



VIABILIDADE DE UMA ARQUITETURA HOSPITALAR SUSTENTÁVEL
BASEADA NAS MICROALGAS: Estudo de caso: Propostas para o novo Hospi-
tal Universitário – UFRJ

Geyser Capote Gutierrez

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa Ambientes de Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Mauro César de Oliveira Santos
Co-orientadora: Profa. Dr. Ivani Bursztyn

Rio de Janeiro
Março, 2015

VIABILIDADE DE UMA ARQUITETURA HOSPITALAR SUSTENTÁVEL
BASEADA NAS MICROALGAS: Estudo de caso: Propostas para o novo Hospi-
tal Universitário – UFRJ

Geyser Capote Gutierrez

Orientador: Prof. Dr. Mauro César de Oliveira Santos
Co-orientadora: Profa. Dr. Ivani Bursztyn

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa Ambientes de Saúde.

Aprovada por:

Presidente, Prof. Mauro Santos

Prof. Ivani Bursztyn

Prof. Donato Aranda

Prof. Marcos Martinez Silvano

Prof. Ubiratan de Souza

Rio de Janeiro

Março, 2015

Capote, Geyser.

VIABILIDADE DE UMA ARQUITETURA HOSPITALAR
SUSTENTÁVEL BASEADA NAS MICROALGAS: Estudo de caso:
Propostas para o novo Hospital Universitário – UFRJ/ Geyser
Capote Gutierrez. – Rio de Janeiro: UFRJ/ FAU, 2015.

ix, 87f.: il.

Orientador: Mauro César de Oliveira Santos

Dissertação (Mestrado) - UFRJ/ PROARQ/ Programa de Pós-
graduação em Arquitetura, 2015.

Referências Bibliográficas: f. 78-87.

1. Arquitetura hospitalar. 2. Hospitais sustentáveis. 3. Microalgas.
I. Santos, Mauro César de Oliveira. II. Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-
graduação em Arquitetura. III. Título.

RESUMO

VIABILIDADE DE UMA ARQUITETURA HOSPITALAR SUSTENTÁVEL BASEADA NAS MICROALGAS: Estudo de caso: Propostas para o novo Hospital Universitário – UFRJ

Geyser Capote Gutierrez

Orientador: Mauro César de Oliveira Santos

Co-orientadora: Profa. Dr. Ivani Bursztyn

O tema da arquitetura sustentável é essencialmente multidisciplinar. Do ponto de vista da arquitetura os novos ambientes devem possibilitar a personalização dos espaços, reduzir a escala do edifício, integrá-lo com o exterior e com a natureza e valorizar os meios naturais que promovam conforto ambiental.

Mediante os produtos e as tecnologias que utiliza, os recursos que consome, os resíduos que produz e os edifícios que constrói e administra, o setor da saúde constitui uma fonte significativa de contaminação no mundo todo, e acaba por contribuir com fatores que ameaçam a saúde pública.

Seria importante focar na redução do impacto ambiental gerado por hospitais, com a redução do consumo de água e de energia e a melhor reciclagem dos resíduos sólidos.

Entre as principais metas que propõe a arquitetura contemporânea se encontra, a utilização da ciência, a inovação e a tecnologia como médio para responder à exploração sustentável dos ecossistemas. Neste sentido as algas são um importante recurso ecológico, social e econômico, em resposta aos desafios ambientais que enfrentamos atualmente.

Neste trabalho propusemos uma integração entre a arquitetura hospitalar e o cultivo de microalgas, a partir de ideias conceituais, onde os ambientes hospitalares se beneficiariam com uma significativa redução do CO₂ e dos resíduos já que seriam utilizados pelas microalgas para seu crescimento. Contribuindo também a garantir a redução de ruídos, isolamento térmico, geração de água quente, produção de medicamentos e produção de biocombustível a partir da biomassa transferida em energia elétrica, entre outras vantagens que terão repercussão na saúde ambiental e meio ambiente em geral. Sendo possível sua replicação pelos sistemas de saúde de diferentes países.

Palavras-chave: Arquitetura hospitalar. Hospitais sustentáveis. Microalgas.

Rio de Janeiro

Março 2015

ABSTRACT

VIABILITY OF A SUSTAINABLE HOSPITAL ARCHITECTURE BASED ON MICROALGAE: Case study: Proposals for the new University Hospital - UFRJ

Geyser Capote Gutierrez

Advisor: Mauro César de Oliveira Santos

Co-advisor: Ivani Bursztyn

The theme of sustainable architecture is essentially multidisciplinary. From an architectural point of view, the new environments must permit the customization of spaces, reducing the building's scale, integrate it with the exterior and the nature and value the natural environments of promotion of environmental comfort.

Through the products and technologies, the resources it consume, the waste it produce and the buildings that builds and manages, the health sector is a significant source of contamination around the world, contributing without wanting it to aggravate the trends threaten public health.

It would be important to focus on reducing the environmental impact that generates the hospital, reducing water and energy consumption and better recycling of solid waste produced by the hospital.

Among the main goals that aims to contemporary architecture is the use of science, innovation and technology as means to respond to the sustainable exploitation of ecosystems. In this sense, the algae are an important ecological resource, social and economic, in response to environmental challenges that we face today.

In this study is proposing an integration between hospital architecture and the cultivation of microalgae, from conceptual ideas, where the hospital environment would benefit from a significant reduction in CO₂ and waste, as microalgae for growth would use them. Also, could ensure noise reduction, thermal insulation, hot water generation, production of medicines and production of biofuels using biomass, among other advantages that will have repercussions in environmental health and the environment in general. Being able to replicate by health systems of different countries.

Keywords: Hospital architecture. Sustainable hospitals. Microalgae.

Rio de Janeiro

March 2015

A todos os que de alguma forma buscam a construção de um ambiente humano e equilibrado

*Agradeço a todos os que colaboraram de uma forma ou outra,
em especial a meu orientador Mauro por seu apoio.
Ao professor Donato e Yordanka da Escola de Química.
A Lauren e Paola.
A minha família toda.*

SUMARIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS	ix
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO – I SITUAÇÃO AMBIENTAL DA ARQUITETURA HOSPITALAR. 7	
Conclusões parciais	19
CAPÍTULO – II ARQUITETURA HOSPITALAR EM FUNÇÃO DA SUSTENTABI- LIDADE.....	20
HOSPITAIS SUSTENTAVEIS.....	20
Conclusões parciais	29
CAPÍTULO – III MICROALGAS	30
VANTAGENS	34
CULTIVOS.....	38
FOTOBIORREATORES	41
PROCESSO DE PRODUÇÃO	51
Conclusões parciais	54
CAPÍTULO – IV A ARQUITETURA HOSPITALAR BASEADA NAS MICROAL- GAS	55
A UTILIZAÇÃO DAS MICROALGAS NO NOVO HOSPITAL UNI- VERSITÁRIO CLEMENTINO FRAGA FILHO A PARTIR DOS PRINCIPAIS MODELOS DE FOTOBIORREATORES.	56
VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DAS MICROALGAS NO NOVO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO.....	68
Conclusões parciais	74
CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fonte: Agenda global hospitais verdes e saudáveis (KARLINER, J.; GUENTHER, R., 2011)

Figura 2. Fonte: Szklo et al. Energy Consumption Indicators and CHP Technical Potential in the Brazilian Hospital Sector. 2004

Figura 3. Tradicional colheita de microalgas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 4. Produtos alimentares, bebidas e suplementos nutricionais a base de algas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 5. Usina Moema, da Bunge, no interior de São Paulo, tem capacidade para produção de 100 mil toneladas de óleos a partir de microalgas por ano. Fonte: <http://www.biodieselbr.com>

Figura 6. Indústria de alimentos, farmacêutica e cosmética com matéria-prima das microalgas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 7. (esquerda) Projeto Green Loop e (direita) Ecologies of Bio Diversity para o International Algae Competition Fonte: <http://www.algaecompetition.com>

Figura 8. Primeiro edifício do mundo em ter uma fachada de biorreatores. Fonte: <http://www.iba-hamburg.de>

Figura 9. Primeiro projeto de edifício ecológico construído com fotobiorreatores. Fonte: <http://www.as-architecture.com>

Figura 10. Produção de microalgas em tanques aerados em Kona, Havaí, EUA. Fonte: Muñoz e Guieysse (2006).

