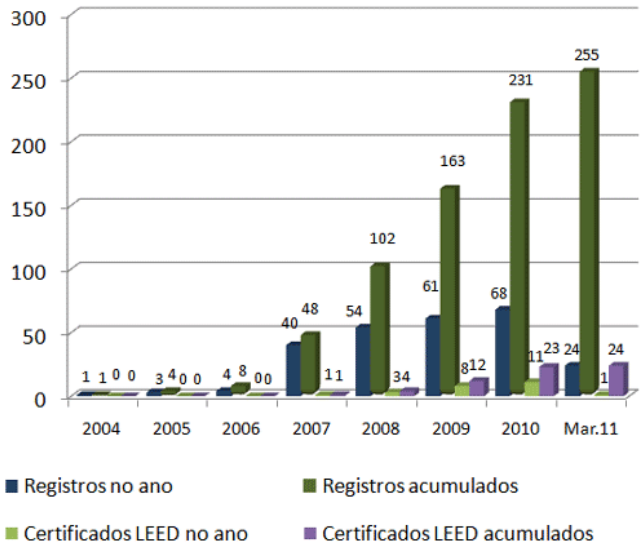

Imagem 3.4 | Registros e certificações LEED no Brasil. Fonte: GBC Brasil, 2011.

Em função de análises acerca do sistema, alguns autores apontam os principais aspectos positivos e negativos. Hernandes e Duarte (2007) destacam alguns fatores que contribuem para que o sistema sustente uma posição de reconhecimento, principalmente no seu país de origem. São eles: a capacidade de divulgação dos princípios sustentáveis e boas práticas, o alto grau de consenso entre os diversos atores envolvidos, o apoio de instituições públicas e a criação de uma imagem de credibilidade através da associação da imagem institucional do LEED com agências do governo, associação de normas técnicas e outros.

Stuermer et al. (2010) destacam também a estrutura simples, com itens bem definidos, inovações tecnológicas e de design, além da capacidade de atualização e adaptação constante, permitindo a fácil incorporação como ferramenta na etapa inicial de projeto. Da mesma forma, a certificação permite trazer à indústria da construção civil novos parâmetros, diferenciais de mercado, que podem trazer melhor qualidade de vida ao usuário da edificação e ao entorno, em diversas escalas, ampliando a visão para além do lote de construção.

Além disso, vale destacar que a forma de avaliação do sistema acarreta uma valorização do projeto. Isso porque, para alcançar os níveis de desempenho desejado com menores custos, é fundamental considerar as exigências já nas primeiras etapas do processo projetual. É importante considerar também a influência exercida sobre os fornecedores, já que estes são pressionados a se adaptar às exigências do sistema, visando a obtenção dos resultados esperados.

Por outro lado, por ter sido projetado para funcionar como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões, os aspectos avaliados no LEED têm peso idêntico. Ou seja, não há ponderação entre categorias, o que faz com que um edifício que tenha obtido boa pontuação em determinada categoria, e atingido o mínimo de desempenho permitido em outra, possa obter uma boa classificação final. Com isso, em determinadas condições, o resultado da avaliação pode ser incompleto e não necessariamente refletir o desempenho específico da edificação.

Bueno e Rossignolo (2009) destacam ainda que este sistema de certificação ambiental foi desenvolvido e parametrizado levando em consideração, principalmente, as questões de maior relevância para edificações norte-americanas. Por isso, apresenta alguns créditos de caráter regional, assim como uma gama de questões relacionadas ao conforto ambiental que considera climas temperados e a opção por sistemas mecânicos.

Outra crítica relevante se relaciona a inexistência de créditos para as questões sócio-culturais. Por ter sido pensado para responder estritamente às questões ambientais, o LEED mostra-se inadequado para abordar situações sócio-culturais típicas de cada país. Em síntese, percebe-se que os pontos negativos são mais relacionados à abrangência da avaliação do que aos créditos relacionados.

3.2. Qualidade ambiental em laboratórios: o programa Labs 21

É fato que a discussão sobre os impactos ambientais gerados pela construção civil ainda requer aprofundamento, pois é necessário considerar as diferentes demandas em relação a certas tipologias de edifícios. Em particular, os edifícios que abrigam os serviços de saúde exercem uma grande pressão sobre o meio ambiente, principalmente pelo alto consumo de energia associado, indispensável ao desenvolvimento seguro das atividades. Dessa forma, o aparente conflito entre biossegurança e eficiência energética, por exemplo, ocorre naturalmente a partir de qualquer análise.

Neste contexto, o Labs21 é um programa de qualidade criado nos Estados Unidos que tem o objetivo principal de otimizar a performance ambiental de laboratórios (LABS21, 2010). Foi desenvolvido através da colaboração de profissionais de instituições públicas e privadas, sob supervisão e patrocínio da U. S. Environmental Protection Agency (EPA - Agência de Proteção Ambiental dos E.U.A.) e do U.S. Department of Energy (DOE – Departamento de Energia dos EUA).

O programa surgiu há pouco mais de uma década, em função das constatações acerca do desempenho ambiental dos laboratórios, onde se destaca o intensivo consumo energético associado. E ainda, é importante esclarecer que o Labs21 atua de forma consultiva, promovendo apoio aos projetos e desenvolvendo ferramentas e manuais para facilitar a aplicação dos conceitos de qualidade ambiental aos projetos de ambientes laboratoriais.

O foco do programa é criar laboratórios de referência, incentivando os proprietários, usuários, operadores e projetistas a adotar a abordagem de melhoria da eficiência energética e do desempenho ambiental da edificação. Esta estratégia considera uma avaliação da edificação sob a perspectiva de um sistema único (whole building design), visando a melhoria da eficiência de todo o sistema e evitando focar em componentes específicos da construção. Isso requer avaliação de todos os sistemas de um laboratório, incluindo energia, resíduos e climatização.

Ainda segundo o próprio programa, as ações são baseadas nas seguintes premissas: minimizar o impacto ambiental global; proteger a segurança dos ocupantes; otimizar a eficiência do prédio inteiro em uma base do ciclo de vida; estabelecer metas de desempenho; controlar e compartilhar resultados de melhoria contínua. Para tal, são definidas algumas estratégias (LABS21, 2010):

- Adotar metas de desempenho energético e ambiental;

- Avaliar oportunidades considerando a perspectiva do edifício como um todo;

- Utilizar modelo de decisão baseado no custo do ciclo de vida;

- Comissionar equipamentos e instalações em novos projetos ou retrofits;

- Empregar estratégias baseadas em grandes parcelas de energia renovável e eficiência de uso da água;

- Medir o consumo de água e energia e realizar reduções;

- Avaliar o potencial de geração energética do local, considerando sistemas elétricos e de ventilação, além da captação de energia renovável;

- Especificar materiais de construção de baixo impacto ambiental;

- Promover operações eficientes de energia e água, além de eventos de treinamento e conscientização;

- Explorar oportunidades de design sustentável além das possibilidades locais.

Dentre as ferramentas e manuais desenvolvidos pelo Labs21 (2010), destacam-se o guia de introdução ao projeto de baixo impacto em laboratórios; os estudos de caso em laboratórios novos e existentes; os padrões de desempenho energético; o manual de processo do projeto relacionado a laboratórios de alta performance; o checklist de critérios de performance ambiental. Considerando os objetivos desta pesquisa, ressalta-se este último, denominado Environmental Performance Criteria (EPC), que foi considerado para construção da proposta de avaliação desta pesquisa.

Desenvolvido com base nos critérios e objetivos do LEED, o EPC é um sistema de avaliação gerado a partir da versão 2.2 do LEED. No entanto, o que o diferencia do sistema original é a incorporação de requisitos especificamente aplicados aos laboratórios. Este é o caso de alguns elementos que visam a biocontenção: a gestão dos riscos de saúde e segurança (em relação às doenças infecto-contagiosas) aplicados ao local da construção, o gerenciamento de resíduos gerados nas atividades e a concepção dos sistemas de ar condicionado visando a proteger a equipe de trabalho e o meio exterior.

Quadro 3.1 – Comparativo de características entre LEED e EPC.	
LEED	**EPC**
Critérios disponíveis para vários tipos de edifícios.	Especificamente desenvolvido para instalações laboratoriais.
Criado para uso independente.	Criado para funcionar em conjunto com o LEED.
Promove certificação aos edifícios.	Não confere certificação às edificações avaliadas.
Produzido pelo USGBC	Desenvolvido por um grupo de mais de 40 arquitetos, engenheiros e profissionais de saúde e segurança.

Fonte: Adaptado de Labs21 (2010).

Abaixo, está disposto um trecho do checklist utilizado nesta avaliação, destacando-se em amarelo os créditos adicionais – itens relacionados aos laboratórios – que foram incorporados ao original. Quando não mencionado, os demais créditos e os requisitos permanecem idênticos ao LEED. Por exemplo, na categoria Sustainable Sites (Sustentabilidade Local), o LEED enumera créditos de 1 a 8, enquanto o EPC agrega um crédito adicional nº 9, relacionado à Segurança e Gestão de Risco de efluentes. As tabelas completas do checklist de avaliação (EPC) constam do Anexo 3.

EPC 2.2 - Checklist de Projeto

Créditos e pré-requisitos (adições/modificações ao LEED) estão destacados

Sim	?	Não			
0	0	0	**Espaço Sustentável**		16 Pontos
Y			**Pré-requisito 1**	Prevenção da poluição na atividade da construção	Obrigatório
			Crédito 1	Seleção do terreno	1
			Crédito 2	Densidade urbana e conexão com a comunidade	1
			Crédito 3	Requalificação de áreas degradadas	1
			Crédito 4.1	Transporte alternativo (acesso ao transporte público)	1
			Crédito 4.2	Transporte alternativo (bicicletário e vestiário para os ocupantes)	1
			Crédito 4.3	Transporte alternativo (uso de veículos de baixa emissão)	1
			Crédito 4.4	Transporte alternativo (área de estacionamento)	1
			Crédito 5.1	Desenvolvimento do espaço (proteção e restauração do habitat)	1
			Crédito 5.2	Desenvolvimento do espaço (maximizar espaços abertos)	1
			Crédito 6.1	Projeto para águas pluviais (controle da quantidade)	1
			Crédito 6.2	Projeto para águas pluviais (controle da qualidade)	1
			Crédito 7.1	Redução da ilha de calor (áreas descobertas)	1
			Crédito 7.2	Redução da ilha de calor (coberturas)	1
			Crédito 8	Redução da poluição luminosa	1
			Crédito 9.1	Gerenciamento de segurança e riscos (efluentes aéreos)	1
			Crédito 9.2	Gerenciamento de segurança e riscos (efluentes líquidos)	1

Imagem 3.5 | Trecho do EPC - checklist para avaliação de projeto. Fonte: Labs21, 2010.

Neste sentido, o objetivo primário desta ferramenta é auxiliar na incorporação de premissas de qualidade ambiental ao desenvolvimento do projeto. Como conseqüência, percebe-se a utilidade de seu uso com relação ao processo de certificação de desempenho ambiental baseado no LEED.

No entanto, um contraponto essencial a ser feito é que esta ferramenta, por considerar as exigências físicas relacionadas à biossegurança como mandatórias, não avalia seus impactos em relação à sustentabilidade, que é justamente o que se pretende nesta pesquisa. Ou seja, os aspectos relacionados à biossegurança são incorporados como requisitos adicionais de qualidade ambiental sem, contudo, avaliar as interferências cruzadas.

Considerando isto, cabe destacar que o objetivo do trabalho é justamente avaliar a compatibilidade entre as características de biossegurança e qualidade ambiental. Desta forma, foi importante utilizar o EPC como referência, já que é uma indiscutível ferramenta para incorporar aspectos importantes ao projeto.

Porém, é necessário também avaliar os impactos desta incorporação, mesmo considerando que não seja obrigatória. Conclui-se que uma simples aplicação do EPC não atenderia ao objetivo deste estudo, já que se resumiria a aplicação de aspectos ao projeto. E o que se pretende aqui é justamente avaliar a compatibilidade de aplicação e os impactos desta aplicação na performance ambiental da edificação.

3.3. Proposta de matriz para avaliação de compatibilidade entre as exigências de biossegurança e os requisitos de qualidade ambiental

As análises realizadas neste item têm como base a aplicação de matrizes que buscam confrontar características de diferentes naturezas. Esta opção visa principalmente assegurar o atendimento ao objetivo principal deste estudo, ou seja, avaliar a compatibilidade entre as exigências de biossegurança e as premissas de qualidade ambiental. Isso se justifica porque através do uso destas matrizes, é possível

cruzar as diferentes necessidades dos laboratórios, de forma a avaliar as relações entre ambos os grupos (biossegurança e qualidade ambiental).

Porém, esta abordagem não pode ser considerada inovadora, pois a aplicação de matrizes na priorização de características já foi utilizada anteriormente por diversos autores. Para a elaboração da matriz proposta para avaliação de compatibilidade entre as exigências relacionadas à biossegurança e os requisitos de qualidade ambiental, tomou-se por base outros estudos realizados anteriormente, também relacionados ao ambiente construído, que se utilizam de matrizes como ferramentas de avaliação e/ou auxílio ao projeto.

3.3.1. Referências consideradas

É fato que as matrizes são ferramentas largamente utilizadas em diversas disciplinas e áreas do conhecimento. Originalmente criadas como método para solucionar sistemas matemáticos, muitas outras funções lhe são atribuídas, até mesmo na construção civil e na arquitetura, como forma de agregar e/ou avaliar o desempenho de algumas características dos projetos e edifícios. Para elaboração da matriz proposta neste trabalho, foram analisadas as proposições utilizadas nos métodos: Quality Function Deployment (QFD), a metodologia ADDENDA, a matriz elaborada pelo GPAS (Grupo Projeto, Arquitetura e Sustentabilidade) e o modelo locacional COPPETEC-COSENZA.

Primeiramente, um dos métodos mais difundidos que utiliza as matrizes como elemento fundamental de análise é o Quality Function Deployment (QFD, desdobramento da função qualidade). O método surgiu no Japão como ferramenta de qualidade para aplicação industrial e difundiu-se internacionalmente, dado que várias organizações o aplicaram visando obter ganhos através de reduções do custo, de prazos, de qualidade e de confiabilidade no desenvolvimento de produtos. Neste sentido, é importante destacar algumas características acerca da sua estrutura (AKAO, 1990).

Peixoto e Carpinetti (1998) sustentam que o QFD é uma técnica que pode ser empregada durante todo o processo de desenvolvimento do projeto e objetiva auxiliar a equipe de desenvolvimento a incorporar as reais necessidades dos clientes. Por meio de um conjunto de matrizes, parte-se dos requisitos dos clientes e realiza-se um processo de desdobramento, que os transforma em especificações técnicas do projeto. As matrizes servem de apoio para o grupo de envolvidos, registrando as discussões, permitindo a avaliação e priorização de requisitos e características e, ao final, convertendo-se em fonte de informações para a execução do projeto.

O método permite o controle de diversas etapas, conforme ilustra a figura 3.6. Na primeira fase, desenvolve-se uma matriz correspondente ao planejamento do produto, que permite o cruzamento entre as opiniões do cliente sobre o produto, os requisitos do projeto (tradução das opiniões em características do projeto) e a definição de parâmetros quantificando as características definidas (SALGADO, 1997). Os cruzamentos permitem visualizar e definir em que medida as características levantadas exercem impactos entre si e sobre o processo de desenvolvimento do produto.