Figura 11. Obtenção de microalgas em fotobiorreatores em escala de bancada. Fonte: Xu et al. (2006).

Figura 12. Esquema de fotobiorreator com passagem horizontal em tubos paralelos. Fonte: CHISTI, 2007

Figura 13. Projetos do Concurso internacional de algas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 14. Esquema de configurações de fotobiorreatores de coluna de bolhas e airlift. Fonte: Algae Investment (2008)

Figura 15. Fotobiorreator vertical da Universidade de Alicante, Espanha. Fonte: Universidade de Alicante (2007)

Figura 16. Fotobiorreatores verticais. Fonte: <http://produkcja.ipan.lublin.pl> (Japão)

Figura 17. Fotobiorreatores de mangas no exterior da central elétrica de Redhawk, perto de Phoenix (EUA), propriedade da GreenFuel. Fonte: BOURNE Jr, J.K., 2007

Figura 18. Aplicação dos fotobiorreatores verticais. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 19. Aplicação de fotobiorreatores verticais em rodovias. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 20. Fotobiorreator tubular horizontal. Fonte: BERG-NILSEN, J. (2006)

Figura 21. Fotobiorreatores tubulares. Fonte: <http://chlorelle.wordpress.com> (Estados Unidos)

Figura 22. Aplicação de fotobiorreatores horizontais na fachada de um edifício. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 23. Aplicação de fotobiorreatores tipo serpentinas no estacionamento do projeto Green Loop. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 24. Espaços urbanos utilizando fotobiorreatores tipo serpentinas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 25. Fotobiorreatores planos, sistema construído na Alemanha, e reatores planos de vidro experimentados na Universidade de Negev, Israel. Fonte: Tredici, 1999.

Figura 26. Fotobiorreatores planos. Fonte: <http://biofuels.asu.edu> (Estados Unidos).

Figura 27. Aplicação dos fotobiorreatores tipo janela na arquitetura. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 28. Fotobiorreatores tipo janela funcionando como brise-soleil. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Figura 29. Localização do Hospital Universitário. Fonte: Google Maps

Figura 30. Tipologia horizontal do novo Hospital Universitario

Figura 31. Corredores externos dos pavilhões.

Figura 32. Fotobiorreatores verticais utilizados na fachada.

Figura 33. Elemento paisajístico a partir de fotobiorreatores verticais.

Figura 34. Fotobiorreator vertical com design baseado nas “cebolinhas”.

Figura 35. Cerca perimetral projetada a partir de fotobiorreatores.

Figura 36. Projeto de cubos a partir de fotobiorreatores horizontais.

Figura 37. Mobiliário urbano com proteção solar a partir de fotobiorreatores verticais.

Figura 38. Vista de pavilhões utilizando os fotobiorreatores de janela.

Figura 39. Cobertura ou “passarela” projetada com fotobiorreatores planos.

Figura 40. “Palmeira” conceitual a partir de fotobiorreatores planos.

Figura 41. “Pérgula” desenhada com a mistura de fotobiorreatores planos e horizontais.

Figura 42. Proteção para carros no estacionamento utilizando fotobiorreatores planos.

Figura 43. Proteção solar das fachadas a partir dos fotobiorreator.

Figura 44. Controle da poluição sonora.

Figura 45. Fotobiorreatores se integram na paisagem e ao design do novo hospital.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Demonstrativos de aspectos e impactos gerados pela atividade hospitalar.

Quadro 2. Indicadores de desempenho em hospitais.

Quadro 3. Resultado do consumo dos hospitais brasileiros analisados.

Quadro 4. Produção de biodiesel a partir de óleo de microalgas.

Quadro 5. Diagrama esquemático simplificado da biotecnologia de microalgas.

INTRODUÇÃO

Na atualidade, as cidades estão passando por processo de grande reformulação, onde temáticas como a sustentabilidade e o desenvolvimento tecnológico propondo a “inteligência” das cidades tem ganhado força, já se podem apreciar algumas tentativas pelo mundo. Sem dúvidas o tema da arquitetura sustentável é essencialmente multidisciplinar. Dentro desse universo de proposições, ações e responsabilidades, resulta de vital importância a discussão apresentada sob a ótica do arquiteto, ressaltando o papel do conforto ambiental e da eficiência energética.

Casos recentes de projeto vêm construindo uma nova geração de edifícios no mundo, incluindo exemplos brasileiros, pensados para responder aos desafios ambientais e tecnológicos da sustentabilidade. Nesse momento, são necessárias discussões sobre projeto e tecnologia que promovam revisões dos valores ambientais presentes na idealização, no projeto e na construção da arquitetura. A arquitetura sustentável deve fazer a síntese entre projeto, ambiente e tecnologia, dentro de um determinado contexto ambiental, cultural e socioeconômico, apropriando-se de uma visão de médio e longo prazo, em que, tanto o idealismo como o pragmatismo fossem fatores fundamentais (GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. 2006).

Do ponto de vista da arquitetura os novos ambientes devem possibilitar a personalização dos espaços, reduzir a escala do edifício, integrá-lo com o exterior e com a natureza e valorizar os meios naturais de promoção do conforto ambiental (SANTOS. M.; BURSZTYN, I. 2004). É preciso uma harmonia entre a obra final, o seu processo de construção e o meio ambiente.

Por outra parte, a urbanização intensa e acelerada, as mudanças no estilo de vida e de produção, aumentou da expectativa de vida, o envelhecimento da população, dentre outros, tendem a criar novos problemas de saúde na população e para o meio ambiente (CANALES. C. 2008). Por esse motivo é importante a busca de soluções que aperfeiçoem os ambientes de saúde evitando, na medida do possível, o impacto ambiental, mas, pelo contrário, propiciando a redução das emissões, reaproveitando a água residual e, porque não, contribuindo à produção de energias mais limpas.

O hospital é considerado uma instituição complexa e dinâmica (MIQUELIN, 1992), na qual, o planejamento do espaço físico requer a abordagem de questões voltadas ao conforto, à usabilidade, à acessibilidade e à funcionalidade de

seus usuários, (KASPER, A. et al, 2009). Apesar da complexidade do processo pelo qual os espaços hospitalares são planejados, desenhados, construídos e avaliados, muitos autores relatam que pouco tem sido explorado neste sentido. É uma realidade que “em ambientes hospitalares é fundamental entender a percepção do espaço pelos usuários, pois a arquitetura pode se constituir em um instrumento terapêutico ao contribuir para o bem-estar dos pacientes” (BINS ELY et al, 2006, p.1095).

Nesse contexto, as edificações destinadas à área da saúde devem buscar sua viabilidade, não somente do ponto de vista econômico, mas considerando aspectos de expansibilidade e flexibilidade, observando-se questões voltadas à humanização (MARTINS, 2004).

Mediante os produtos e as tecnologias que utiliza, os recursos que consume, os resíduos que produz e os edifícios que constrói e administra, o setor da saúde constitui uma fonte significativa de contaminação no mundo todo, por este motivo, acaba por agravar as tendências que ameaçam a saúde pública.

A contaminação dos hospitais afeta o meio ambiente assim como os próprios pacientes. O setor hospitalar possui grandes demandas de energia devido a sua constante necessidade de disponibilidade do insumos (24 horas os 7 dias da semana), de equipamento médico, de requisitos especiais na qualidade do ar interior e do controle das enfermidades (VOLTIMUM, 2013).

Idealmente cada hospital deveria dispor de uma equipe de proteção ambiental. Além da preocupação com a redução dos custos, também é preciso focar fundamentalmente na redução do impacto ambiental que gera o hospital, com a redução do consumo de água e de energia e a melhor reciclagem dos resíduos sólidos produzidos pelo hospital. (TNRELACIONES, 2013).

Uma pesquisa realizada em 2009 no Chile, demonstrou que o setor da saúde é responsável por 15% do consumo total de energia do setor público, que corresponde a aproximadamente 240 GWh por ano. Ao analisar experiências similares em hospitais públicos alemães, pode-se observar que ao integrar elementos de eficiência energética em áreas como iluminação, calefação, ar condicionado e aquecimento da água, economiza-se entre 25% e 40% no gasto de energia final. (WALTER L., ET AL. 2009). É evidente que para uma correta gestão energética dos locais dedicados ao setor sanitário das clínicas e hospitais é necessário conhecer os fatores que determinam quais são os elementos mais importantes na hora de atingir a otimização energética, conhecimento que permitirá um

melhor aproveitamento dos recursos e uma maior economia no consumo das instalações.

Os hospitais espanhóis têm uma alta variabilidade de consumos em função do estado das instalações e de sua tipologia, um hospital pode consumir entre 20-60 mil kWh por cama, correspondente a uma média de 20 toneladas de CO₂, o que implicaria entre 180 e 580 euros por mês. Por exemplo consome mais uma cama de hospital do que uma casa, por metro quadrado seria entre 150 KWh e 350 KWh. Aproximadamente o consumo dos hospitais é de 6 mil GWh o que implica em um consumo de 2% do consumo total do país (IPSOM. 2013).

No Brasil, os hospitais utilizam enormes quantidades de energia que representam mais de 10% do total do consumo energético comercial do país (SZKLO, ALEXANDRE. 2004).

Melhorar a eficiência no consumo energético nos hospitais traz numerosas vantagens. Sendo a principal delas a econômica, que pode ser superior a 20% dos gastos totais, outras vantagens da melhoria da eficiência são (IPSOM, 2013):

- Melhores condições e mais conforto para os pacientes e trabalhadores do hospital.
- Cumprimento de normativas em matéria de consumo energético e eficiência.
- Efeito positivo sobre a imagem do hospital através de uma publicidade adequada das melhorias introduzidas e os resultados obtidos, o que a sua vez pode proporcionar benefícios econômicos.
- Conscientização social.
- Benefícios ao meio ambiente, devido a um menor consumo energético e, consequentemente uma menor emissão de gases de efeito estufa.

Outro dos problemas que podem afetar o bem-estar e conforto dos pacientes é a poluição sonora. Realizou-se uma investigação dos níveis sonoros nas imediações dos diversos sanatórios e hospitais de uma cidade da Argentina. Em todos os casos, verificou-se que os níveis eram excedidos em todas as horas do dia. Picos de 90dB são claramente excessivos nas imediações de um hospital, representando um nível sonoro incompatível com as condições de repouso e tranquilidade requeridas por um paciente internado (MIYARA, F. 2010).

Um detalhe importante a levar em conta também é a gestão de resíduos. Uma prioridade importante em muitas áreas urbanas dos países em desenvolvimento

é a melhoria da infraestrutura sanitária básica, como a gestão dos resíduos, os sistemas de tratamento e subministro de água e o manejo das águas residuais. Os hospitais podem desempenhar um papel de liderança na implementação dessas medidas, que não só reduzirão a mortalidade, mas também reportarão benefícios para o funcionamento dos próprios hospitais (KARLINER, J.; GUENTHER, R. 2011).

Existe uma confluência de distintas crises, observa-se uma crescente convergência de soluções que promovem tanto a saúde pública como a sustentabilidade ambiental, destacando assim a direção para um futuro mais verde e saudável (KARLINER, J.; GUENTHER, R. 2011). Entre as principais metas que propõe a arquitetura contemporânea se encontra, a utilização da ciência, a inovação e a tecnologia como meio para responder à exploração sustentável dos ecossistemas. As algas, são um importante recurso ecológico, social e económico, em resposta aos desafios ambientais que enfrentamos atualmente, e o que esperar para o futuro (FRANCO, JOSÉ TOMÁS. 2012).

A produção de microalgas pode ser justificada por apresentar diversas vantagens, dentre as quais podem ser destacadas:

- São consideradas como um sistema biológico muito eficiente de captação ou aproveitamento da energia solar para a produção de componentes orgânicos (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010).
- Muitas espécies crescem mais rapidamente que as plantas terrestres, fato que possibilita maiores rendimentos de biomassa (maior produtividade). (COHEN, Z. 1986) Sendo capaz de dobrar sua biomassa em períodos tão curtos quanto 3,5h (BRENNAN, L. OWENDE, P. 2010)
- As microalgas, ao contrario das outras culturas oleaginosas, podem ser produzidas em qualquer época do ano de forma rápida (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010 e CARIOCA et al. 2009)
- Nutrientes para o cultivo de microalgas (especialmente nitrogênio e fósforo) podem ser obtidos a partir de águas residuais, tendo nestes casos dupla funcionalidade: captura de CO_2 e tratamento de efluentes (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010). As microalgas podem ser utilizadas para o tratamento de efluentes contaminados com NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^- , no qual utilizam esses nutrientes para o crescimento. (MATA, T. M. et al. 2010)
- Em relação à manutenção e melhoria da qualidade do ar, a produção de biomassa de microalgas pode efetuar biofixação de CO_2 de resíduos (1Kg de biomassa seca de algas utilizam cerca de 1,83 Kg de CO_2) (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010); Portanto o CO_2 emitido na queima de biodiesel é reabsorvido pelos

vegetais e microalgas. (MATA, T. M. et al. 2010).

Em relação às desvantagens, a suscetibilidade à contaminação e à adaptação ao meio ambiente são importantes a considerar, mas o aspecto que não pode se deixar de mencionar é a dificuldade para uma produção economicamente viável, o alto custo de produção da biomassa seca e da extração do óleo. Mas esses problemas podem ser resolvidos quando soubermos como aproveitar as vantagens já mencionadas.

A produção comercial de microalgas teve início na década de 60, nessa mesma década, as pesquisas em biotecnologia de microalgas concentravam-se na reciclagem de águas residuais, sua aplicação em programas espaciais de renovação atmosférica e como fonte de alimento (BENEMAN, 1990). Hoje em dia pensa-se no tratamento de águas residuais de inúmeros processos industriais, para a detoxificação biológica e remoção de metais pesados; como bioindicadores, na detecção de nutrientes e substâncias tóxicas (detergentes, efluentes industriais, herbicidas, etc.). Além disso, podem ser usadas na mitigação do efeito estufa, pela assimilação do CO₂, resultante do processo de queima de combustíveis fósseis. E ainda, possibilitam a produção de biocombustíveis como, por exemplo o biodiesel (DERNER. R. B et al. 2006).