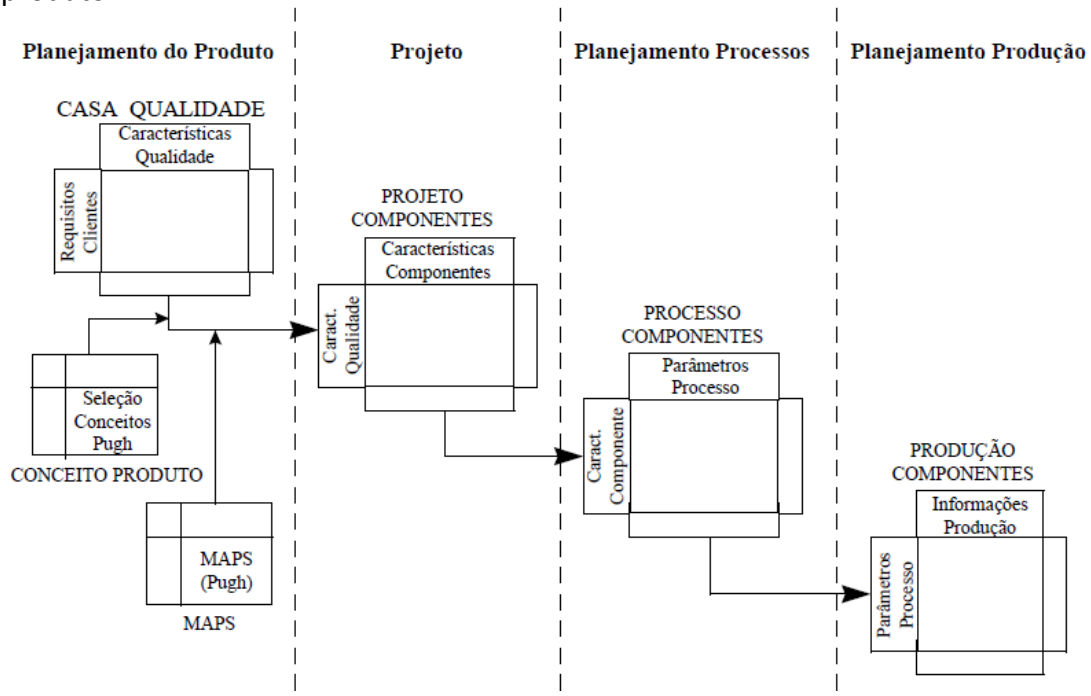

Imagem 3.6 | Fases de desenvolvimento do QFD estendido (desdobramento do produto).

Fonte: Peixoto; Carpinetti, 1998.

Esta matriz básica, que corresponde à primeira etapa do QFD, é denominada Casa da Qualidade, obtida pelo cruzamento da tabela dos requisitos do cliente (ou da qualidade exigida) com a tabela das características de qualidade do produto, como ilustrado na imagem 3.6. O resultado obtido deste cruzamento é, portanto, a matriz mostrada na imagem 3.7, onde o quadrado "Q" é o resultado da interseção das duas tabelas, é denominado "matriz de relações".

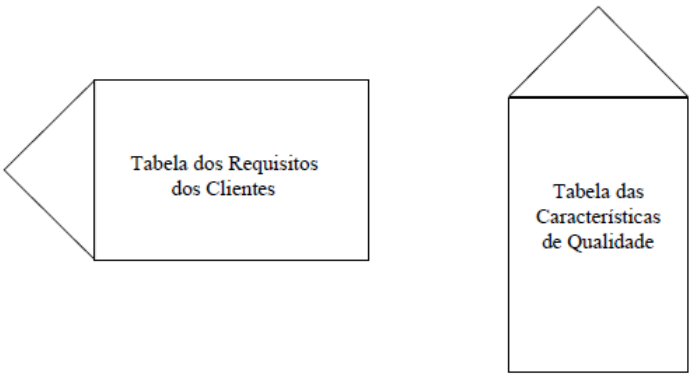

Imagem 3.7 | Tabelas que formam a casa da qualidade. Fonte: Peixoto, 1998.

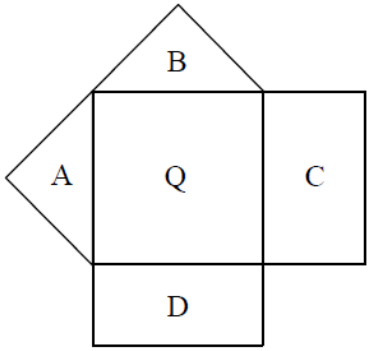

Imagem 3.8 | Representação gráfica do cruzamento da tabela dos requisitos dos clientes com a tabela das características de qualidade. Fonte: Peixoto, 1998.

Considerando o contexto da construção civil e o desenvolvimento de projetos de arquitetura, o QFD já foi aplicado com diversas finalidades. Como exemplos, é possível citar a prestação de serviços de apoio à construção civil (BACELAR et al., 2001), o planejamento da qualidade do projeto arquitetônico (SALGADO, 1997) e a análise de resultados de avaliação pós-ocupacional (LONGHI et al., 2000). Isso evidencia a utilidade de aplicação deste método no desenvolvimento do produto, que pode ser considerado tanto o projeto como a edificação.

Relacionando o projeto de arquitetura com qualidade ambiental, o método ADDENDA é outra importante referência no uso de matrizes para obtenção de edificações de qualidade. Este foi desenvolvido por um escritório de consultoria francês, denominado Societé ADDENDA, com o objetivo de possibilitar a integração e hierarquização dos critérios ambientais no processo de concepção do projeto, através de uma abordagem arquitetônica dos alvos ambientais eleitos pelo procedimento francês HQE – Haute Qualité Environmentalle (ZAMBRANO, 2008).

Neste sentido, o método ADDENDA preconiza a aplicação no projeto arquitetônico dos alvos de desempenho ambiental através da concepção projetual. Considera-se que as questões arquitetônicas são definidas em função dos elementos de concepção arquitetônica, que estão ligados aos componentes de projeto, que são divididos em quatro grupos: implantação, morfologia, materialidade e espacialidade (WEKA, 2003).

Zambrano (2008) destaca que, a partir destes quatro campos, relacionam-se cerca de vinte conceitos arquitetônicos, pelos quais são identificados mais de cinqüenta parâmetros sensíveis de análise. Tais conceitos e parâmetros representam o conjunto de características arquitetônicas de um projeto. Neste sentido, o método em questão estabelece a necessidade de hierarquização dos alvos ambientais, para definir quais são aqueles que terão prioridade nas decisões de projeto.

Este cruzamento entre os alvos ambientais e o conjunto de características arquitetônicas originou uma matriz de análise, demonstrada na imagem 3.8, que explicita onde existem interações entre as características consideradas. A partir disso, é possível definir quais são os alvos prioritários e as recomendações para o desenvolvimento do projeto.

É importante destacar ainda que o método ADDENDA também contempla o desdobramento das informações em outras matrizes, principalmente visando a aprimorar a hierarquização dos requisitos aplicáveis à concepção do projeto. A partir das análises realizadas, são gerados dois tipos de documentos que subsidiam a etapa

de elaboração do programa de arquitetura: um caderno de recomendações arquitetônicas e urbanas e um caderno de exigências ambientais (WEKA, 2003).

RELAÇÃO DOS ALVOS AMBIENTAIS COM
OS PARÂMETROS DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO SOBRE O SÍTIO

		AMBIENTE EXTERIOR							AMBIENTE INTERIOR						
		ECO-CONSTRUÇÃO			ECO-GESTÃO				CONFORTO				SAÚDE		
		Alvo O1	Alvo O2	Alvo O3	Alvo O4	Alvo O5	Alvo O6	Alvo O7	Alvo O8	Alvo O9	Alvo 10	Alvo 11	Alvo 12	Alvo 13	Alvo 14
		Relação harmoniosa das construções com o entorno imediato	Escolha integrada dos processos de construção	Canteiro com poucos incômodos	Gestão de Energia	Gestão da Água	Gestão de dejetos das atividades	Assistência Técnica e Manutenção	Conforto Higrotérmico	Conforto Acústico	Conforto Visual	Conforto Olfativo	Condições sanitárias	Qualidade do Ar	Qualidade da Água
IMPLANTAÇÃO	Distribuição	x		x			x			x		x	x	x	
	Limites	x		x					x						
	Microclima	x	x		x				x				x	x	
	Paisagem	x		x					x		x				
	Recursos	x		x	x	x			x						x
	Incômodos	x		x	x	x	x			x		x	x	x	x
	Usos	x		x			x								
MORFOLOGIA	Forma	x	x	x	x				x	x	x				
	Envelope	x	x	x					x	x					
	Escala	x	x		x			x	x				x		
	Embasamento	x	x	x					x						
MATERIALIDADE	Composição	x	x		x				x	x	x				
	Construção		x	x	x			x	x	x					
	Porosidade		x		x			x	x	x	x				
	Proteção				x			x	x	x	x				
ESPACIALIDADE	Distribuição				x				x		x				
	Partição				x		x		x	x			x	x	
	Comunicação							x					x	x	
	Regulação				x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
	Alvos de Alto Desempenho	X				X			X		X				
	Alvos de Desempenho		O		O		O	O							
	Alvos de Base			X						X		X	X	X	X

Imagem 3.9 | Matriz de cruzamento entre alvos ambientais e parâmetros de projeto – método ADDENDA. Fonte: ADDENDA, 2006.

Com base na proposta do método ADDENDA, foi desenvolvida um outro método que procura avaliar o projeto segundo os princípios de alta qualidade ambiental. Trata-se da matriz desenvolvida pelo Grupo Projeto, Arquitetura e Sustentabilidade (GPAS) para auxiliar na seleção do projeto para a sede do NUTRE (Núcleo de Tecnologias para a Recuperação de Ecossistemas).

A metodologia desenvolvida apóia-se na avaliação de desempenho potencial das soluções arquitetônicas propostas pelas equipes participantes do concurso de seleção de projeto (BARROSO-KRAUSE et al., 2009). Neste caso, os projetos tiveram

suas características confrontadas com os requisitos definidos como premissas através do Termo de Referência. Para tanto, foi gerada uma matriz de análise global da eco-eficiência, relacionando as exigências constantes do Termo de Referência e as características dos projetos (imagem 3.9).

CROSSING DESIGN SOLUTION ECO-EFFICIENCY REQUISITES – TERM OF REFERENCE – NUTRE BUILDING	HARMONIOUS RELATION OF BUILDING WITH IMMEDIATE SURROUNDINGS	TOPOLOGICAL AND FUNCTIONAL ORGANIZATION	INTEGRATED CHOICE OF THE CONSTRUCTIVE PROCESS	ENERGY MANAGEMENT	WATER MANAGEMENT	WASTE MANAGEMENT	REPAIRS AND MAINTENANCE	HYGROTERMIC COMFORT	ACOUSTIC COMFORT	VISUAL COMFORT	ERGONOMIC COMFORT	HEALTH CONDITIONS, AIR QUALITY AND OLFATIVE COMFORT	COMPLEMENTARY SYSTEMS	LANDSCAPING OF EXTERNAL AREA	TOTAL
FOCUS 1: SET-UP (fragmentation and coating)															
Identification and qualification of the accesses and circulation															
collective transport															0,0
individual transport (car, bicycle, etc.)															0,0
regular / special transport of goods / materials (domestic waste, others.)															0,0
pedestrians / accessibility conditions															0,0
car park and internal roads															0,0
occupation of the constructed body - occupation rate of the plot															0,0
Treatment of the land on the face and boundary															
sea and mangrove: respect for existing ecosystem (mosquitoes)															0,0
Topography, sub-soil type, water table															0,0
interior / exterior connection															0,0
Suitability for the local climate															
summer / winter insolation															0,0
summer / winter temperatures															0,0
prevailing wind pattern															0,0
seasonal humidity and rainfall pattern															0,0
existing / expected ambient noise															0,0
odours															0,0
permeability rate / existing vegetation cover or absence; mangrove															0,0
Relation with constructed surroundings - existing / legislated															
relation of the set with the natural and constructed landscape.															0,0
building height limit, occupation rate, etc.															0,0
presenting the best visual angles of the building															0,0
Resource management															
infrastructure networks (water, sewage)															0,0
natural resources															0,0
destination of special waste															0,0
FOCUS 2: MORPHOLOGY, VOLUMETRICS, ORGANIZATION OF OPENINGS															
form factor (performance)															0,0
scale of the designed volume(s)															0,0
relation with the soil: foundation, ground floor, with basement															0,0
light openings: location, arrangement, proportion, protection															0,0
wind openings: location, arrangement, proportion, performance of the tipology															0,0
FOCUS 3: CONSTRUCTIVE MATERIALS AND PROCESSES															
structural system															0,0
constituent materials - façades															0,0
constituent materials - internal floor															0,0
constituent materials - penthouse															0,0
constructive# construction# systems of the internal sealing															0,0
possibility of using local labor															0,0
FOCUS 4: SPACIALITY AND AMBIENCES ATMOSPHERES															
distribution of the work and cohabitation# communal living# spaces															0,0
qualification of the transitional spaces															0,0
support spaces (security, guard cabin gatehouse, bathroom, etc.)															0,0
definition of climatization and natural, artificial, and mixed illumination															0,0
TOTAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Imagem 3.10 | Modelo para o preenchimento da matriz de disciplinas de eco-eficiência com elementos arquitetônicos. Fonte: BARROSO-KRAUSE, 2009.

A partir da matriz, foram atribuídas pontuações correspondentes ao desempenho potencial do projeto arquitetônico analisado para cada disciplina. É

importante destacar também que o método utiliza uma pontuação para definir os resultados, adaptada com base na metodologia japonesa (GUINTA). Assim, são atribuídos valores aos cruzamentos: 0,9 (excelente), 0,5 (médio), 0,1 (suportável), 0 (não tratado, não demonstrado, não mencionado) e -0,5 (inadequada, prejudicial). E ainda, alguns itens foram considerados irrelevantes, neutros. A pontuação atribuída ao desempenho de cada projeto em relação às soluções propostas permitiu a estabelecer uma classificação entre os projetos apresentados, considerando o somatório da pontuação obtida por cada um deles.

Outro importante estudo, relacionado às edificações laboratoriais, foi desenvolvido por Pessoa (2006), visando avaliar o impacto das condicionantes locacionais nos projetos de laboratórios de pesquisas biomédicas. A autora destaca que, em edifícios com estas características (laboratórios NB-3 e NB-4), a localização é um fator fundamental para o controle de contaminação, por se tratar de um laboratório onde são manipulados patógenos letais.

Para tal, elaborou um estudo com a intenção identificar o terreno ideal para a implantação de um Complexo Laboratorial de nível de biossegurança 3 e 4. Assim, adaptou um modelo de uma matriz existente (Matriz de Localização Industrial da COPPETEC – COSENZA) para criação de um novo modelo para localização de laboratórios. E criou uma metodologia orientativa sobre a instalação de espaços laboratoriais considerando os aspectos de biossegurança, biosseguridade e planejamento urbano.