A utilização de microalgas é vista como, no mínimo, uma solução parcial para as mudanças climáticas e problemas de energia (SALIH. F. M.; HAASE. R. A. 2012). Por isso seria muito proveitoso integrar uma arquitetura hospitalar com o cultivo de microalgas. O ambiente hospitalar se beneficiaria com a redução do CO₂ e dos resíduos, que seriam utilizados pelas microalgas para seu crescimento. Além de isso, através de uma arquitetura criativa que aproveite as diversas formas de cultivo, poderia se garantir a redução de ruídos, isolamento térmico, geração de água quente e também poderia se produzir biocombustível a partir da biomassa que geraria energia elétrica, contribuindo com uma maior eficiência energética. Sem dúvida, resultaria em um maior conforto dos pacientes, trabalhadores hospitalários e a sociedade em geral.

Levando em conta os fatores explicados anteriormente pode-se definir o seguinte:

Justificativa

Embora o objetivo do setor da saúde seja prevenir e curar as enfermidades, frequentemente acabam gerando uma série de problemas com efeitos significativos na saúde ambiental, através dos recursos naturais e dos produtos que consome,

assim como dos resíduos que geram. Além disso, a maioria das propostas arquitetônicas não contemplam esses problemas. A solução que se proporá neste trabalho, ao integrar uma arquitetura hospitalar com o cultivo de microalgas, trará benefícios tais como: produzir energia passiva, isolamento térmico, redução de ruídos, geração de água quente, redução de CO₂, tratamento de águas residuais geradas, produção de biodiesel, dentre outras vantagens que repercutirão no ambiente de saúde e meio ambiente em geral. Esta proposta constitui um esforço para gerar uma abordagem sustentável e a saúde que possa ser replicado por sistemas de saúde de diversos países.

Problema:

Como criar uma arquitetura hospitalar mais sustentável que beneficie os ambientes de saúde?

Objetivo Geral

Analisar a proposta de uma arquitetura hospitalar vinculada às microalgas que beneficie os ambientes de saúde de uma forma mais sustentável.

Objetivos Específicos:

1. Diagnosticar a arquitetura hospitalar em função de sua situação ambiental.
2. Estudar a sustentabilidade na arquitetura hospitalar.
3. Estudar as microalgas e sua vinculação com a arquitetura.
4. Analisar a proposta da utilização das microalgas na arquitetura hospitalar.

Metodologia

No primeiro e segundo objetivos referentes à fundamentação teórica se realizará um estudo bibliográfico de referências nacionais e internacionais para poder levantar conclusões sobre o tema.

Para o terceiro objetivo referente ao diagnóstico das microalgas vinculadas à arquitetura, levantaremos informação sobre as microalgas e sua utilização na arquitetura.

Para o quarto objetivo faremos uma análise da proposta da vinculação entre as microalgas com a arquitetura hospitalar, tomando como caso de estudo o novo hospital universitário da UFRJ, onde avaliaremos as possíveis vantagens associadas às principais formas de cultivo das microalgas.

CAPÍTULO – I SITUAÇÃO AMBIENTAL DA ARQUITETURA HOSPITALAR

As mudanças ocorridas ao longo do século XX são de diversas ordens e abrangem o perfil demográfico, estilos de vida, modelos de organização e práticas sociais, econômicas e culturais, além daqueles observados no meio ambiente, no clima e na ecologia. A medicina e a saúde estabelecem relações de influência recíproca com todos estes fatores (BITENCOURT, F.; COSTEIRA, E. 2014).

Transformações no processo de cognição, atitudes, representações e práticas médicas tiveram sempre uma correspondência com mudanças na arquitetura do espaço hospitalar (BITENCOURT, F.; COSTEIRA, E. 2014).

As atuais demandas sociais tem ampliado o conceito do hospital para além dos limites do cuidado terapêutico, agregando requisitos do universo das necessidades de qualidade de vida e bem-estar das pessoas. A estrutura e recursos envolvidos no edifício hospitalar e as preocupações de sustentabilidade, o tornam um edifício singular no conjunto de equipamentos presentes na cidade (SANTOS, M., 2014)

Nesse processo evolutivo do edifício hospitalar, há que destacar a importância das alterações na maneira como a sociedade vê o hospital e no que a sociedade espera dele. Além disso, cabe um papel de destaque para o progresso científico nas áreas da biologia e da medicina, bem como para o desenvolvimento tecnológico nesses setores. Tais fatores se associam a uma demanda social crescente pela aplicação de novos conhecimentos médicos ao campo da atenção à saúde. Por fim, cabe salientar também as mudanças naturais nos materiais e métodos construtivos. Todos juntos, influenciando-se simultaneamente, esses fatores podem ser considerados como motores das mudanças nas tipologias arquitetônicas hospitalares que se registraram ao longo da história.

Nas últimas décadas, uma série de ferramentas voltadas à concretização da responsabilidade socioambiental, tais como produção limpa, prevenção à poluição e sustentabilidade, vêm sendo debatidas para o desenvolvimento sustentável.

Toda a atividade pertencente ao setor de serviços, em menor ou maior escala, gera impactos ambientais em seu dia-a-dia, que incluem o consumo de energia e de água, a geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos, poluição do ar, além de alterações nos ecossistemas e ambientes naturais. Muitos desses impactos poderiam ser evitados ou restringidos, caso essas atividades incorporassem medidas para a racionalização dos recursos naturais.

A atividade hospitalar está entre as inúmeras modalidades de serviços que pode desempenhar um papel central na mitigação ou expansão dos impactos socioambientais associados ao setor. Os hospitais, entre todas as atividades de serviços, são um dos principais consumidores de energia elétrica, além de gerarem quantidade significativa de resíduos. Nesse contexto, a ecoeficiência, segundo o World Business Council for Sustainable Development em sua publicação no ano 1992 “Changing Course” onde fala de criar bens e serviços utilizando menos recursos e criando menos lixo e poluição, constitui uma ferramenta essencial para que também as atividades hospitalares possam conciliar maior eficiência econômica e menor impacto ambiental.

De fato, inúmeros estudos têm demonstrado que, tanto no setor industrial como de serviços, estratégias de ecoeficiência têm propiciado reduções significativas nos custos com matéria-prima e energia. E particularmente para as atividades de serviços, que apresentam elevado potencial de gerar impacto ambiental, como no caso dos hospitais.

O modo particular de funcionamento dos hospitais envolve uma gama de atividades que apresenta grande potencial para a geração de impactos ambientais. Essas organizações operam 24 horas por dia, 365 dias no ano, possuem equipamentos diversos para a produção de alimentos, consomem óleo combustível para a geração de energia e demandam também uma variedade de outros recursos comuns em quantidades consideráveis, incluindo borracha, plásticos e produtos do papel. Nesse contexto, os hospitais executam funções muitas vezes semelhantes àquelas encontradas na indústria, tais como lavanderia, transporte, limpeza, alimentação, processamento fotográfico, entre outras. Porém, de forma distinta de outras atividades, seja industrial ou de serviços, os hospitais consomem grande quantidade de produtos médicos descartáveis, que são usados para impedir a transmissão das doenças para seus médicos, pacientes e funcionários.

Resíduos

Com as presentes características, os hospitais, em sua operação, geram, de um lado, uma grande quantidade de resíduo e, de outro, demandam grande quantidade de recursos como energia elétrica e água. Davies e Lowe (ibid.) citam que a geração de resíduos pelo setor é significativa e constante, durante todo ano. Embora, segundo Velez (2004), 85% dos resíduos de um hospital possam ser reciclados (Figura 1), os 15% restantes são constituídos por materiais infectantes e perigosos, demandando cuidados especiais para seu manuseio e destinação. É o caso de seringas utilizadas, anestésico, desinfetantes, reagentes e resíduos

radioativos, entre outros.