Neste estudo, Pessoa (2006) explica que, na definição do modelo de localização, considerou-se, inicialmente, a classificação dos fatores de localização para cada tipo de laboratório como: cruciais (A), condicionantes (B), pouco condicionantes (C) e irrelevantes (D). Em seguida, foram elaboradas matrizes referentes à localização laboratorial (laboratório x fatores estratégicos, fatores estratégicos x zonas elementares e laboratório x zonas elementares), considerando fatores como a topografia, proximidade de rios, infra-estrutura urbana, poluição, dentre outros.

Diante dos exemplos expostos, ficam evidentes o uso intenso, a aplicabilidade e a eficiência do emprego de matrizes tanto para estabelecer uma relação entre diferentes características como para avaliar o desempenho da edificação.

3.3.2. Proposta para matriz de análise

Considerando o objetivo desta pesquisa, o EPC desenvolvido pelo Labs21, sua limitação em relação à avaliação de impactos ambientais referentes à aplicação dos requisitos de biossegurança, os estudos referenciais abordados no subitem anterior e o objetivo central desta pesquisa, elaborou-se então a proposta de matriz para avaliação de compatibilidade entre as exigências relacionadas à biossegurança e os requisitos de qualidade ambiental. Assim, colocam-se alguns aspectos fundamentais desta proposição.

Em primeiro momento, é importante destacar que, apesar de possuírem objetivos relacionados, esta proposta diferencia-se bastante da metodologia desenvolvida pelo Labs21. Embora aquele método (EPC) seja uma indiscutível ferramenta de avaliação da performance ambiental, incorpora as características especificamente relacionadas à biossegurança laboratorial como novos requisitos de qualidade ambiental, o que se percebe facilmente através do checklist proposto (vide anexo 3). Isso reflete uma diferença fundamental entre as avaliações, pois o que se pretende nesta pesquisa é justamente avaliar os impactos da biossegurança na qualidade ambiental.

Outro importante aspecto a ser destacado é que a proposta elaborada visa a estabelecer uma avaliação abrangente, considerando as características gerais aplicáveis aos laboratórios com níveis de biossegurança 2 e 3, sem basear-se especificamente em um determinado projeto. Ou seja, trata-se de uma análise geral de interferências e relações entre dois grupos (biossegurança e qualidade ambiental), a fim de obter um produto de caráter orientativo para a elaboração de projetos desta natureza. Isto se relaciona ao objetivo geral desta pesquisa.

A escolha com relação aos níveis de biossegurança laboratorial a serem analisados se deu em função de dois fatores: os requisitos físicos associados e o número de laboratórios existentes. Em função do grau de risco, os laboratórios nível NB-1 foram descartados por serem aqueles com menor grau de exigências com relação ao espaço construído. No mesmo sentido, o nível NB-4 foi descartado por ser aquele que possui menor número de unidades em nível mundial.

Neste sentido, acredita-se ser mais representativa a opção de analisar os níveis NB-2 e NB-3, dado que são os que existem em maior número. Além disso, estes possuem entre si a diferença entre laboratório de base e laboratório de contenção biológica (ou confinamento), considerando a diferença entre o grau de risco que representam ao meio externo.

Diante disso, com relação à formulação da proposta, é importante esclarecer como se deu sua estruturação, os parâmetros utilizados, a ponderação adotada e o nível de análise que se pretendeu alcançar. Na matriz desenvolvida neste estudo, os requisitos físicos relacionados à biossegurança e as premissas de qualidade ambiental tiveram sua relação avaliada de acordo com o potencial impacto identificado entre ambos.

No eixo vertical, foram listados os grupos relacionados aos requisitos físicos de biossegurança, aplicáveis aos níveis NB-2 e NB-3. Para tal, foram consultadas referências normativas e orientativas, tanto nacionais como internacionais, além de trabalhos que abordam esta problemática anteriormente. Estas características construtivas e projetuais estão divididas por grupos de afinidade, que estabelecem relação de recomendação ou obrigatoriedade, conforme exposto nas tabelas constantes do anexo 1.

É importante destacar também que a avaliação que se propôs refere-se à sustentabilidade ambiental destas características relacionadas ao ambiente construído. As exigências relacionadas à biossegurança, especialmente abordando a contenção, abrangem ainda aspectos relacionados aos procedimentos operacionais e

as práticas laboratoriais. Ressalve-se que estes não foram considerados nesta análise, pois afastam-se do campo arquitetônico.

Com relação ao outro grupo, estão dispostos no eixo horizontal os requisitos de qualidade ambiental. Estes correspondem exatamente aos pré-requisitos e créditos definidos pelo checklist proposto pelo LEED 3 (versão 2009) para construções novas (vide imagens 3.1 e 3.2). Este checklist é dividido em 8 grupos temáticos, subdivididos em pré-requisitos e créditos, conforme a lógica classificatória deste sistema. A estes, relacionam-se objetivos específicos, que estão expressos no anexo 2.

Na interseção entre os itens componentes dos eixos vertical e horizontal, são atribuídas ponderações correspondentes à relação entre eles. Desta forma, os impactos identificados através das análises foram classificados como positivos (forte, médio ou fraco), neutros ou negativos. Esta ponderação é uma adaptação, considerando os objetivos deste trabalho, baseada nos modelos adotados na análise de critérios do QFD, a exemplo do estudo desenvolvido por Salgado (1997).

Finalmente, através da matriz que se propõe a seguir, é possível perceber quais os aspectos relacionados à biossegurança não possuem relação direta com a qualidade ambiental do projeto, ou seja, não representam riscos com relação à performance da edificação. Além disso, revela os pontos naturalmente positivos e, por outro lado, os impactos negativos que são justamente os aspectos críticos a serem controlados fortemente durante a concepção do projeto.

Percebe-se ainda que outro produto relacionado à matriz proposta é a possibilidade de converter os impactos identificados em recomendações para os projetos laboratoriais. Isto permite um gerenciamento das principais aspectos envolvidos, com destaque para os pontos críticos a serem solucionados.

MATRIZ DE ANÁLISE DE IMPACTOS POTENCIAIS - NÍVEL DE BIOSSEGURANÇA NB-2

REQUISITOS DE QUALIDADE AMBIENTAL

A

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	PREQ 1 - Prevenção da poluição na atividade da construção	CR 1 - Seleção do terreno	CR 2 - Densidade urbana e conexão com a comunidade	CR - Requalificação de áreas degradadas	CR 4.1 - Transporte alternativo (acesso ao transporte público)	CR 4.2 - Transporte alternativo (bicicletário e vestiário)	CR 4.3 - Transporte alternativo (veículos de baixa emissão)	CR 4.4 - Transporte alternativo (área de estacionamento)	CR 5.1 - Desenvolvimento do espaço (proteção e restauração do habitat)	CR 5.2 - Desenvolvimento do espaço (maximizar espaços abertos)	CR 6.1 - Projeto para águas pluviais (controle da quantidade)	CR 6.2 - Projeto para águas pluviais (controle da qualidade)	CR 7.1 - Redução da ilha de calor (áreas descobertas)	CR 7.2 - Redução da ilha de calor (coberturas)	CR 8 - Redução da poluição luminosa
1 CONTROLE DE ACESSO									★						
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO									★						
3 LAY-OUT															
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO															
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES															
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS															
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS															
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO									★						
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES															

B / **C**

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	B: PREQ 1 - Redução no uso da água - 20%	B: CR 1 - Uso eficiente de água no paisagismo	B: CR 2 - Tecnologias inovadoras para águas servidas	B: CR 3 - Redução no uso da água	C: PREQ 1 - Comissionamento dos sistemas de energia	C: PREQ 2 - Performance energética mínima	C: PREQ 3 - Gestão de gases refrigerantes (não uso de CFCs)	C: CR 1 - Otimização da performance energética	C: CR 2 - Geração local de energia renovável	C: CR 3 - Melhoria no comissionamento	C: CR 4 - Melhoria na gestão de gases refrigerantes	C: CR 5 - Medições e verificações	C: CR 6 - Energia "verde"
1 CONTROLE DE ACESSO													
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO	●			●		●		●					
3 LAY-OUT													
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO													
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES													
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS													
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS	●		●	●									
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO						●		●					
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES													

D

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	PREQ 1 - Depósito e coleta de materiais recicláveis	CR 1.1 - Reuso do edifício (paredes, pisos e coberturas existentes)	CR 1.2 - Reuso do edifício (elementos interiores não estruturais)	CR 2 - Gestão de resíduos da construção	CR 3 - Reuso de materiais	CR 4 - Conteúdo reciclado	CR 5 - Materiais regionais	CR 6 - Materiais de rápida renovação	CR 7 - Madeira certificada
1 CONTROLE DE ACESSO									
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO									
3 LAY-OUT									
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO					●		●	●	
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES									
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS									
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS									
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO									
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES									

E

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	PREQ 1 - Qualidade do ar interno (performance mínima)	PREQ 2 - Controle ambiental da fumaça de cigarro	CR 1 - Monitoramento da captação de ar exterior	CR 2 - Aumento da ventilação	CR 3.1 - Plano de gestão da qualidade do ar (durante a construção)	CR 3.2 - Plano de gestão da qualidade do ar (antes da ocupação)	CR 4.1 - Materiais de baixa emissão (adesivos e selantes)	CR 4.2 - Materiais de baixa emissão (pinturas e revestimentos)	CR 4.3 - Materiais de baixa emissão (carpetes e sistemas de piso)	CR 4.4 - Materiais de baixa emissão (compostos de madeira e agrofibras)	CR 5 - Controle das fontes internas de produtos químicos e poluentes	CR 6.1 - Controle de sistemas (iluminação)	CR 6.2 - Controle de sistemas (conforto térmico)	CR 7.1 - Conforto térmico (projeto)	CR 7.2 - Conforto térmico (verificação)	CR 8.1 - Iluminação natural e paisagem (luz do dia)	CR 8.2 - Iluminação natural e paisagem (vistas)
1 CONTROLE DE ACESSO											★					●	●
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO											★					●	●
3 LAY-OUT											★						
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO								●	●								
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES							●										
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS																	
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS																	
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO	★										★			●			
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES																	

F / **G**

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	F: CR 1 - Inovação no projeto	F: CR 2 - Profissional acreditado LEED	G: CR 1 - Prioridades regionais
1 CONTROLE DE ACESSO			
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO			
3 LAY-OUT			
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO			
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES			
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS			
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS			
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO			
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES			

A	ESPAÇO SUSTENTÁVEL
B	USO RACIONAL DA ÁGUA
C	ENERGIA E ATMOSFERA
D	MATERIAIS E RECURSOS
E	QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA
F	INOVAÇÃO E PROJETO
G	CRÉDITOS REGIONAIS

LEGENDA - IMPACTOS IDENTIFICADOS	
★	Positivo
(cinza)	Neutro
●	Negativo

MATRIZ DE ANÁLISE DE IMPACTOS POTENCIAIS - NÍVEL DE BIOSSEGURANÇA NB-3

REQUISITOS DE QUALIDADE AMBIENTAL

A

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	PREQ 1 - Prevenção da poluição na atividade da construção	CR 1 - Seleção do terreno	CR 2 - Densidade urbana e conexão com a comunidade	CR - Requalificação de áreas degradadas	CR 4.1 - Transporte alternativo (acesso ao transporte público)	CR 4.2 - Transporte alternativo (bicicletário e vestiário)	CR 4.3 - Transporte alternativo (veículos de baixa emissão)	CR 4.4 - Transporte alternativo (área de estacionamento)	CR 5.1 - Desenvolvimento do espaço (proteção e restauração do habitat)	CR 5.2 - Desenvolvimento do espaço (maximizar espaços abertos)	CR 6.1 - Projeto para águas pluviais (controle da quantidade)	CR 6.2 - Projeto para águas pluviais (controle da qualidade)	CR 7.1 - Redução da ilha de calor (áreas descobertas)	CR 7.2 - Redução da ilha de calor (coberturas)	CR 8 - Redução da poluição luminosa
1 CONTROLE DE ACESSO									★						
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO									★						
3 LAY-OUT															
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO															
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES															
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS									★						
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS															
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO									★						
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES															

B and **C**

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	B: PREQ 1 - Redução no uso da água - 20%	B: CR 1 - Uso eficiente de água no paisagismo	B: CR 2 - Tecnologias inovadoras para águas servidas	B: CR 3 - Redução no uso da água	C: PREQ 1 - Comissionamento dos sistemas de energia	C: PREQ 2 - Performance energética mínima	C: PREQ 3 - Gestão de gases refrigerantes (não uso de CFCs)	C: CR 1 - Otimização da performance energética	C: CR 2 - Geração local de energia renovável	C: CR 3 - Melhoria no comissionamento	C: CR 4 - Melhoria na gestão de gases refrigerantes	C: CR 5 - Medições e verificações	C: CR 6 - Energia "verde"
1 CONTROLE DE ACESSO													
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO	●			●		●		●					
3 LAY-OUT													
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO													
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES													
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS	●		●	●		●		●					
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS	●		●	●									
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO						●		●					
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES													

D

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	PREQ 1 - Depósito e coleta de materiais recicláveis	CR 1.1 - Reuso do edifício (paredes, pisos e coberturas existentes)	CR 1.2 - Reuso do edifício (elementos interiores não estruturais)	CR 2 - Gestão de resíduos da construção	CR 3 - Reuso de materiais	CR 4 - Conteúdo reciclado	CR 5 - Materiais regionais	CR 6 - Materiais de rápida renovação	CR 7 - Madeira certificada
1 CONTROLE DE ACESSO									
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO		●	●						
3 LAY-OUT									
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO					●		●	●	
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES									
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS									
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS									
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO									
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES									

E

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	PREQ 1 - Qualidade do ar interno (performance mínima)	PREQ 2 - Controle ambiental da fumaça de cigarro	CR 1 - Monitoramento da captação de ar exterior	CR 2 - Aumento da ventilação	CR 3.1 - Plano de gestão da qualidade do ar (durante a construção)	CR 3.2 - Plano de gestão da qualidade do ar (antes da ocupação)	CR 4.1 - Materiais de baixa emissão (adesivos e selantes)	CR 4.2 - Materiais de baixa emissão (pinturas e revestimentos)	CR 4.3 - Materiais de baixa emissão (carpetes e sistemas de piso)	CR 4.4 - Materiais de baixa emissão (compostos de madeira e agrofibras)	CR 5 - Controle das fontes internas de produtos químicos e poluentes	CR 6.1 - Controle de sistemas (iluminação)	CR 6.2 - Controle de sistemas (conforto térmico)	CR 7.1 - Conforto térmico (projeto)	CR 7.2 - Conforto térmico (verificação)	CR 8.1 - Iluminação natural e paisagem (luz do dia)	CR 8.2 - Iluminação natural e paisagem (vistas)
1 CONTROLE DE ACESSO											★					●	●
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO											★					●	●
3 LAY-OUT											★						
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO								●	●								
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES							●										
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS																	
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS																	
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO	★		★	★							★			●			
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES																	

F and **G**

REQUISITOS DE BIOSSEGURANÇA	F: CR 1 - Inovação no projeto	F: CR 2 - Profissional acreditado LEED	G: CR 1 - Prioridades regionais
1 CONTROLE DE ACESSO			
2 PERÍMETRO DE CONTENÇÃO			
3 LAY-OUT			
4 HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO			
5 MOBILIÁRIO E SUPERFÍCIES			
6 TRATAMENTO DE RESÍDUOS			
7 UTILIDADES E EQUIPAMENTOS			
8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO			
9 SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES			

A	ESPAÇO SUSTENTÁVEL
B	USO RACIONAL DA ÁGUA
C	ENERGIA E ATMOSFERA
D	MATERIAIS E RECURSOS
E	QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA
F	INOVAÇÃO E PROJETO
G	CRÉDITOS REGIONAIS

LEGENDA - IMPACTOS IDENTIFICADOS	
★	Positivo
(cinza)	Neutro
●	Negativo

3.3.3. Análise dos resultados

Em função dos resultados obtidos na matriz proposta, é possível estabelecer uma análise a partir de aspectos gerais e específicos. Em função disto, procura-se associar também os requisitos físicos relacionados à biossegurança para os laboratórios com a concepção do projeto. Inicialmente, apresentam-se dois quadros contendo o resumo dos resultados obtidos na matriz de análise, considerando os níveis de biossegurança NB-2 e NB-3.

RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA MATRIZ DE ANÁLISE DE IMPACTOS POTENCIAIS NÍVEL DE BIOSSEGURANÇA NB-2								
PREMISSAS DE QUALIDADE AMBIENTAL	Peso relativo no LEED	Número de cruzamentos	Relação de neutralidade		Impactos identificados			
					Positivos		Negativos	
A. ESPAÇO SUSTENTÁVEL	26 em 110 pontos (24%)	135	133	99%	2	1%	0	0%
B. USO RACIONAL DA ÁGUA	10 em 110 pontos (10%)	36	31	86%	0	0%	5	14%
C. ENERGIA E ATMOSFERA	35 em 110 pontos (32%)	81	77	95%	0	0%	4	5%
D. MATERIAIS E RECURSOS	14 em 110 pontos (13%)	81	78	96%	0	0%	3	4%
E. QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA	15 em 110 pontos (14%)	153	140	92%	5	3%	8	5%
F. INOVAÇÃO E PROCESSO DO PROJETO	6 em 110 pontos (5%)	18	18	100%	0	0%	0	0%
G.CRÉDITOS REGIONAIS	4 em 110 pontos (4%)	9	9	100%	0	0%	0	0%
TOTAL	**110 pontos (100%)**	**513**	**486**	**95%**	**7**	**1%**	**20**	**4%**

Quadro 3.6 – Resumo dos resultados obtidos na matriz proposta – Nível de Biossegurança NB-2.

RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA MATRIZ DE ANÁLISE DE IMPACTOS POTENCIAIS NÍVEL DE BIOSSEGURANÇA NB-3								
PREMISSAS DE QUALIDADE AMBIENTAL	Peso relativo no LEED	Número de cruzamentos	Relação de neutralidade		Impactos identificados			
					Positivos		Negativos	
A. ESPAÇO SUSTENTÁVEL	26 em 110 pontos (24%)	135	132	98%	3	2%	0	0%
B. USO RACIONAL DA ÁGUA	10 em 110 pontos (10%)	36	28	78%	0	0%	8	22%
C. ENERGIA E ATMOSFERA	35 em 110 pontos (32%)	81	75	93%	0	0%	6	7%
D. MATERIAIS E RECURSOS	14 em 110 pontos (13%)	81	76	94%	0	0%	5	6%
E. QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA	15 em 110 pontos (14%)	153	138	90%	7	5%	8	5%
F. INOVAÇÃO E PROCESSO DO PROJETO	6 em 110 pontos (5%)	18	18	100%	0	0%	0	0%
G.CRÉDITOS REGIONAIS	4 em 110 pontos (4%)	9	9	100%	0	0%	0	0%
TOTAL	**110 pontos (100%)**	**513**	**476**	**93%**	**10**	**2%**	**27**	**5%**

Quadro 3.7 – Resumo dos resultados obtidos na matriz proposta – Nível de Biossegurança NB-3.

Uma avaliação geral mostra que o número de impactos considerados neutros, definidos como aqueles onde os itens não tem relação direta identificada ou não se aplicam, foi bastante expressivo em relação ao total de cruzamentos: 486 (95%) para o nível NB-2 e 476 (93%) para o nível NB-3. Por outro lado, as interseções identificadas como negativas foram superiores às positivas, em ambos os níveis. Porém, a fim de estabelecer uma análise mais precisa e consistente, é importante destacar alguns pontos específicos acerca dos resultados obtidos.

Espaço Sustentável

Através da análise da matriz, percebe-se que existem poucas interferências no cruzamento entre os itens relativos ao grupo de premissas do espaço sustentável e os requisitos de biossegurança. Em grande parte dos cruzamentos, obtiveram-se impactos inexistentes (cerca de 98% e 99%, para NB-2 e NB-3, respectivamente). Isso se explica principalmente através da diferença de escala entre as características dos dois grupos (requisitos de biossegurança e premissas de sustentabilidade). Ou seja, enquanto um grupo baseia-se em questões referentes à relação entre o prédio e seu entorno, os requisitos físicos de biossegurança estabelecem principalmente itens aplicáveis na escala do laboratório como ambiente interno da edificação.

Desta forma, pode-se afirmar que é reduzido o número de interferências neste cruzamento, tanto para o nível de biossegurança NB-2 quanto para o NB-3. E ainda, este grupo de objetivos de qualidade ambiental quase não é afetado pelas exigências de biossegurança. Este resultado ganha relevância na medida em que este grupo possui valor relativo elevado dentro da pontuação geral do LEED: 26 pontos do total de 110 (equivalente peso relativo de 24%).

Uma exceção quanto à relação entre os critérios se dá no crédito 5.1 (desenvolvimento do espaço - proteção e restauração do habitat). Seu objetivo principal é conservar áreas naturais existentes e recuperar áreas degradadas para fornecer o habitat e promover a biodiversidade. Dentre as estratégias apontadas para atingir este objetivo, destaca-se que a edificação deve ser construída considerando a

relação com o entorno, a fim de minimizar sua pegada ecológica[7], os riscos e inconvenientes em relação aos ecossistemas existentes.

As medidas de contenção inerentes aos laboratórios convergem para os objetivos de proteção do meio externo. Isto ocorre com mais intensidade nos espaços NB-3, pois as medidas são mais abrangentes em função do risco associado ao meio. Com isso, destacam-se os aspectos relacionados ao controle de acesso, perímetro de contenção, tratamento de resíduos e sistema de ventilação, que tem como uma das funções evitar a liberação acidental dos microorganismos manipulados.

Inicialmente, cabe citar que o controle de acessos ao laboratório é considerado um importante fator de segurança. Pessoa (2006) destaca a localização do laboratório como um dos principais fatores do projeto de arquitetura, pois sua eficácia tem relação direta com o controle de contaminação. Assim, é composto por um grupo de medidas que, por exemplo, visa impedir e/ou eliminar que pessoas estranhas ou despreparadas possam entrar no laboratório e causar qualquer tipo de acidente, contaminando-se ou liberando qualquer patógeno ao ambiente externo.

Outro aspecto relacionado é o perímetro de contenção, denominação dada aos meios empregados para delimitar a área do ambiente laboratorial em relação ao seu entorno, assegurando a contenção ambiental através de barreiras primárias e secundárias (VIEIRA, 2008). Ou seja, o espaço contido deve ser entendido e projetado como uma célula estanque, cujo contato com as demais áreas da edificação e o meio externo só pode ser feito através de elementos que garantam uma passagem segura através de processos de descontaminação.

Nesse sentido, destacam-se algumas medidas relacionadas aos planos e superfícies que limitam o ambiente laboratorial. Isto porque são elementos de especial importância, considerados pontos críticos onde há comunicação direta entre interior e

[7] Girardet (2004) coloca que a pegada ecológica define-se pela relação entre a área da cidade e a área do planeta necessária para suprir o seu consumo de produtos e recursos (alimentos, matéria-prima e resíduos relacionados).

exterior da área de contenção e possibilidade de contaminação em caso de falhas. São exemplos: paredes e fechamentos, antecâmaras, portas de entrada e saída, janelas e visores, sistemas exaustão de ar, tubulações de utilidades e suas passagens. Além disso, a estanqueidade do ambiente depende da observância de detalhamentos que devem acompanhar o projeto executivo e do acompanhamento rigoroso da execução dos acabamentos.

Também relacionado ao controle de contaminação, os laboratórios requerem condições específicas de tratamento de efluentes e resíduos, embora o volume gerado seja pequeno. Nos casos de laboratórios de contenção, é necessário o tratamento de todo material que seja lançado ao exterior do perímetro de contenção, assegurando a descontaminação dos materiais que deixam o laboratório. O esgoto proveniente dos laboratórios NB-3 só devem ser lançados na rede após passar por um sistema de tratamento, normalmente químico ou térmico, que garanta sua descontaminação.

Convém destacar que, embora estas medidas sejam identificadas como positivas com relação ao grupo espaço sustentável, existem relações negativas com outros grupos analisado adiante, como se pode citar a gestão energética como exemplo mais expressivo. Isso porque vários sistemas do laboratório demandam sistemas artificiais que dependem do uso intensivo de energia elétrica.

Outro aspecto importante a ser exposto é o papel dos sistemas de ventilação no funcionamento dos laboratórios. Isso porque são considerados elementos fundamentais da contenção, atuando como barreiras secundárias no controle de contaminação (VIEIRA, 2008). Considerando que o ar é, na maior parte dos casos, o principal veículo de contaminação, os ambientes com nível de biossegurança NB-3 possuem exigências que visam a assegurar a estanqueidade do ambiente, tais como pressão negativa em relação às áreas do entorno, rede dutos herméticos e independentes de outros recintos.

Além disso, o sistema de ventilação deve ser concebido e instalado de forma que o ar do laboratório não seja encaminhado para outras áreas do edifício. Este ar

pode ser filtrado (HEPA – Ar Particulado de Alta Eficiência) recondicionado e recirculado dentro deste laboratório. Quando o ar do laboratório e das cabines de segurança biológica for lançado para o exterior, deve ser expelido longe do edifício e das entradas de ar. E, dependendo dos agentes biológicos manipulados, deve ser expelido através de filtros HEPA.

Como será tratado adiante, na avaliação do grupo de características referentes à qualidade do ar interior, em função do sistema de ventilação ser totalmente mecânico, pois não há ventilação natural nos laboratórios NB-3, existem impactos positivos e negativos. No caso dos laboratórios NB-2, existe a possibilidade de ventilação natural, embora o clima e os equipamentos representem impedimentos. Por um lado, a qualidade do ar é garantida, enquanto o consumo de energia é extremamente afetado negativamente.

Em síntese, no conjunto de créditos denominado espaço sustentável, que trata da relação com o entorno, os poucos impactos identificados foram positivos. Isso significa que não há impedimentos à incorporação das premissas sustentáveis em relação à biossegurança. E, além disto, atendendo naturalmente às preocupações de biossegurança configura-se uma proteção do meio externo contra contaminações acidentais e indesejáveis.

Uso Racional da Água

Com relação aos aspectos de qualidade ambiental relacionados ao uso racional da água, foram identificados impactos negativos, principalmente no que se refere à redução do consumo. Tais impactos são influenciados pelos processos relacionados à manutenção e/ou tratamento de efluentes.

Simas e Cardoso (2008) destacam que é recomendada como requisito espacial a criação de espaços técnicos contíguos às áreas laboratoriais ou localizados em nível superior ou inferior, tanto para a distribuição vertical em shafts e/ou horizontal das linhas de serviço como para abrigar os equipamentos e outros componentes dos sistemas prediais propostos. Assim, a redução no consumo de água sofre pequeno

impacto negativo em função das necessidades de posicionar os controles do sistema (registros e comandos) nos espaços técnicos, a fim de facilitar a manutenção dos sistemas, e isto aumenta o volume necessário ao funcionamento da rede.

Além disso, abordando as necessidades de utilidades e equipamentos, destacam-se as autoclaves como equipamentos que naturalmente têm um uso de água vinculado ao seu funcionamento, embora hoje já existam modelos com baixo consumo. Somados aos aspectos expostos, o nível NB-3 possui ainda outro impacto negativo que se refere à necessidade adicional de tratamento dos resíduos, química ou termicamente, com um consumo de água associado ao ciclo de descontaminação.

E ainda, cabe novamente comentar os impactos cruzados entre os requisitos de biossegurança e a sustentabilidade. O tratamento de efluentes é um exemplo de relação negativa com a gestão de energia, pois demanda o uso de energia elétrica para realizar o processo de descontaminação.

Finalmente, cabe afirmar que todos os impactos identificados em relação a este grupo, cerca de 20% do total de requisitos de qualidade ambiental foram afetados pelas exigências relativas à biossegurança, foram considerados potencialmente negativos. É importante destacar também que este grupo responde por 10 pontos em relação aos 110 totais estabelecidos pelo LEED (peso relativo de cerca de 10%). Isso significa que as características citadas acima devem ser especialmente acompanhadas e avaliadas durante a elaboração do projeto.

Energia e Atmosfera

Já no grupo de alvos relacionados à energia e atmosfera, especificamente no pré-requisito 2 e no crédito 1 (performance energética mínima e otimização da performance energética, respectivamente) que visam principalmente estabelecer um nível mínimo de eficiência energética para a construção e os sistemas propostos, a fim de reduzir a poluição e os impactos econômicos associados ao uso excessivo de energia, destacam-se os potenciais negativos referentes ao nível NB-3, sendo o nível NB-2 menos abrangente.

Tais impactos são referentes às exigências físicas relativas ao risco de contaminação que estes laboratórios representam ao meio exterior. São diretamente relacionados a isto o perímetro de contenção, o tratamento de resíduos e o sistema de ventilação, que geram interferências diretas na gestão energética. Estes três grupos contribuem para a criação de um maior número de ambientes a serem iluminados e ventilados (ex.: antecâmaras, espaços técnicos), para o uso intensivo de equipamentos (ex.: autoclaves e tratamento de efluentes) e para a adoção de condições de ventilação excepcionais (ex.: pressurização negativa, tomada de ar 100% externa, equipamentos independentes para cada laboratório).

O sistema de ventilação representa o principal desafio energético em relação aos laboratórios, dado o alto consumo necessário para condicionar os grandes volumes de ar visando a atender aos requisitos de segurança. Segundo a EPA (2000), ao contrário de edifícios de escritórios, que são geralmente concebidos com padrão de ventilação de cerca de 1 renovação por hora, os laboratórios com maior grau de contenção, caso do nível NB-3, freqüentemente exigem tomada de ar exterior igual a 100% e taxas de renovação entre 6 e 10 trocas por hora. Estas características resultam em sistemas de funcionamento contínuo, onde o consumo energético é acentuado.