Figura 1. Fonte: Agenda global hospitais verdes e saudáveis (KARLINER, J.; GUENTHER, R., 2011)

A Organização Mundial da Saúde publicou uma série de princípios básicos que descrevem a gestão segura e sustentável dos resíduos de serviços de saúde como uma exigência de saúde pública convocando todas as entidades relacionadas a apoiá-la e financiá-la adequadamente (OMS, 2007).

Infelizmente, a gestão dos resíduos de saúde ainda é escassamente financiada e implementada. As propriedades tóxicas e infectantes combinadas dos resíduos dos serviços de saúde representam uma ameaça para a saúde pública e meio ambiente que tem sido subestimada. Uma revisão recente da bibliografia sobre o tema chegou à conclusão que mais da metade da população mundial encontra-se em situação de risco devido aos impactos desses resíduos sobre a saúde (HARHAY, M. et al. 2009).

Diferente do que ocorre com muitos outros resíduos perigosos, atualmente não existe nenhuma convenção internacional que cubra diretamente a gestão dos resíduos de serviços de saúde, de modo que a sua classificação varia de um país para outro.

As águas residuais hospitalares costumam ser excluídas da lista de resíduos de serviços de saúde, mas também merecem atenção. Os efluentes dos estabelecimentos de saúde contêm maior quantidade de patógenos resistentes a medicamentos, maior variedade de substâncias químicas e maior volume de materiais perigosos do que os efluentes domiciliares (STRINGER, R. et al. 2011).

A incineração de resíduos de saúde gera diversos gases e compostos perigosos, entre eles, ácido clorídrico, dioxinas & furanos e metais tóxicos como chumbo, cádmio e mercúrio. A disposição de resíduos sólidos produz emissões de gases de efeito estufa, incluindo o metano, um gás de efeito estufa vinte e uma vezes mais potente do que o dióxido de carbono (KARLINER, J.; GUENTHER, R., 2011).

Para a maior parte dos resíduos considerados perigosos, a principal alternativa tem sido a incineração, resultando em emissões atmosféricas oriundas dos equipamentos de queima. Dados de EWG (1997, apud DAVIES e LOWE, 1999), os EUA possuem 2.400 incineradores nos próprios hospitais, sendo que 2/3 (1.600) não empregam nenhum tipo de dispositivo de controle de poluição.

Energia

Os dados disponíveis no Guia de Ecoeficiência para Hospitais também indicam o potencial impacto ambiental dessa atividade com relação ao consumo de energia e água. Velez (2004) aponta que o consumo de energia é bastante diversificado, incluindo atividades de iluminação, ar condicionado, caldeiras e cozinhas, o que faz com que esse recurso, na ausência de qualquer plano racionalização, possa representar de 15 a 30% do faturamento da organização.

Diversos estudos e comparativos internacionais demonstram que os hospitais estão entre os edifícios que mais consomem energia.

Por sua vez, Davies et al. (1999), relatam que o elevado consumo de energia dos hospitais norte-americanos contribui para que essas unidades apresentem o segundo maior consumo entre todos os prédios comerciais, sendo que os indicadores disponíveis revelam que o consumo de energia elétrica média é de 240 kWh/m²/ano.

Dois estudos canadenses apontam os hospitais como os edifícios do setor comercial ou institucional com maior consumo de energia por unidade de superfície construída, com um consumo de 2,6GJ/m² (HANCOCK, 2001) (NATURAL RESOURCES CANADA'S OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY, 2005).

Outro estudo feito na Grécia, situa aos hospitais como os segundos consumidores de energia térmica por m², atrás dos hotéis, mas à frente de outras tipologias como escolas e edifícios comerciais e de escritórios (GAGLIA, 2007).

Na Alemanha, é estimado um consumo energético por leito de hospital equivalente ao triplo de uma casa unifamiliar de construção moderna (WALTER L., ET AL. 2009).

Em Espanha os hospitais consomem 11% da energia demandada por todo o conjunto de edifícios destinados a escritórios, comércio, escolas, hotéis e restaurantes, instalações de ócio entre outros edifícios considerados comerciais. No Reino Unido essa porcentagem é de 6% (IPSOM. 2013).

É evidente que para determinar o consumo destes espaços é necessário ter em conta uma série de indicadores e fatores que influenciam em cada edifício, como são:

- O tamanho do hospital, tanto em número de leitos como em superfície.
- As funções realizadas no edifício, segundo se trate de um hospital básico, multifuncional, etc.
- O design arquitetônico do edifício.
- Sua localização, que vai determinar as condições climáticas, sociais, etc.
- Os serviços complementares que tem o hospital como lavanderia, cozinha, zona de esterilização, etc.
- Os recursos energéticos dos que dispõe, tanto próprios como exteriores, gás, eletricidade, gásóleo, etc.

A área geográfica onde se localiza o hospital é determinante em suas necessidades energéticas, para se conseguir um conforto interior. O estudo *Saving energy with Energy Efficiency in Hospitals*, realizado em 1997, mostra, diferenças no consumo de hospitais, conforme o país onde está localizado: Por exemplo, o consumo de energia elétrica por leito na Itália corresponde a 5,1MW/h e 28,1MW/h na Austrália. Na Suíça, este consumo por metro quadrado se encontrava acima dos 61KW/h e no Canada acima dos 119KW/h. No entanto, estas disparidades se explicam não só pelas diferenças climáticas, mas também pelo tipo de construção, seu design, o preço da energia, etc. (ZAPICO, 2010)

Água

O uso de água também é diversificado, incluindo instalações sanitárias, tanto para pacientes como para visitantes, lavanderia, limpeza de instalações, restaurantes e jardins. Os indicadores disponíveis mostram que o consumo total é muito variável, dependendo do grau de desenvolvimento do país. Na Dinamarca, por exemplo, o consumo de água fria por cama/dia chega a registrar quase 600 litros, enquanto na Áustria esse valor alcança 200 l/c/d. Quando se compara o consumo de água quente em hospitais, nos Estados Unidos e países do leste Europeu, a diferença é de 340 para 110 l/c/d (VELEZ, 2004).

Quando há ampla disponibilidade de água, os hospitais costumam ser vorazes consumidores em vários aspectos de suas operações. Nos Estados Unidos, por exemplo, até 70% de consumo hospitalar de água destina-se a processos que vão dos relacionados com equipamentos mecânicos até com o transporte do esgoto; utilizam-se cerca de 30% para beber, preparar alimentos, tomar banho e lavar as mãos (REED, C. 2005). Em geral, existem poucas referências globais

confiáveis em relação ao consumo de água do setor saúde.

Geralmente, os estabelecimentos de saúde podem controlar a utilização dos recursos hídricos medindo cuidadosamente o consumo, instalando dispositivos e tecnologias que permitam o uso eficiente da água, cultivando plantações resistentes às secas e assegurando que os vazamentos sejam rapidamente reparados.

Com o objetivo de alcançar um impacto maior no consumo total, hospitais de muitos países estão coletando água de chuva. Outros reciclam a água para determinados usos. Na Austrália, por exemplo, os hospitais estão começando a implementar sistemas de tratamento de águas negras in situ visando a reciclagem da água do esgoto (KARLINER, J.; GUENTHER, R., 2011).