Tendo em vista que o projeto laboratorial deve contemplar as barreiras secundárias com o objetivo de garantir a estanqueidade do laboratório, o projeto do sistema de ventilação e tratamento de ar é imprescindível para o sucesso da contenção biológica. A visualização dos riscos de acidentes e de exposição ocupacional associados ao laboratório requer um levantamento de desequilíbrios ambientais, cujos agentes são variáveis biológicas, químicas, inertes e funcionais, e a implantação de mecanismos de contenção e/ou eliminação das fontes de riscos.

Enfim, vale ressaltar que o projeto do sistema de ventilação e tratamento de ar é uma das ferramentas mais importantes da contenção, tanto em nível primário quanto secundário. Isso se acentua quando se considera que nestes espaços geralmente são manipulados patógenos que se transmitem por via aérea, o que facilita

o contágio. Além disso, nem sempre existem vacinas ou tratamentos disponíveis para tratar uma possível infecção.

Outro aspecto relevante, relacionado aos processos de trabalho, é o número de equipamentos necessários à manipulação segura dos experimentos realizados nos laboratórios. Como exemplos, é possível citar: cabines de segurança biológica, guichês de passagem, centrífugas e autoclaves. Com relação às utilidades, é possível citar diversas particularidades a serem incorporadas ao projeto. Os laboratórios devem ser dotados de lavatórios para higienização das mãos, localizados próximos à saída do laboratório e preferencialmente com dispositivos de acionamento automático (vide anexo I).

Portanto, em relação aos créditos de energia e atmosfera, grupo de maior peso relativo definido pelo LEED (19 pontos em 110), fica claro que estas características têm um potencial impacto energético negativo em relação ao estabelecimento de um padrão mínimo de performance energética. Porém, cabe destacar que estes requisitos de biossegurança não podem ser preteridos.

Materiais e Recursos

Percebem-se que existem pouco impactos, embora negativos, no cruzamento entre o grupo de premissas referentes aos materiais e recursos e os requisitos de biossegurança. Isto se expressa através do grande número de impactos neutros (cerca de 97% para o nível NB-2 e 94% para o nível NB-3). Ao analisar o foco dos créditos deste grupo, percebe-se que seu objetivo macro é otimizar o uso dos materiais, através de estratégias de reciclagem, reutilização, redução de resíduos de construção e aplicação de materiais ambientalmente menos impactantes.

Desta forma, foram identificadas restrições em relação aos requisitos de biossegurança que se relacionam à necessidade de utilização de materiais específicos aplicados aos laboratórios (superfícies de paredes, pisos e tetos demandam materiais de acabamento específicos em função dos processos de limpeza e descontaminação). Na concepção dos ambientes laboratoriais, os materiais são elementos de grande

relevância, em função da sua relação com as necessidades de higienização e descontaminação.

Neste sentido, a facilidade de limpeza e a resistência aos produtos utilizados são primordiais, principalmente tendo em vista que as superfícies freqüentemente devem ser descontaminadas. Como regra geral, o revestimento de pisos, paredes e tetos, as superfícies em geral não devem ser absorventes e necessitam de resistência a corantes, umidade, produtos químicos, calor e à formação mecânica de sulcos. Inicialmente, isso restringe a aplicação, tanto para o nível NB-2 quanto para o nível NB-3, materiais de reuso, regionais e de rápida renovação no meio ambiente.

Com relação ao nível NB-3, é importante destacar ainda que impactos negativos em relação ao reuso do edifício, que refere-se ao aproveitamento de elementos existentes (paredes, pisos, coberturas). Esta dificuldade de adaptação se dá em função do fluxo entrada e saída, que é imprescindível ao funcionamento seguro do laboratório. Além disso, existe também a exigência do emprego de materiais específicos, relacionada à garantia do perímetro de contenção, o que limita a utilização dos existentes.

Qualidade Ambiental Interna

Os pré-requisitos e créditos relativos à qualidade ambiental interna (qualidade do ar, conforto térmico, lumínico e visual) apresentaram o maior número de impactos identificados dentre os grupos. Para o nível NB-2, foram registrados relações em 13 cruzamentos (cerca de 9%), enquanto para o nível NB-3 houveram impactos em 15 cruzamentos (cerca de 10%). Neste sentido, os resultados obtidos foram tanto positivos quanto negativos.

O sistema de ventilação apresentou o maior número de impactos relacionados, majoritariamente positivos. A segurança necessária ao ambiente interno dos laboratórios com relação ao ar proporciona uma elevada taxa renovação e o controle das fontes internas de elementos nocivos, que são parâmetros concorrentes para a qualidade do ar interno. Além disso, nos casos dos laboratórios NB-3, são

atendidas as exigências relacionadas ao ar exterior, na medida em que possuem tomada de ar 100% externa e sistema de filtragem HEPA. Porém, percebe-se como fator negativo a inconveniência de adotar estratégias de ventilação natural, devido às características do sistema.

Embora o sistema de ventilação intensiva, especialmente no caso do NB-3, contribua para atender aos parâmetros de qualidade do ar, é importante ponderar sobre a qualidade do ar interno. Isso porque o sistema adotado no laboratório objetiva o controle da contaminação e, para tal, adota altas taxas de renovação do ar, um dos parâmetros de qualidade do ar interno. Além disto, é importante destacar que influenciam também a qualidade do ar, por exemplo, as condições de umidade e temperatura, que não se relacionam com a ventilação para controle da contaminação.

Os requisitos de biossegurança relativos ao controle de acessos e ao perímetro de contenção mostraram relações positivas em relação ao controle de contaminantes e poluentes. Isso se justifica em função das medidas de contenção relacionadas, que têm como princípio o confinamento do ambiente laboratorial. Por outro lado, apresentam impactos negativos em relação ao aproveitamento da iluminação natural e da vista externa. Isso porque naturalmente tem uma posição de maior isolamento dentro da edificação decorrente do grau de risco, o que diminui sua interface com o exterior, ressalvando que esta é uma característica que também se relaciona com a biosseguridade.

O lay-out dos ambientes laboratoriais e espaços de apoio refere-se a algumas recomendações que visam a facilitar a execução das atividades inerentes ao fluxo de trabalho e, com isso, minimizar os riscos de contaminação. Assim, com relação ao projeto de arquitetura, destaca-se a organização espacial como elemento principal para o sucesso destas medidas.

É importante destacar novamente que a setorização das áreas de suporte ao laboratório, principalmente nos casos de laboratórios NB-3, deve considerar uma gradiente de riscos e potencial de contaminação. Isso visa a oferecer uma proteção

natural às áreas mais perigosas. Além disso, é interessante agrupar os serviços prediais e os espaços técnicos necessários aos equipamentos de tratamento do ar e/ou de outros sistemas de engenharia adotados.

Outros impactos negativos identificados referem-se ao uso de materiais de baixa emissão de contaminantes. Isso porque alguns dos materiais que podem ser utilizados nos laboratórios, compatíveis com os processos de limpeza e desinfecção dos laboratórios, citados anteriormente, liberam substâncias nocivas à saúde, a exemplo das resinas a base de epóxi e adesivos. Entretanto, convém destacar que também existem outros materiais que podem ser utilizados, como as mantas vinílicas.

Inovação e Processo de Projeto e Créditos Regionais

Com relação aos requisitos de inovação e processo de projeto e créditos regionais, destaca-se que os objetivos gerais destes grupos (fomentar o alcance de metas de desempenho superiores aos requisitos estabelecidos pelo LEED e incentivar a adoção de medidas que atendam às prioridades ambientais regionais) não possuem relação aparente com as necessidades físicas relacionadas à biossegurança. Neste sentido, considera-se que são características que podem ser livremente exploradas sem impactos identificados.

A motivação para realização dessa pesquisa partiu do pressuposto de que seria possível incorporar os princípios de projetos com alta qualidade ambiental em ambientes de laboratórios, apesar das restrições apresentadas pelos requisitos de biossegurança.

Considerando o referencial teórico pesquisado e as análises elaboradas, é possível perceber que alguns aspectos se destacam em relação aos projetos de laboratórios biomédicos, como se apresenta a seguir. Além disso, é importante frisar que existem alguns impedimentos à incorporação integral das premissas de qualidade ambiental aos projetos de laboratórios biomédicos, em função dos requisitos físicos relacionados à biossegurança.

Fica evidente que os laboratórios biomédicos evoluíram e se modificaram em função da necessidade de adaptação ao contexto em que se inserem. Alguns fatores relacionados ao funcionamento dos laboratórios tem se alterado rapidamente: as soluções tecnológicas, as normatizações de segurança, os métodos de pesquisa empregados, os procedimentos operacionais, as necessidades humanas, a participação ambiental e, até mesmo, as características das doenças. Com isso, atualmente, observa-se que é indispensável que o projeto promova soluções flexíveis para melhorias, mudanças e adaptações.

Uma ponderação essencial a ser feita é a especificidade dos ambientes laboratoriais em relação a outras tipologias. Além da necessidade de flexibilidade, outra diferença marcante é o fator biossegurança, que impõe aos projetos a incorporação de medidas visando à contenção biológica, especialmente características construtivas e espaciais, com a função de proteger os envolvidos, já que a manipulação de patógenos é atividade que envolve grande risco.

Neste particular, é fundamental destacar a imponência da biossegurança como disciplina a ser considerada no desenvolvimento seguro das atividades

laboratoriais. Com isso, ressalta-se que os requisitos relacionados são preponderantes nestes projetos, ou seja, é impossível preteri-los. Logo, a aplicação da biossegurança aos projetos de laboratórios não pode ser desprezada, ou sequer, diminuída.

Em função destas necessidades de proteção, destaca-se outra particularidade: o emprego de utilidades com a finalidade de contenção biológica, como é o exemplo do sistema de ventilação. Especialmente nos laboratórios de contenção, estes diversos conjuntos, que funcionam integradamente, atuam diretamente no desempenho energético da edificação, com destaque especial para o sistema de ventilação e ar condicionado, tanto por sua participação no consumo energético como pelo indispensável papel na proteção biológica.

Em contrapartida, surgiu a necessidade irrefutável de considerar (ampliar a visão sobre) o desempenho ambiental destes espaços. Outro fator que se torna evidente é que as edificações laboratoriais, além de se destacarem por conta da relevância das pesquisas que tratam das doenças, também seguem a tendência arquitetônica de valorização ambiental e sustentabilidade. É interessante perceber que esta tendência vem se alcançando um caráter obrigatório na arquitetura do início do século XXI.

Sobre o LEED, embora não seja objeto desta pesquisa, corroboram-se as análises dos autores consultados, no sentido de que o sistema é carente com relação à certificação. Isso porque determinada edificação pode obter um bom desempenho geral, mesmo alcançando resultados ruins em determinados créditos. Porém, como ferramenta de auxílio ao projeto, o LEED é bastante útil, principalmente por conta da estrutura em forma de checklist e da facilidade de aplicação.

Com relação ao Environmental Performance Criteria (EPC) desenvolvido pelo Labs21, considerando o caráter pioneiro e a associação a um sistema consolidado (LEED), pode-se concluir que é uma iniciativa bastante válida. As análises elaboradas nesta pesquisa mostram que a biossegurança deve ser considerada como uma das componentes da qualidade ambiental. Neste sentido, a abordagem proposta pelo

Labs21 é bem alinhada, pois trata as principais medidas de contenção como novos critérios de sustentabilidade. Entretanto, uma crítica a ser feita é que não fica claro, assim como no próprio LEED, se existe uma avaliação dos impactos cruzados entre os itens. Ou seja, não se evidencia como deve ser tratada uma característica de projeto com resultados distintos: positivo para determinado item e negativo para outro.

Assim, outro aspecto primordial a ser destacado é a diferença entre o estudo desenvolvido e o referencial elaborado pelo Labs21. Isso porque este trabalho tem foco no processo de projeto dos laboratórios biomédicos, considerando a viabilidade de incorporar inclusive premissas locacionais e características próprias da região. Pelo contrário, o EPC enfatiza a incorporação dos requisitos de biossegurança no checklist de verificação da qualidade ambiental.

Sobre a análise elaborada na pesquisa, pode-se afirmar que atendeu ao objetivo proposto, na medida em que se evidenciou que existem aspectos incompatíveis entre as características de biossegurança e qualidade ambiental. Assim, percebe-se que é possível incorporar parcialmente ao projeto as premissas de sustentabilidade, como se evidencia a seguir.

Embora na análise proposta através da matriz tenha se verificado um elevado número de impactos neutros (inexistentes ou não identificados), a análise específica demonstrou graves impactos negativos, principalmente em relação aos seguintes grupos relacionados à qualidade ambiental: materiais e recursos, uso racional da água e eficiência energética. Estes se revelaram como aspectos críticos a serem controlados no projeto, dada a interferência negativa dos requisitos físicos de biossegurança.

Embora não tenham sido muito diferentes, os resultados obtidos para os níveis de biossegurança NB-2 e NB-3, divergiram em aspectos significativos, entre eles: uso racional da água (onde o nível NB-3 obteve maior percentual de cruzamentos negativos) e energia e atmosfera (também com maiores percentuais negativos para o nível NB-3). Ambos têm relação direta com os requisitos referentes ao tratamento de resíduos, que é mais rigoroso no caso do NB-3, em função do risco coletivo associado.

Considerando o papel da arquitetura na concepção destes espaços, reforça-se a importância de considerar a qualidade ambiental e a biossegurança já nas primeiras etapas do processo de projeto. Além disso, se impõe naturalmente a necessidade de adotar algumas estratégias claramente definidas, principalmente no sentido de compensar os aspectos negativos identificados e considerar a edificação como elemento único e integrado, explorando aspectos do projeto como a setorização e a implantação.

Inicialmente, cabe explorar intensivamente no projeto partes cuja relação entre biossegurança e qualidade ambiental foi identificada como neutra e/ou não impactante. São exemplos de destaque: os aspectos referentes à implantação da edificação, o reaproveitamento de águas pluviais para áreas não laboratoriais, o comissionamento dos sistemas, a adoção de fontes energéticas renováveis e não-poluentes, flexibilidade na organização dos espaços visando facilitar readaptações, a controlabilidade dos sistemas visando o conforto térmico e lumínico dos ambientes.

Além disso, é muito importante que seja feito um dimensionamento correto das áreas com necessidades especiais em relação à contenção biológica (tanto laboratórios quanto espaços técnicos), avaliando suas exigências separadamente, principalmente com relação à ventilação. Esta medida evita superdimensionamentos que acarretam incrementos no consumo energético, permitindo reduções no desempenho geral.

Neste sentido, cabe ponderar também sobre a importância da eficiência energética. Considerando que a adoção dos sistemas que atuam na contenção biológica é inevitável, torna-se a eficiência energética um elemento de destaque. Não sendo possível suprimir a utilização destes equipamentos, deve ser atribuída especial atenção ao dimensionamento destes, a fim de otimizar o consumo energético. E ainda, é extremamente recomendado o aproveitamento do potencial energético do sítio.

Em relação ao grupo de materiais e recursos, dadas as características dos materiais utilizados nos laboratórios para atender às demandas de higiene e

descontaminação, é interessante escolher os materiais a serem empregados com base na análise do ciclo de vida. Isto porque, já que existem materiais impactantes ao meio, é fundamental considerar sua durabilidade e descarte.