Caso brasileiro

Se a preocupação em construir indicadores de desempenho ambiental já está presente em muitos países, no caso brasileiro há ainda um longo caminho para se quantificar corretamente o impacto ambiental associado à atividade hospitalar. De fato, até o início de 1990, não havia nenhuma preocupação maior com os resíduos hospitalares, quando comparados aos resíduos em geral, ainda que seu potencial de gerar danos socioambientais fosse bem mais elevado. Eram acondicionados sem muitos cuidados, em geral em sacos impermeáveis, mas também em outros invólucros, sendo que o local de armazenamento temporário era a céu aberto, sujeitos as intempéries, e animais, que, muitas vezes, espalhavam resíduos pelas áreas externas dos hospitais (DIAS, 2004).

Tal preocupação com o manuseio diferenciado dos resíduos hospitalares, segundo Dias (ibid.), só surgiu a partir do momento em que o paciente passou a ser visto como consumidor e a exigir um tratamento diferenciado, passando a participar ativamente de todas as ações que eram realizadas para a recuperação de sua saúde. Bem como a análise dos profissionais da saúde em relação aos resíduos e sua contribuição na cadeia de transmissão de doenças. Os materiais perfuro-cortantes adquiriram enorme importância nesse contexto, exigindo medidas cautelosas em seu descarte.

Atualmente, a legislação brasileira, por meio de resolução da Comissão Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (283/2001), exige que qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal possua um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Saúde (RSS), do mesmo modo que a Resolução 33/2003 da ANVISA.

Segundo ANVISA (2009), os serviços de saúde são responsáveis pelos seus resíduos, desde a sua geração até a sua disposição final, devendo gerenciá-los de acordo com o Plano de Gerenciamento de Resíduo de Serviço de Saúde Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Saúde elaborado e implantado no estabelecimento.

Os resíduos de serviços de saúde são classificados em função de suas características e consequentes riscos que podem acarretar ao meio ambiente e à saúde. É importante o trabalhador da unidade de processamento conhecer essa classificação, a fim de saber quais as condutas que deve tomar em relação à manipulação desses resíduos, caso sejam encaminhados junto com a roupa suja. De acordo com a RDC/Anvisa 306/04, os Resíduos Sólidos da Saúde são classificados em cinco grupos:

Grupo A - resíduos biológicos – apresentam risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente devido à possível presença de agentes biológicos capazes de transmitir infecção.

Grupo B - resíduos químicos – apresentam risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente devido a suas características de toxicidade (incluindo a mutagenicidade e genotoxicidade), corrosividade, inflamabilidade e reatividade.

Grupo C – rejeito radioativo – apresenta risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente devido à presença de radioatividade.

Grupo D – resíduo comum – resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.

Grupo E - resíduos perfurocortantes – todo material capaz de perfurar ou escariificar, tais como lâminas de barbear, agulhas, ampolas de vidro, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, espátulas e outros similares.

No entanto, segundo Dias (ibid.), há um conflito entre as resoluções CONAMA e ANVISA, embora seja inegável o mérito de estabelecer as primeiras diretrizes sobre o manejo dos Resíduos Sólidos da Saúde e de provocar discussões a respeito. Ainda assim, existe falta de consenso entre as duas resoluções demonstrando que não há uma solução única para o problema. Para o cumprimento do que estabelece a legislação, os hospitais, normalmente, delegam essa atividade de gerenciamento para o serviço de higiene e limpeza, fato esse passível de

questionamento, tendo em vista a necessidade do envolvimento de todos os colaboradores. Souza (2003, apud Dias, 2004), preconiza que os profissionais que atuam nesse processo não têm uma abordagem ambiental na sua formação, sendo esta técnica, específica, e não proporciona o preparo necessário que possibilite as condições que garantam a minimização dos riscos ambientais internos e externos.

Com relação ao gerenciamento de água, tanto no que se refere ao consumo desse recurso como o tratamento dos efluentes gerados, poucas são as iniciativas voltadas à implementação de ações para a utilização racional da água e tratamento adequado antes de seu descarte. Nesse contexto, com base nas informações obtidas junto à bibliografia existente sobre o assunto, foi construído um quadro-resumo contendo alguns exemplos de setores e atividades, seus principais aspectos e impacto dos hospitais. Cabe ainda salientar que os setores comuns a outras atividades econômicas, tais como recepção, estacionamento, área verde, restaurante e cozinha, administração, loja de conveniência, manutenção, lavanderia, utilidades, sistema de incêndio, entre outros, não foram alvo de estudo no Quadro 1 abaixo.

SETOR/ÁREA	ATIVIDADES	ASPECTOS	IMPACTOS
Hospital geral (ambulatório), Emergência, Laboratório, Diagnóstico por imagem, Hemoterapia, Centro cirúrgico geral e obstétrico, Esterilização e limpeza, Enfermagem, Quartos e apartamentos de enfermagem, UTI geral e semi-intensiva.	Atendimento a pacientes com problemas de saúde e situações emergenciais, internações, exames especializados.	• Medicamentos diversos controlados e não controlados. • Resíduos infectantes de materiais descartáveis, curativos, de limpeza, EPI's contaminados, seringas agulhas, fezes e urina, embalagens de sangue, plasma, plaquetas, anestésicos, antissépticos, digitálicos, soro, anticonvulsionantes. • Lâmpadas queimadas. • Filmes de RX. • Resíduos diversos não infectantes (papel, papelão, plásticos, metais, ferrosos e não ferrosos, madeira, tecidos, embalagens, materiais de escritório, alimentos, entre outros). • Consumo de energia elétrica. • Consumo de água. • Geração de efluentes.	• Tratamento e posterior disposição em aterro sanitário/incineração. • Tratamento/reciclagem. • Ocupação de aterro sanitário. • Uso de Recursos Naturais Renováveis e não Renováveis. • Alteração na qualidade da água. • Alteração da qualidade do ar.

Quadro 1. Demonstrativos de fatores e impactos gerados pela atividade hospitalar. Fonte: Adaptado com base em DIAS, 2002.

A partir dos dados apresentados, identifica-se a necessidade de aprimorar ações de gestão ambiental nas organizações. Importa destacar que algumas iniciativas em curso, desenvolvidas em alguns hospitais, indicam a potencialidade da aplicação da ecoeficiência nessas organizações. Induzidos por uma legislação mais rigorosa e por um aumento de custos de operação com alguns recursos como água e energia, alguns hospitais estão implementando ações que estão conseguindo conciliar benefícios econômicos com melhoria do desempenho ambiental.

Mas ainda assim, quando os dados de consumo dos hospitais nacionais são comparados com a referência que existe a nível internacional, pode-se observar que ainda é preciso continuar mudando e desenvolvendo as ações com relação ao impacto ambiental dos hospitais.

Para a medida de comparação da avaliação do desempenho ambiental dos hos-

pitais foram utilizados os indicadores propostos pelo Guía Sectorial de Producción Más Limpia: Hospitales, Clínicas y Centros de Salud (MEDELLIN, 2001), em função de carência de estudos no país sobre performance ambiental em hospitais. Como resultado, definiram-se os seguintes indicadores: resíduos sólidos (kg/leito/dia); resíduos sólidos infectantes (Kg/leito/dia); consumo total de água quente e fria (m³/leito/dia); e consumo de energia elétrica (KWh/leito/dia). O quadro abaixo (Quadro 2) mostra os resultados alcançados dos indicadores selecionados em diferentes países e regiões:

Indicador	Valor típico	País
Resíduos sólidos total (Kg/leito/dia)	4,8 0,14 – 3,5 8,46 1,0 – 4,5	Austrália Oriente, Ásia e África EEUU América Latina
Resíduos sólidos perigosos (Kg/leito/dia)	1,5 – 2 1,1 0,01 – 0,2 0,25 – 1,13	França, Bélgica, UK EEUU Meio Oriente, Ásia e África América Latina
Consumo total de água (m ³ /leito/dia)	0,2	Europa Oriental
Consumo de energia elétrica (KWh/leito/dia)	6,6 máximo	Áustria

Quadro 2. Indicadores de desempenho em hospitais. Fonte: Guía Sectorial de Producción más limpia: Hospitales, Clínicas y Centros de Salud (2001).