Por outro lado, é necessário atentar para o comissionamento dos sistemas de água, ventilação e energia. Estes representam os maiores impactos em relação à performance ambiental das edificações laboratoriais. Durante o projeto, cabe privilegiar a escolha de equipamentos que possuam um desempenho superior (eficiência em relação ao consumo).

Então, uma reflexão que surge desta pesquisa é a possibilidade de incorporar a biossegurança como um dos elementos componentes da sustentabilidade da edificação, a exemplo da abordagem adotada pelo Labs21. A adoção das medidas relacionadas é indispensável, visto que suprimi-las significa afetar diretamente a saúde e a segurança dos envolvidos direta ou indiretamente nas atividades.

Desta forma, considera-se necessária uma mudança no desenvolvimento do projeto, com o objetivo de converter os requisitos físicos relacionados à biossegurança em elementos de qualidade ambiental, ao invés de necessidades espaciais, ampliando a visão sobre o desempenho destes espaços. Em relação aos laboratórios, isto se relaciona perfeitamente à questão sustentável, pois os princípios de biossegurança visam, essencialmente, a garantir a integridade da saúde dos envolvidos e evitar impactos ao meio externo.

E, em função disto, percebe-se ainda que, para fins de certificação, é inadequado aplicar diretamente as metodologias de avaliação do desempenho ambiental tradicionais aos laboratórios, já que não foram desenvolvidas para tal. Isso se fundamenta justamente na desconsideração do fator biossegurança, que deve ser considerada um dos alvos.

Com isto, são identificadas também algumas possibilidades de elaboração de estudos relacionados e complementares aos aspectos abordados. São exemplos: a incorporação da eficiência energética aos projetos laboratoriais, a biossegurança

aplicada aos laboratórios como elemento de sustentabilidade, a análise de sistemas de avaliação ambiental à luz dos laboratórios biomédicos e a aplicação do EPC em edificações laboratoriais visando à avaliação do projeto.

Considerando o exposto, fica evidente a necessidade de se refletir sobre os critérios de projeto e construção de laboratórios de pesquisa, aliando as definições da biossegurança às questões apontadas pelas metodologias que buscam auxiliar a concepção do projeto com alta qualidade ambiental. E ainda, cabe destacar que, mesmo considerando que os laboratórios (particularmente os níveis NB-3 e NB-4) possam constituir riscos graves e eminentes ao meio ambiente, é desejável para o país a construção desse tipo de instalação, pois permite a realização de pesquisas que podem melhorar a qualidade de vida das sociedades, abordando questões de saúde pública, além de contribuir para elevar o desempenho científico.

Neste sentido, cabe tentar minimizar os impactos negativos ao meio ambiente considerando aspectos tais como as condicionantes locacionais e urbanísticas (dentre outros), visando a garantir as medidas de proteção à vida no caso de acidente. Esta pesquisa, portanto, não esgota a discussão. Espera-se que o conhecimento sobre os espaços de laboratórios possa ser aprimorado de forma a projetar, construir e operar essas instalações considerando as melhores soluções para a preservação do meio ambiente e da vida.

ABNT. **NBR 15575** – Edifícios Habitacionais até 5 pavimentos – Desempenho. 2010.

ADDENDA. **Resort da Praia de Muriú Ceará Mirim – RN**. Análise de sítio e recomendações ambientais. Procedimento de Alta Qualidade Ambiental – HQE. 2006.

AKAO, Y. **Quality Function Deployment**. Productivity Press: Cambridge MA, 1990.

ALBERTS, Bruce *et al.* **Biologia molecular da célula**. São Paulo: Artes Médicas, 1997.

AZEREDO, L. F. N. **Análise do planejamento arquitetônico e das instalações de laboratórios públicos de contenção nível 3 ressaltando a biossegurança**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Brasília: UNB, 2004.

BACELAR, Sônia Regina B. B.; CABEL, Gabriel M.; CARVALHO, Marly Monteiro. **QFD**: Estudo de Caso em uma Empresa Prestadora de Serviços de Apoio à Construção Civil. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. ENEGEP. 2001.

BARROS, Aidil J. P. & LEHFELD, Neide A. S. **Fundamentos de Metodologia**. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. 132p.

BARROSO-KRAUSE, Cláudia; BASTOS, Leopoldo E. G.; MARCOSINI, Cynthia; NIEMEYER, Lygia; SALGADO, Mônica Santos; ZAMBRANO, Letícia. **High Quality Environmental Principles Aplied to the Architetonic Design Selection Procedure**: Report on a Brazilian Experience. SASBE 20009. 3th CIB International Conference on Smart anda Sustainable Builts Environments. 2009.

BENCHIMOL, Jaime Larry. **Manguinhos do sonho à vida – a ciência na Belle Époque**. Rio de Janeiro: COC/FIOCRUZ, 1990.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 9 - Programa de prevenção de riscos ambientais**. Brasília: Diário Oficial da União, 1995.

_____. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 17 - Ergonomia**. Brasília: Diário Oficial da União, 1995.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Biossegurança em Laboratórios Biomédicos e de Microbiologia**. 2 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2004a.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. **Diretrizes gerais para o trabalho em contenção com material biológico**. Brasília: Ministério da Saúde, 2004b.

_____. Fundação Nacional de Saúde. **Diretrizes para projetos físicos de laboratórios de saúde pública**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004c. 82 p.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our common future**: The World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University, 1987.

BUENO, Cristiane; ROSSIGNOLO, João A. **Desempenho Ambiental de Edificações**: Cenário Atual e Perspectivas. Revista Minerva, 7(1): 45-52. 2009.

CANGUILHEM, Georges. **Ideologia e racionalidade nas ciências da vida**. Lisboa: Edições 70, 1977.

CONWAY, R. A. **Introduction to environmental risk analysis. Environmental risk analysis for chemicals**. Nova York: Van Nostand Reinhold Company, 1982.

COOK, Jeffrey. **Millennium Measures of Sustainability**: Beyond Climatic Architecture. In: Proceedings of PLEA 2001 Conference – The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture – Renewable Energy for a Sustainable Development of Building Environment. Florianópolis, Brasil, p-37-44. 2001.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em Busca de Uma Arquitetura Sustentável Para os Trópicos**: conforto ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

EPA. **Laboratories for the 21st Century**. 2000. Disponível em: http://www.labs21century.gov. Acesso em 15 de Setembro de 2009.

FIOCRUZ. **Procedimentos para Manipulação de Microrganismos Patogênicos e/ou Recombinantes na FIOCRUZ**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2005.

FRAMPTON, K. **História crítica da arquitetura moderna**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

FREITAS, C. M. **Avaliação dos riscos dos transgênicos orientada pelo princípio da precaução**. In: Bioética e Biorrisco – Abordagem Transdisciplinar. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique. **25 Casas Ecológicas**. Barcelona: Gustavo Gili, 2003.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique. **Arquitectura ecológica**. 29 Ejemplos Europeos. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

GBC BRASIL. **Home Page**. Disponível em: http://www.gbcbrasil.org.br/pt. Acesso em 05 de Abril de 2011.

GIL, Antônio C. **Métodos e técnicas em pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GIRARDET, Herbert. **Cities, people, planet**: liveable cities for a sustainable world. Chichester: Wiley Academy, 2004.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável**: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006.

GÖSSEL, P.; LEUTHÄUSER, G. **L´Architecture du XXe Siècle**. Köln: Taschen, 2005.

GREAT BUILDINGS. **Home page**. Disponível em: www.greatbuildings.com. Acesso em 14 de Agosto de 2010.

GROOMBRIDGE, B. **Global Diversity**. Chapman and Hall: Londres, 1992.

GUY, S.; FARMER, G. **Reinterpreting Sustainable Architecture**: The Place of Technology. Steven Moore and Kenneth Frampton editions, 2001.

HERNANDES, T. Z.; DUARTE, D. H. S. **LEED-NC como sistema de avaliação da sustentabilidade**: Questionamentos para uma aplicação local. In: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2007, Campo Grande. Anais. Campo Grande: ANTAC, 2007. P442-445. 2007.

HIRATA, R. D. **Biossegurança em laboratórios de ensino e da área de saúde**. In: Manual de Biossegurança. São Paulo: Manolo, 2002.

ICB-USP. **Home Page**. Disponível em: http://www.icb.usp.br. Acesso em 18 de Junho de 2010.

JOHN, Vanderley M. **Levantamento do estado da arte: Energia**. Coleção Habitação mais Sustentável. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo: FINEP, 2007.

LABS 21. **Home Page**. Disponível em: www.labs21century.gov. Acesso em 14 de junho de 2010.

LAMBERTS, R., PEREIRA, F. O. R., DUTRA, L. **Eficiência Energética em Edificações**. São Paulo: PW, 1997.

LAPA, Renata C. C. **Radioproteção, biossegurança e qualidade no processo de projeto de laboratórios biomédicos**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Rio de Janeiro: PROARQ, UFRJ, 2005.

LEMOS, Haroldo Mattos. **A evolução da questão ambiental e o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2005.

LONGHI, Cláudia M.; GOBBO, Fabiana G.; SALGADO, Mônica Santos. **Aplicação do QFD aos resultados de uma APO**: Proposta para a elaboração das diretrizes de projeto para uma edificação hospitalar. In: Seminário Internacional NUTAU 2000 – Tecnologia e

Desenvolvimento. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2000, v. CD, p 1-8.

MAGRINI, A. **Metodologia de Avaliação de Impacto Ambiental.** O caso das Usinas Hidrelétricas. Tese (Doutorado em Administração COPPEAD/UFRJ. Rio de Janeiro: UFRJ, 2001.

MAJEROWICZ, Joel. **Biossegurança em Biotérios de Experimentação**. In: VALLE, Silvio & TELLES, J.L.(Org.). Bioética, Biorrisco – Abordagem Transdisciplinar. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Contágio: a história da prevenção das doenças transmissíveis**. São Paulo: Moderna, 1997. Disponível em: www.ifi.unicamp.br. Acesso em: Acesso em: 12 ago. 2009.

MEADOWS, Donella H.; RANDERS, Jorgen; MEADOWS, Dennis L. **Limits to growth**. Earth Island: London, 1972.

MENDONÇA-HAGLER, Lêda C. **Biodiversidade e Biossegurança**. Revista BioTecnologia: Ciência e Desenvolvimento. (18) pp.16-22, edição especial, jan./fev., 2001.

MENEGAT, Rualdo. **Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental nas cidades**. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

MÜLFARTH, Roberta Kronka. **Desenvolvimento Sustentável**. Revista Projeto Design, São Paulo, 2003.

NAVARRO, M. et al. **Doenças emergentes, reemergentes, saúde e ambiente**. In: Saúde e ambiente sustentável: desatando nós. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2002.

NESBITT, Kate. NESBITT, Kate (org). **Uma nova agenda para a arquitetura**. Antologia teórica (1965-1995). São Paulo, Cosac Naify, 2008.

OMS. **Manual de segurança biológica em laboratório**. 3 ed. Genebra: OMS, 2004.

PEIXOTO, Manoel O. C. **Uma proposta de Aplicação da Metodologia de Desdobramento da Função Qualidade (QFD) que sintetiza as versões QFD-Estendido e QFD das Quatro Ênfases**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). São Carlos: EESC, 1998.

PEIXOTO, Manoel O. C.; CARPINETTI, Luiz Cesar R. **Aplicação de QFD integrando o método de Akao e o modelo do QFD Estendido**. Revista Gestão e Produção. v. 5, n. 3, p. 221-238, dezembro, 1998.

PESSOA, Maria Cristina Ribeiro. **Impacto das condicionantes locacionais e a importância da arquitetura no projeto de laboratórios de pesquisas biomédicas pertencentes às classes de risco 2, 3 e 4 sob a ótica da biossegurança**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Rio de Janeiro: COPPE, UFRJ, 2006.

PESSOA, M. C. & LAPA, R. C. **Bioinstalações. In: Bioética e Biorrisco - Abordagem Transdisciplinar**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.

PIAZZO, M.A. **O que foi a peste negra?** Aspectos médicos. In: Revista Janus. Maringá: Departamento de História da Universidade Estadual de Maringá, Ano I, n.2, 1997.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS, Stephanie. **Ecohouse**: A Casa Ambientalmente Sustentável. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROMEIRO, A. R. **Economia ou economia política da sustentabilidade?** Texto para Discussão. Campinas: Unicamp. IE, 2001. (Texto para Discussão, n. 102).

SALGADO, Mônica Santos. **O QFD – Quality Function Deployment – como ferramenta para o planejamento da qualidade do projeto**. In: Arquitetura: pesquisa e projeto. São Paulo: ProEditores, Rio de Janeiro, FAU/UFRJ (Coleção PROARQ), 1997.

SATTLER, M. A. **Edificações e comunidades sustentáveis: atividades e desenvolvimento no NORIE/UFRGS**. Anais do V Seminário de Transferência y Capacitación para Viviendas de Interes Social. San Lorenzo, Argentina, 2003.

SCLIAR, Moacyr. **O olhar médico**. São Paulo: Ágora, 2005.

SILVA, K. P. **Considerações preliminares e a gênese do hospital moderno: Tenon e o incêndio do Hôtel-Dieu de Paris**. In: A idéia de função para a arquitetura: o hospital e o século XVIII. Arquitextos, especial 052, fev., 2001a. Disponível em www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp052.asp . Acesso em: 15 ago. 2009.

_____. **A gênese do hospital moderno: saberes, práticas médicas e o hospital**. In: A idéia de função para a arquitetura: o hospital e o século XVIII. Arquitextos, especial 060, mar., 2001b. Disponível em www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp060.asp. Acesso em: 15 ago. 2009.

SILVA, Vanessa Gomes da. **Avaliação do desempenho ambiental de edifícios**. Revista Qualidade na Construção, n. 25, p.14-22, agosto 2000.

_____. **Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios**: estado atual e discussão metodológica. Coleção Habitação mais Sustentável. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo: FINEP, 2007.

SIMAS, C. M. & CARDOSO, T. A. O. **Biossegurança e arquitetura em laboratórios de saúde pública**. In: Revista Pós, v.15, n.24, São Paulo: Dezembro, 2008.

SLESSOR, C. **Eco-tech**: sustainable architecture and high technology. London: Thames & Hudson, 1997.

STEELE, J. **Architecture today: ecological architecture**. London: Phaidon, 1997.

STUERMER, M. M.; BEDENDO, I. A.; BROCANELI, P. F. **A Certificação Verde LEED**: reflexão de sua aplicação frente à Agenda 21 Global. Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social. Maio 2010.

TEIXEIRA, Pedro & VALLE, Silvio. **Riscos Biológicos em Laboratórios**. In: VALLE, Silvio & TELLES, J. L. (Org.). Bioética, Biorrisco – Abordagem Transdisciplinar. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, 2003.

TORREIRA, Raúl Peragallo. **Segurança Industrial e Saúde**. São Paulo: Ministério de Ciência e Tecnologia – Produções Gráficas, 1997.

UJVARI, Stefan Cunha. **A história da humanidade contada pelos vírus**. São Paulo: Contexto, 2009.

USGBC - US GREEN BUILDING COUNCIL - US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Home Page**. Disponível em: www.usgbc.org. Acesso em: 22.jul.10.