Como referência para a análise do caso brasileiro e devido à escassa bibliografia referente aos indicadores de consumo dos hospitais, foram escolhidos os resultados obtidos pela pesquisa feita por Artur Ferreira de Toledo e Jacques Demajorovic (2006) de três hospitais da Região Metropolitana de São Paulo. Estas três organizações apresentam diferentes realidades, portanto, distintas soluções para o tratamento da sustentabilidade. Mas ainda assim apresentam as mesmas características e similaridade de atividades, considerando-se hospitais gerais. Dos três hospitais, apenas os dois particulares, estão capacitados a oferecer aos seus pacientes serviços de hotelaria hospitalar. Já o Hospital público não se enquadra nessa classificação por não oferecer os mesmos serviços. No entanto, tem uma característica distinta das outras organizações por ser hospital/escola.

Os dados mencionados no quadro a seguir (Quadro 3) resumem os resultados obtidos pela pesquisa acima mencionada.

Hospitais	Energia elétrica (KWh/leito/dia) Media anual	Água (m ³ /leito/dia) Media anual	Resíduos totais (Kg/leito/dia) Media anual	Resíduos infectantes (Kg/leito/dia) Media anual
A	35,83	0,5	5,5	1,0
B	21,86	0,4	6,5	2,5
C	16,80	0,85	64,07	50,32

Quadro 3. Resultado do consumo dos hospitais brasileiros analisados.

Fonte. TOLEDO, A.; DEMAJOROVIC, J., 2006

Os dados revelam valores diferenciados de performance em relação ao item **consumo de energia**, esta significativa diferença entre os indicadores explica-se em função dos aspectos de hotelaria hospitalar que apresentam os hospitais particulares A e B, já que na medida em que aumenta a oferta de conforto e de atividades de serviços diferenciadas de exames, o consumo de energia aumenta.

Com relação aos indicadores internacionais definidos pelo Guia Sectorial de Producción más limpia: Hospitales, Clínicas y Centros de Salud, considerando o valor típico estabelecido pelo Quadro 2 de 6,6 Kw/h/leito/dia, os três casos estudados demonstram baixa performance, no consumo de energia. Apresentando uma média de consumo quase quatro vezes maior que o estabelecido no Guia.

Este elevado consumo de energia, que representa a média de consumo do setor da saúde no Brasil, vai ser o responsável por 10% do total do consumo de energia comercial do país (Figura 2) segundo Szklo (2004).



Figura 2. Fonte: Szklo et al. Energy Consumption Indicators and CHP Technical Potential in the Brazilian Hospital Sector. 2004

Já no que diz respeito ao **consumo de água** os dados mostram indicadores de performance próximos aos dos hospitais privados, destacando-se somente o hospital público que, devido ao serviço de lavanderia dentro de suas instalações, alcançou um consumo de 0,85 m³/leito/dia.

Quanto à comparação destes indicadores com os dados internacionais disponíveis, percebe-se que o desempenho das três organizações é bastante baixo, sendo de 0,2 m³/leito/dia o estabelecido pelo Guia. O que representa que o valor registrado como melhor desempenho o do hospital B com 0,4 m³/leito/dia, ou seja, o dobro do valor estabelecido como típico, e o triplo da média dos resultados dos três hospitais analisados.

Os indicadores relacionados à **geração de resíduos totais** revelam cifras bem diferenciadas. No caso dos dois hospitais privados os parâmetros estão entre o menor e o maior valor indicado no Guia Setorial. Já no caso do hospital público a geração de resíduos totais é de aproximadamente dez vezes mais resíduo por leito/dia do que a média dos privados.

Os resultados da pesquisa dos três casos estudados apresentam os seguintes valores: o hospital A gera resíduos na ordem de 5,5 kg/leito/dia; o hospital B, 6,5 kg/leito/dia; e o hospital C, 64,07 kg/leito/dia. Portanto, os resultados apresentados pelos hospitais privados estão acima dos menores valores típicos estabelecidos pelo Guia, porém abaixo do maior valor. Quanto ao hospital público, o valor é mais de 60 vezes maior do que o menor valor e sete vezes maior do que o maior valor apresentado como indicador típico.

Essa significativa diferença entre os indicadores pode ser explicada segundo a pesquisa, em função do controle mais rigoroso e pleno que a atividade privada deve ter, em função dos custos oriundos para a destinação adequada e para o cumprimento da legislação.

Com relação aos **resíduos infectantes** gerados pelos três hospitais, a situação não é diferente aos resíduos totais. No caso dos hospitais privados devido ao controle mais rigoroso a que estão sujeitos e aos custos para cumprir a legislação, os indicadores de resíduos infectantes apresentam-se 50 vezes menor que os do hospital público.

Os valores típicos estabelecidos pelo Guia Setorial estão entre 0,01 Kg/leito/dia e 2 Kg/leito/dia, sendo que o hospital A apresenta resultados satisfatórios, com uma geração de resíduos infectantes de 1,0Kg/leito/dia. O caso do hospital B com

uma geração de 2,5 Kg/leito/dia, também pode ser comparado com os valores mais altos do Guia, porém, o hospital público com 50,32Kg/leito/dia, possui um valor 25 vezes maior do que o maior resultado estabelecido pelo Guia.

A partir dos dados apresentados, percebe-se que os desempenhos dos hospitais estudados nos indicadores avaliados apresentam uma baixa performance, como no caso da energia elétrica e da água. Já no que se refere aos resíduos totais e infectantes, o desempenho é mais próximo aos dados internacionais. Ainda assim, a pesquisa revelou que, de forma geral, estratégias voltadas à sustentabilidade estão ausentes nos modelos de gestão dos hospitais.

CONCLUSÕES PARCIAIS

As atuais demandas sociais têm ampliado o conceito do hospital para além dos limites do cuidado terapêutico, agregando requisitos do universo das necessidades de qualidade de vida e bem-estar das pessoas e preocupações de sustentabilidade no edifício hospitalar.

Os hospitais entre todas as atividades de serviços, são um dos principais consumidores de energia, além de gerarem quantidade significativa de resíduos. Embora 85% dos resíduos do hospital possam ser reciclados, infelizmente, a gestão dos resíduos de saúde ainda é escassamente implementada.

Com relação ao consumo da água, os hospitais são vorazes em vários aspectos de suas operações. Embora em muitos países já se aproveite a água reciclada para diferentes usos.

No Brasil há ainda um longo caminho para se quantificar corretamente o impacto ambiental associado à atividade hospitalar. Apesar do inegável mérito de estabelecer as primeiras diretrizes sobre o manejo dos resíduos, ainda há falta de consenso para dar uma única solução.

No que diz respeito ao gerenciamento da água poucas são as iniciativas voltadas à implementação de ações para sua utilização racional e tratamento adequado antes de seu descarte.

A partir dos dados apresentados, identifica-se a necessidade de aprimorar ações de gestão ambiental nas organizações hospitalares, já que o consumo nacional em relação ao internacional demonstra que ainda é preciso continuar mudando e desenvolvendo ações e estratégias com relação ao impacto ambiental.