VIEIRA, Valéria Michielin. **Contribuição da arquitetura na qualidade dos espaços destinados aos laboratórios de contenção biológica**. Tese (Doutorado em Arquitetura). Rio de Janeiro: PROARQ, UFRJ, 2008.

VIEIRA, Luciana Alves; BARROS FILHO, Mauro Normando Macêdo. **A emergência do conceito de arquitetura sustentável e os métodos de avaliação do desempenho ambiental de edificações**. Humanae, v.1, n.3, p. 1-26, Dez. 2009.

VITRUVIUS. **The ten books on architecture**. Traduzido por M. H. Morgan. New York: Dover, 1960.

ZAMBRANO, Letícia Maria de Araújo. **Avaliação do desempenho ambiental da edificação**: Um instrumento de gestão ambiental – Estudo de caso em indústria farmacêutica. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Rio de Janeiro: PROARQ, UFRJ, 2004.

ZAMBRANO, Letícia Maria de Araújo. **Integração dos Princípios da Sustentabilidade ao Projeto de Arquitetura**. Tese (Doutorado em Arquitetura). Rio de Janeiro: PROARQ, UFRJ, 2008.

WEKA. **Batir la Qualité Environmentalle**. Paris: WEKA Éditions, 2003.

WILLIAMSON, T.; RADFORD, A.; BENNETTS, H. **Understanding Sustainable Architecture**. London, USA, Canada: Spon Press, 2003.

CONTROLE DE ACESSO		
DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	**Nível de Biossegurança NB-2**	**Nível de Biossegurança NB-3**
Laboratório separado de áreas de acesso livre ao público e escritórios	O	O
Portas fechadas com trancamento	O	O
Portas com sistema de abertura por acionamento automático, mediante identificação por cartão, biometria ou outro sistema de segurança	-	R
Acesso controlado	O	-
Acesso restrito ao pessoal autorizado com sistema de controle de entradas	-	O
Sinalização de segurança com símbolo de risco biológico nas portas	O	O

Legenda: R – Recomendado / O – Obrigatório

Fontes: Adaptado de Vieira (2008), Simas e Cardoso (2008), OMS (2004) e FIOCRUZ (2005).

PERÍMETRO DE CONTENÇÃO		
DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	**Nível de Biossegurança NB-2**	**Nível de Biossegurança NB-3**
Antecâmara de acesso aos espaços contidos e/ou laboratório	R	O
Entrada e saída através de antecâmara pressurizada equipada com sistema de bloqueio de dupla porta, fechamento automático e intertravamento	-	O
Entrada e saída através de vestiário de barreira pressurizado equipado com sistema de bloqueio de dupla porta, fechamento automático e intertrava-mento	-	R
Entrada e saída de materiais de consumo e amostras biológicas através de sistemas de passagem	-	R
Autoclave de dupla porta com intertravamento	-	R
Espaços contidos afastados de paredes do envelope externo da edificação	-	R
Paredes em alvenaria estruturada ou concreto, revestidas com materiais contínuos e vedados	-	R
Selagem de perfurações nas superfícies envolventes dos laboratórios (ex. passagens de cabos e canalizações)	-	O
Instalações hidráulicas e sanitárias dotadas de dispositivos anti-refluxo	R	O
Linhas de suprimento de gases dotadas de dispositivos anti-refluxo	R	O
Linhas de fornecimento de ar comprimido dotadas de filtro HEPA	R	O
Linhas ou bombas de vácuo protegidas por sifões com desinfectantes líquidos e filtros HEPA.	-	O
Controle do suprimento de água (registro) localizado fora da área de contenção	-	O
Instalação de reatores e lâmpadas em espaços técnicos	-	R
Sifões de drenagem, ou dispositivos similares de retenção de líquidos, equipados com selo hidráulico	-	O
Selagem/vedação de juntas e frestas nas paredes, tetos, pisos e demais superfícies que compõem o perímetro de contenção	R	O
Janelas e/ou visores fixos, hermeticamente estanques, selados e construídos com vidros de segurança	R	O

Legenda: R – Recomendado / O – Obrigatório

Fontes: Adaptado de Vieira (2008), Simas e Cardoso (2008), OMS (2004) e FIOCRUZ (2005).

LAY-OUT		
DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	**Nível de Biossegurança NB-2**	**Nível de Biossegurança NB-3**
Escritórios localizados no exterior da área de contenção	R	O
Áreas adjacentes ao laboratório projetadas conforme uma gradiente de riscos e potencial de contaminação	-	O
Local, no interior do laboratório e próximo a porta de acesso, para armazenar jalecos e EPIs de uso exclusivo do laboratório	O	-
Vestiário pressurizado de paramentação da equipe, com separação entre potencialmente contaminado e descontaminado	-	R
Laboratório de apoio adjacente à área de contenção	-	R
Equipamento mecânicos próximos às áreas contidas	-	R
Legenda: R – Recomendado / O – Obrigatório		

Fontes: Adaptado de Vieira (2008), Simas e Cardoso (2008), OMS (2004) e FIOCRUZ (2005).

HIGIENE E DESCONTAMINAÇÃO		
DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	**Nível de Biossegurança NB-2**	**Nível de Biossegurança NB-3**
Lavatório, para lavagem das mãos, próximo à entrada/saída do laboratório	O	O
Torneira com acionamento automático	R	O
Instalação de chuveiro na antecâmara	-	R
Superfícies (parede, teto e piso) com menor número possível de reentrâncias, lisas, impermeáveis e resistentes à desinfecção	O	O
Superfícies contínuas (sem saliências, frisos ou reentrâncias)	O	O
Continuidade entre piso e parede, preferencialmente com acabamento arredondado	O	O
Legenda: R – Recomendado / O – Obrigatório		

Fontes: Adaptado de Vieira (2008), Simas e Cardoso (2008), OMS (2004) e FIOCRUZ (2005).

ERGONOMIA E MOBILIÁRIO		
DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	**Nível de Biossegurança NB-2**	**Nível de Biossegurança NB-3**
Materiais e revestimentos laváveis, resistentes a produtos químicos, umidade e calor.	O	O
Superfícies resistentes a impactos mecânicos e ao aparecimento de sulcos ou riscos	O	O
Superfícies lisas e contínuas (sem juntas ou reentrâncias)	O	O
Bancadas com rebordo para contenção de líquidos	R	R
Bancadas com sistema de drenagem	R	R
Tampos, gavetas, maçanetas e puxadores com acabamento arredondado	R	R
Gavetas equipadas com limitadores de curso	R	R
Portas do mobiliário sem fechamento autônomo	R	R

Legenda: R – Recomendado / O – Obrigatório

Fontes: Adaptado de Vieira (2008), Simas e Cardoso (2008), OMS (2004) e FIOCRUZ (2005).

UTILIDADES E EQUIPAMENTOS		
DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	**Nível de Biossegurança NB-2**	**Nível de Biossegurança NB-3**
Lava-olhos	-	O
Previsão de instalação de cabines de segurança biológica	R	O
Guichê de passagem – pass through	-	R
Bomba portátil de vácuo	-	R
Autoclave próxima ao laboratório	O	O
Autoclave no laboratório	-	R

Legenda: R – Recomendado / O – Obrigatório

Fontes: Adaptado de Vieira (2008), Simas e Cardoso (2008), OMS (2004) e FIOCRUZ (2005).

TRATAMENTO DE RESÍDUOS		
DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	**Nível de Biossegurança NB-2**	**Nível de Biossegurança NB-3**
Autoclave de dupla porta	-	R
Dreno hermético para autoclave	-	O
Sistema de descontaminação de efluentes líquidos, através de tratamento químico ou térmico, para posterior descarte	-	R

Legenda: R – Recomendado / O – Obrigatório

Fontes: Adaptado de Vieira (2008), Simas e Cardoso (2008), OMS (2004) e FIOCRUZ (2005).

SISTEMA DE VENTILAÇÃO		
DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	**Nível de Biossegurança NB-2**	**Nível de Biossegurança NB-3**
Sistema de ventilação com pressurização negativa	-	O
Fluxo de ar unidirecional das áreas com menores potenciais de risco para as áreas mais perigosas	R	O
Vizualização dos diferenciais de pressão através de manômetros localizados na entrada do espaço contido	-	R
Dutos de insuflamento e exaustão de ar herméticos, possibilitando a descontaminação local e acessíveis fora da contenção laboratorial	-	R
Recirculação de ar com filtragem HEPA	R	-
Tomada de ar 100% externa	-	O
Sistema de admissão de ar independente	-	O
Dutos de admissão de ar protegidos com sistema anti-refluxo (dampers automáticos ou filtros HEPA)	-	R
Intertravamento do sistema de ventilação (admissão e exaustão) para evitar pressão positiva do espaço contido	-	O
Exaustão com filtros HEPA	-	O
Independência do sistema de exaustão de ar do espaço contidos	-	O
Liberação do ar exaurido acima da edificação laboratorial, afastado de outras edificações e tomadas de ar do sistema	O	O
Sistema de controle automático com sinalização visual e sonora na área de contenção e adjacências para alertar falha no sistema de ventilação (admissão de ar)	-	O
Acesso aos sistemas de ventilação (equipamentos e filtros) pelo exterior da área de contenção para fins de manutenção e reparo	-	R

Legenda: R – Recomendado / O – Obrigatório

Fontes: Adaptado de Vieira (2008), Simas e Cardoso (2008), OMS (2004) e FIOCRUZ (2005).

SISTEMAS DE EMERGÊNCIA E ACIDENTES		
DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	**Nível de Biossegurança NB-2**	**Nível de Biossegurança NB-3**
Símbolo internacional de risco biológico, com informação apropriada sobre o microorganismo manipulado, fixado na porta de acesso.	**O**	**O**
Portas de saída de emergência identificadas, próximas ao laboratório, abrindo para o exterior ou para áreas de escape.	O	O
Visores de observação na barreira de confinamento	-	R
Dispositivo de emergência para lavagem de olhos no laboratório	R	-
Chuveiro de emergência em local próximo ao laboratório	R	-
Chuveiros e lava-olhos de emergência automáticos, localizados em área adjacente ao laboratório	-	O
Sistema de segurança predial	O	O
Sistema de monitoramento laboratorial, conectado ao sistema de emergência e integrado ao sistema segurança predial.	R	O
Sistemas de comunicação entre os espaços contidos e demais áreas de apoio	-	O
Sistema de transmissão de dados entre a área de confinamento e o exterior	-	R
Sistema elétrico de emergência para iluminação, cabines de segurança biológica, ventilação e outros equipamentos considerados essenciais	R	O
Instalação de quadros de comando e disjuntores fora da área de contenção	R	R
Cilindros de gases comprimidos situados na área externa do laboratório	R	O

Legenda: R – Recomendado / O – Obrigatório

Fontes: Adaptado de Vieira (2008), Simas e Cardoso (2008), OMS (2004) e FIOCRUZ (2005).

Neste anexo, estão dispostos os requisitos e pré-requisitos componentes do checklist do LEED versão 3 (2009), considerando também seus objetivos, divididos conforme as categorias do sistema.

Espaço sustentável

- Pré-requisito 1 – Prevenção da poluição na atividade da construção – objetivo: reduzir a poluição proveniente de atividades de construção através do controle da erosão do solo, da sedimentação fluvial e geração de particulados aéreos.

- Crédito 1 – Seleção do terreno – objetivo: evitar o desenvolvimento da construção em locais impróprios e reduzir o impacto ambiental a partir da localização de um edifício em um sítio.

- Crédito 2 – Densidade urbana e conexão com a comunidade – objetivo: priorizar o desenvolvimento das áreas urbanas com infra-estrutura existente, proteger áreas verdes, preservar o habitat e os recursos naturais.

- Crédito 3 – Requalificação de áreas degradadas – objetivo: recuperar locais degradados, onde o desenvolvimento é inviabilizado pela contaminação ambiental e reduzir a pressão sobre os terrenos não urbanizados.

- Crédito 4.1 – Transporte alternativo (acesso ao transporte público) – objetivo: reduzir a poluição e os impactos urbanos causados pelo uso do automóvel.

- Crédito 4.2 - Transporte alternativo (bicicletário e vestiário para os ocupantes) – objetivo: reduzir a poluição e os impactos urbanos causados pelo uso do automóvel.

- Crédito 4.3 - Transporte alternativo (uso de veículos de baixa emissão) – objetivo: reduzir a poluição e os impactos urbanos causados pelo uso do automóvel.

- Crédito 4.4 – Transporte alternativo (área de estacionamento) – objetivo: reduzir a poluição e os impactos urbanos causados pelo uso do automóvel.

- Crédito 5.1 – Desenvolvimento do espaço (proteção e restauração do habitat) – objetivo: conservar áreas naturais existentes e recuperar áreas degradadas para proporcionar habitats naturais e promover a biodiversidade.

- Crédito 5.2 – Desenvolvimento do espaço (maximizar espaços abertos) – objetivo: promover a biodiversidade, proporcionando uma alta taxa de espaços abertos.

- Crédito 6.1 – Projeto para águas pluviais (controle da quantidade) – objetivo: limitar os impactos sobre a hidrologia natural, reduzindo capa impermeável, aumentar a infiltração no local, reduzindo ou eliminando a poluição de águas pluviais através de contaminantes.

- Crédito 6.2 – Projeto para águas pluviais (controle da qualidade) – objetivo: limitar as perturbações e a poluição dos cursos de água naturais através do manejo de águas pluviais.

- Crédito 7.1 – Redução da ilha de calor (áreas descobertas) – objetivo: reduzir ilhas de calor para minimizar impactos no microclima e nos habitats humanos e dos animais selvagens.

- Crédito 7.2 – Redução da ilha de calor (áreas cobertas) – objetivo: reduzir ilhas de calor para minimizar impactos no microclima e nos habitats humanos e dos animais selvagens.

- Crédito 8 – Redução da poluição luminosa – objetivo: minimizar a invasão de luz do edifício e do terreno, reduzir o brilho do céu, para aumentar o acesso céu noturno, melhorar visibilidade noturna através da redução de claridade e reduzir o impacto sobre o desenvolvimento da iluminação noturna sobre ambientes.

Uso racional da água

- Pré-requisito 1 – Redução no uso da água (20%) – objetivo: aumentar a eficiência no uso da água em edifícios para reduzir a carga sobre o abastecimento de água potável e águas residuais dos sistemas.

- Crédito 1 – Uso eficiente de água no paisagismo – objetivo: limitar ou eliminar o uso de água potável ou de superfície naturais ou os recursos hídricos disponíveis no subsolo ou perto do local no projeto de irrigação.

- Crédito 2 – Tecnologias inovadoras para águas servidas – objetivo: reduzir a geração de efluentes e demanda de água potável e aumentar a recarga do aqüífero local.

- Crédito 3 – Redução no uso da água – objetivo: aumentar adicionalmente a eficiência da água em edifícios para reduzir a carga sobre o abastecimento de água potável e águas residuais sistemas.

Energia e atmosfera

- Pré-requisito 1 – Comissionamento dos sistemas de energia – objetivo: verificar se os sistemas energéticos do projeto estão instalados e calibrados para executar de acordo com as exigências do proprietário e os documentos de projeto e construção.

- Pré-requisito 2 – Performance energática mínima – objetivo: estabelecer um nível mínimo de eficiência energética para a construção e os sistemas propostos, a fim de reduzir a poluição e os impactos econômicos associados ao uso excessivo de energia.

- Pré-requisito 3 – Gestão de gases refrigerantes (não uso de CFCs) – objetivo: reduzir os impactos destrutivos na camada de ozônio.

- Crédito 1 – Otimização da performance energética – objetivo: atingir níveis crescentes de desempenho energético, além do padrão estabelecido no pré-requisito, para reduzir a poluição ambiental e impactos econômicos associados ao uso excessivo de energia.

- Crédito 2 – Geração local de energia renovável – objetivo: incentivar e reconhecer as possibilidades de utilização de energias renováveis do sítio para auto-abastecimento, para reduzir a poluição ambiental e os impactos econômicos associados ao uso de energia fóssil.

- Crédito 3 – Melhoria no comissionamento – objetivo: iniciar o processo de comissionamento simultaneamente ao início do processo de concepção e execução de atividades adicionais após a verificação de desempenho dos sistemas.

- Crédito 4 – Melhoria na gestão de gases refrigerantes – objetivo: reduzir a destruição do ozônio e apoiar o Protocolo de Montreal, minimizando as contribuições diretas para as alterações climáticas.

- Crédito 5 – Medições e verificações – objetivo: prever a prestação de contas do consumo de energia da construção ao longo do tempo.

- Crédito 6 – Energia renovável – objetivo: incentivar o desenvolvimento e a utilização de fontes e tecnologias de energia renovável, visando uma base de poluição zero.

Materiais e recursos

- Pré-requisito 1 – Depósito e coleta de materiais recicláveis – objetivo: reduzir a quantidade de resíduos, gerados pelos ocupantes do edifício, transportada e depositada em aterros.

- Crédito 1.1 – Reuso do edifício (paredes, pisos e coberturas existentes) – objetivo: estender o ciclo de vida de edifícios existentes, conservar os recursos, manter recursos culturais, reduzir o desperdício e reduzir os impactos ambientais dos novos edifícios que se referem aos materiais de fabricação e transporte.

- Crédito 1.2 – Reuso do edifício (elementos interiores não estruturais) – objetivo: estender o ciclo de vida de edifícios existentes, conservar os recursos, manter recursos culturais, reduzir o desperdício e reduzir os impactos ambientais dos novos edifícios que se referem aos materiais de fabricação e transporte).

- Crédito 2 – Gestão de resíduos da construção – objetivo: evitar a disposição de entulhos da construção em aterros e incineradores, redirecionar recicláveis para o processo de fabricação e materiais reutilizáveis para os locais apropriados.

- Crédito 3 – Reuso de materiais – objetivo: reutilizar materiais de construção e produtos para reduzir a demanda por matérias-primas e o desperdício, diminuindo assim os impactos associados à extração e processamento de recursos naturais.

- Crédito 4 – Conteúdo reciclado – objetivo: aumentar a demanda de produtos que utilizam materiais reciclados, reduzindo os impactos resultantes da extração e do processamento de recursos naturais.

- Crédito 5 – Materiais regionais – objetivo: aumentar a demanda por materiais de construção e produtos que são extraídos e fabricados na região, apoiando assim a utilização de recursos locais e reduzindo os impactos ambientais decorrentes do transporte.

- Crédito 6 – Materiais de rápida renovação – objetivo: reduzir o uso e o esgotamento dos recursos não renováveis e materiais com longo ciclo de renovação, substituindo-os por materiais renováveis rapidamente.

- Crédito 7 – Madeira certificada – objetivo: incentivar o manejo florestal ambientalmente responsável.

Qualidade ambiental interna

- Pré-requisito 1 – Qualidade do ar interno (performance mínima) – objetivo: estabelecer padrão de desempenho mínimo do ar interno para melhorar a qualidade do ar nos edifícios, contribuindo assim para o conforto e bem-estar dos ocupantes.

- Pré-requisito 2 – Controle ambiental da fumaça de cigarro – objetivo: evitar ou minimizar a exposição dos ocupantes do edifício, das superfícies interiores e dos sistemas de distribuição de ar para ventilação à fumo de tabaco ambiental (ETS).

- Crédito 1 – Monitoramento da captação de ar exterior – objetivo: capacitar o sistema de ventilação para monitorar o ar exterior, a fim de ajudar a promover o conforto dos ocupantes e o bem-estar.

- Crédito 2 – Aumento da ventilação – objetivo: assegurar taxa extra de renovações de ar para melhorar a qualidade do ar interno e promover o conforto dos ocupantes, o bem-estar e a produtividade.

- Crédito 3.1 – Plano de gestão da qualidade do ar (durante a construção) – objetivo: reduzir problemas na qualidade do ar interior resultantes da construção ou reforma da edificação e promover o conforto e bem-estar dos trabalhadores da construção civil e ocupantes do edifício.

- Crédito 3.2 – Plano de gestão da qualidade do ar (antes da ocupação) – objetivo: reduzir problemas na qualidade do ar interior e promover o conforto e bem-estar dos ocupantes do edifício.

- Crédito 4.1 – Materiais de baixa emissão (adesivos e selantes) – objetivo: reduzir a quantidade de contaminantes do ar interior que possuem cheiro, causam irritações ou são prejudiciais ao conforto e ao bem-estar dos instaladores e ocupantes.

- Crédito 4.2 – Materiais de baixa emissão (pinturas e revestimentos) – objetivo: reduzir a quantidade de contaminantes do ar interior que possuem cheiro, causam irritações ou são prejudiciais ao conforto e ao bem-estar dos instaladores e ocupantes.

- Crédito 4.3 – Materiais de baixa emissão (carpetes e sistemas de piso) – objetivo: reduzir a quantidade de contaminantes do ar interior que possuem cheiro, causam irritações ou são prejudiciais ao conforto e ao bem-estar dos instaladores e ocupantes.

- Crédito 4.4 – Materiais de baixa emissão (compostos de madeira e agrofibras) – objetivo: reduzir a quantidade de contaminantes do ar interior que possuem cheiro, causam irritações ou são prejudiciais ao conforto e ao bem-estar dos instaladores e ocupantes.

- Crédito 5 – Controle das fontes internas de produtos químicos e poluentes – objetivo: minimizar a exposição dos ocupantes da construção às partículas potencialmente perigosas e poluentes químicos.

- Crédito 6.1 – Controle de sistemas (iluminação) – objetivo: promover o controle do sistema de iluminação pelos ocupantes individuais ou grupos (por exemplo, salas de aula e conferências), a fim de promover produtividade, conforto e bem-estar.

- Crédito 6.2 – Controle de sistemas (conforto térmico) – objetivo: promover o controle de temperatura pelos ocupantes individuais ou grupos (por exemplo, salas de aula e áreas de conferências), a fim de promover produtividade e bem-estar.

- Crédito 7.1 – Conforto térmico (projeto) – objetivo: proporcionar um ambiente confortável termicamente, aumentando a produtividade dos ocupantes e o bem-estar.

- Crédito 7.2 – Conforto térmico (verificação) – objetivo: prever a avaliação do conforto térmico dos ocupantes da construção ao longo da vida útil da edificação.

- Crédito 8.1 – Iluminação natural e paisagem (luz do dia) – objetivo: fornecer aos ocupantes do prédio uma conexão com os espaços exteriores, através da introdução de luz natural e vistas para as áreas de ocupação regular do edifício.

- Crédito 8.2 – Iluminação natural e paisagem (vistas) – objetivo: fornecer aos ocupantes do prédio uma conexão com os espaços exteriores, através da introdução de luz natural e vistas para as áreas de ocupação regular do edifício.

Inovação e processo de projeto

- Crédito 1 – Inovação no projeto – objetivo: fornecer às equipes de projetos a oportunidade de atingir um desempenho excepcional, além dos requisitos estabelecidos regularmente pelo LEED Green Building Rating System.

- Crédito 2 – Profissional acreditado LEED – objetivo: apoiar e incentivar a integração da concepção exigida pelo LEED para agilizar os processos de verificação e certificação.

Créditos regionais

- Crédito 1 – Prioridades regionais – objetivo: incentivar a obtenção de créditos que atendam especificidades e prioridades ambientais relacionadas ao local.

EPC 2.2 - Checklist de Projeto - Parte 1

Créditos e pré-requisitos (adições/modificações ao LEED) estão destacados

Sim	?	Não			
0	0	0	**Espaço Sustentável**		**16 Pontos**
Y			**Pré-requisito 1**	Prevenção da poluição na atividade da construção	Obrigatório
			Crédito 1	Seleção do terreno	1
			Crédito 2	Densidade urbana e conexão com a comunidade	1
			Crédito 3	Requalificação de áreas degradadas	1
			Crédito 4.1	Transporte alternativo (acesso ao transporte público)	1
			Crédito 4.2	Transporte alternativo (bicicletário e vestiário para os ocupantes)	1
			Crédito 4.3	Transporte alternativo (uso de veículos de baixa emissão)	1
			Crédito 4.4	Transporte alternativo (área de estacionamento)	1
			Crédito 5.1	Desenvolvimento do espaço (proteção e restauração do habitat)	1
			Crédito 5.2	Desenvolvimento do espaço (maximizar espaços abertos)	1
			Crédito 6.1	Projeto para águas pluviais (controle da quantidade)	1
			Crédito 6.2	Projeto para águas pluviais (controle da qualidade)	1
			Crédito 7.1	Redução da ilha de calor (áreas descobertas)	1
			Crédito 7.2	Redução da ilha de calor (coberturas)	1
			Crédito 8	Redução da poluição luminosa	1
			Crédito 9.1	Gerenciamento de segurança e riscos (efluentes aéreos)	1
			Crédito 9.2	Gerenciamento de segurança e riscos (efluentes líquidos)	1
Sim	?	Não			
0	0	0	**Uso Racional da Água**		**7 Pontos**
Y			**Pré-requisito 1**	Consumo de água dos equipamentos laboratoriais	Obrigatório
			Crédito 1.1	Redução no uso da água - 20%	1
			Crédito 1.2	Uso eficiente de água no paisagismo	1
			Crédito 2	Tecnologias inovadoras para águas servidas	1
			Crédito 3.1	Redução no uso da água - 20%	1
			Crédito 3.2	Redução no uso da água - 30%	1
			Crédito 4.1	Eficiência no processamento de água, documento-base	1
			Crédito 4.2	Eficiência no processamento de água, redução 20%	1

EPC 2.2 - Checklist de Projeto - Parte 2

Créditos e pré-requisitos (adições/modificações ao LEED) estão destacados

Sim	?	Não			
0	0	0	**Energia e Atmosfera**		**25 Pontos**
Y			**Pré-requisito 1**	Comissionamento dos sistemas de energia	Obrigatório
Y			**Pré-requisito 2**	Performance energética mínima	Obrigatório
Y			**Pré-requisito 3**	Gestão de gases refrigerantes (não uso de CFCs)	Obrigatório
Y			**Pré-requisito 4**	Avaliação dos requisitos mínimos de ventilação	Obrigatório
			Crédito 1	Otimização da performance energética	1 a 10
			Crédito 2	Geração local de energia renovável	1 a 3
			Crédito 3	Melhoria no comissionamento	1
			Crédito 4	Melhoria na gestão de gases refrigerantes	1
			Crédito 5	Medições e verificações	1
			Crédito 6	Energia "verde"	1
			Crédito 7	Eficiência do suprimento de energia	1 a 5
			Crédito 8	Aumento da eficiência dos equipamentos laboratoriais	1
			Crédito 9.1	Dimensionamento dos equipamentos laboratoriais: comparação	1
			Crédito 9.2	Dimensionamento dos equipamentos laboratoriais: medição	1
Sim	?	Não			
0	0	0	**Materiais e Recursos**		**14 Ponots**
Y			**Pré-requisito 1**	Depósito e coleta de materiais recicláveis	Obrigatório
Y			**Pré-requisito 2**	Manejo de material perigoso	Obrigatório
			Crédito 1.1	Reuso do edifício (75% - paredes, pisos e coberturas)	1
			Crédito 1.2	Reuso do edifício (100% - paredes, pisos e coberturas)	1
			Crédito 1.3	Reuso do edifício (50% - elementos não estruturais)	1
			Crédito 2.1	Gestão dos resíduos de construção	1
			Crédito 2.2	Gestão dos resíduos de construção	1
			Crédito 3.1	Reuso de materiais - 5%	1
			Crédito 3.2	Reuso de materiais - 10%	1
			Crédito 4.1	Conteúdo reciclado - 10%	1
			Crédito 4.2	Conteúdo reciclado - 20%	1
			Crédito 5.1	Materiais regionais - 10%	1
			Crédito 5.2	Materiais regionais - 20%	1
			Crédito 6	Materiais renováveis	1
			Crédito 7	Madeira certificada	1
			Crédito 8	Gestão de produtos químicos	1

EPC 2.2 - Checklist de Projeto - Parte 3

Créditos e pré-requisitos (adições/modificações ao LEED) estão destacados

Sim	?	Não			
0	0	0	**Qualidade Ambiental Interna**		**18 Pontos**
Y			**Pré-requisito 1**	Qualidade do ar interno (performance mínima)	Obrigatório
Y			**Pré-requisito 2**	Controle ambiental da fumaça de cigarro	Obrigatório
Y			**Pré-requisito 3**	Ventilação do laboratório	Obrigatório
Y			**Pré-requisito 4**	Sistema de notificação de porta externa	Obrigatório
			Crédito 1	Monitoramento da captação de ar exterior	1
			Crédito 2	Aumento da ventilação	1
			Crédito 3.1	Plano de gestão da qualidade do ar (durante a construção)	1
			Crédito 3.2	Plano de gestão da qualidade do ar (antes da ocupação)	1
			Crédito 4.1	Materiais de baixa emissão (adesivos e selantes)	1
			Crédito 4.2	Materiais de baixa emissão (pinturas e revestimentos)	1
			Crédito 4.3	Materiais de baixa emissão (carpetes e sistemas de piso)	1
			Crédito 4.4	Materiais de baixa emissão (compostos de madeira e agrofibras)	1
			Crédito 5	Controle das fontes internas de produtos químicos e poluentes	1
			Crédito 6.1	Controle de sistemas (iluminação)	1
			Crédito 6.2	Controle de sistemas (conforto térmico)	1
			Crédito 7.1	Conforto térmico (projeto)	1
			Crédito 7.2	Conforto térmico (verificação)	1
			Crédito 8.1	Iluminação natural e paisagem (luz do dia)	1
			Crédito 8.2	Iluminação natural e paisagem (vistas)	1
			Crédito 9.1	Segurança ambiental interna, modelagem do fluxo de ar	1
			Crédito 9.2	Segurança ambiental interna, comissionamento	1
			Crédito 9.3	Segurança ambiental interna, sistemas de alarme	1
Sim	?	Não			
0	0	0	**Inovação e Processo de Projeto**		**5 Pontos**
			Crédito 1.1	Inovação no projeto	1
			Crédito 1.2	Inovação no projeto	1
			Crédito 1.3	Inovação no projeto	1
			Crédito 1.4	Inovação no projeto	1
			Crédito 2	Profissional acreditado LEED	1
Sim	?	Não			
0	0	0	**Total**		**85 Pontos**