CAPITULO – II ARQUITETURA HOSPITALAR EM FUNÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

Incorporar o olhar da sustentabilidade ao projeto dos serviços de saúde é uma decisão compulsória face ao conhecimento científico e a manifesta relação entre saúde e meio. A postura sustentável estabelece uma conexão ainda mais estreita entre o homem e a natureza, ligação comprovadamente importante na promoção de saúde e na prevenção de doenças. A Sociedade Americana de Engenharia em Saúde (American Society of Healthcare Engineering | ASHE) considera que as iniciativas a favor dos green buildings auxiliam a proteger a saúde em três níveis: a saúde imediata dos ocupantes dos edifícios, a saúde da comunidade nos quais estão inseridos e a saúde da comunidade global e seus recursos naturais.

Guenther (2011) destaca que, embora o pensamento atual que conduz os green buildings e o green design seja direcionado a causar “menos mal”, conforme a performance das edificações evolui é possível chegar ao ponto zero, onde os edifícios causarão “nenhum mal” e, a partir deste estágio, inicia-se a geração de recursos e os regenerative buildings passam a “curar”. O regenerative design busca o saldo positivo, no qual as edificações trazem benefícios e passam a ser consideradas “curativas”. Para Guenther, a mudança de um ambiente construído que degrada o ambiente para um que restaura e regenera é “a perfeita metáfora para o setor da saúde” (GUENTHER, R., 2011) (BRAGA, P., 2013).

HOSPITAIS SUSTENTAVEIS

Não existe um padrão mundial que defina o que é ou o que deve ser um “hospital verde e saudável”. Mas, em essência, ele pode ser definido da seguinte maneira: Um hospital verde e saudável é aquele que promove a saúde pública reduzindo continuamente seus impactos ambientais e eliminando, em última instância, sua contribuição para a carga de doenças. Um hospital verde e saudável reconhece a relação entre a saúde humana e o meio ambiente e demonstra esse entendimento por meio de sua governança, estratégia e operações. Ele conecta necessidades locais com suas ações ambientais e pratica prevenção primária envolvendo-se ativamente nos esforços da comunidade para promover a saúde ambiental, a equidade em saúde e uma economia verde (KARLINER, J.; GUENTHER, R., 2011).

Embora não haja um modelo único de hospital verde e saudável, muitos hospitais e sistemas de saúde em todo o mundo estão tomando medidas para reduzir sua pegada ambiental, contribuir para melhorar a saúde pública e economizar dinheiro, tudo isso ao mesmo tempo. Por exemplo:

- O programa de hospitais VERDES e LIMPOS da Tailândia, administrado pelo Departamento de Promoção da Saúde, fixa uma série de parâmetros de referência para centenas de estabelecimentos de saúde, abordando, entre outros aspectos, a forma como usam energia, o consumo de substâncias químicas, o uso dos alimentos, a geração de resíduos e outros (GREEN and CLEAN Hospital, 2011).
- Recentemente, o Ministério do Meio Ambiente da Indonésia incorporou os hospitais ao seu programa de adequação denominado PROPER, um sistema de classificação do desempenho ambiental introduzido pelo mesmo ministério na década de 90 para melhorar o desempenho ambiental da indústria (KARLINER, J.; GUENTHER, R., 2011).
- O Serviço Nacional de Saúde da Inglaterra criou um “Roteiro” para tornar seus hospitais mais ecológicos. (Route Map for Sustainable Health, 2011).
- A Rede de Hospitais Promotores da Saúde, originada na Europa com apoio da Organização Mundial da Saúde (OMS), está elaborando um conjunto de critérios de sustentabilidade.
- Nos Estados Unidos, a ONG Practice Greenhealth conta com mais de 1.000 hospitais membros que estão trabalhando para diminuir sua pegada ambiental.
- A OMS está promovendo uma iniciativa chamada “A Saúde na Economia Verde”, que inclui o foco na redução da pegada de carbono no setor saúde (Ver em http://www.who.int/hia/green_economy/en/)
- Várias corporações globais estão competindo para construir e operar “hospitais verdes” em todo o mundo.
- Iniciativas e conferências promovendo o desempenho ambiental do setor saúde estão surgindo em países tão distintos como Argentina, Brasil, China, Índia, Filipinas, África do Sul e Suécia – para mencionar alguns exemplos (KARLINER, J.; GUENTHER, R., 2011).

Ao mesmo tempo, sete sistemas de saúde líderes nos Estados Unidos, que abrangem mais de 370 hospitais, estão trabalhando junto ao Saúde Sem Dano, Practice Greenhealth e Center for Health Design, com a finalidade de lançar uma Iniciativa de Hospitais Saudáveis. Esse esforço visa assegurar o compromisso das lideranças de hospitais e sistemas de saúde dos Estados Unidos com

medidas específicas que promovam sustentabilidade e saúde ambiental com o objetivo de planejar o caminho em direção a um sistema de saúde mais sadio, sustentável e econômico. (Ver em www.healthierhospitals.org).

Os edifícios sustentáveis são uma opção para contribuir à prevenção e mitigação dos danos ao meio ambiente assim como à restauração do mesmo. Um hospital eco eficiente satisfaz, de forma equilibrada, as necessidades do usuário e o meio ambiente, além de consumir menos recursos e reduzir a contaminação e resíduos gerados.

As estratégias de gestão ambiental são voluntárias e aplicam-se isoladamente em função do centro, ou de forma protocolizada e coletiva. Entre os acordos mundiais temos: a Conferência de Estocolmo sobre o meio ambiente humano, a Convenção de Genebra sobre a Contaminação Atmosférica, o Protocolo de Helsinki sobre a Qualidade do Ar, a Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento, a Conferência de Quioto sobre o aquecimento Global, a Conferência da Haia sobre mudanças climáticas, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio + 20), entre outros.

Considerar que um sistema é sustentável envolve três dimensões fundamentais; sustentabilidade ecológica, social e econômica (MAC KAY, N. 2004). Quando se projetam, constroem, redesenham e remodelam os hospitais com uma abordagem sustentável pode parecer que a medida não é rentável; porém, os benefícios além da geração de impacto ambiental positivo, também atingem o plano social e econômico.

Foi realizada uma pesquisa documental para definir os conceitos relativos à sustentabilidade, a respeito de como os sistemas, processos e materiais adequados, resultam em um hospital sustentável. A partir daí, chegou-se a ideia de que um Hospital Sustentável tem o objetivo de atender, diagnosticar e dar tratamento aos pacientes mediante o uso de práticas renováveis e autossuficientes. Ou seja, criar um hospital saudável, viável economicamente e sensível às necessidades ambientais e sociais da comunidade (EDUARDS, B.; HYETT, P. 2004).

O princípio básico para utilizar os recursos naturais de maneira sustentável: é considerar que seus limites sugerem três regras em relação com os ritmos de desenvolvimento:

1. Nenhum recurso renovável deve ser utilizado a um ritmo superior ao de sua

geração.

2. Nenhum contaminante deve ser produzido a um ritmo superior a sua possibilidade de ser reciclado, neutralizado ou absorvido pelo meio ambiente.

3. Nenhum recurso não renovável deverá ser explorado em uma velocidade maior que a necessária para substituí-lo por um recurso renovável utilizado de maneira sustentável (BARTLETT, A.A., 1999).

Reduzir a geração de contaminantes nos hospitais requer a implementação de procedimentos, produtos, materiais e sistemas que permitam reuso, reciclagem e uso eficiente dos recursos. As medidas que se podem tomar são:

1. Reciclagem do lixo
2. Gestão sustentável dos resíduos hospitalares
3. Uso de energias renováveis para a iluminação
4. Uso de energias renováveis para o aquecimento e bombeamento da água
5. Coleta e reuso da água de chuva
6. Reuso da água (tratamento de águas residuais, águas cinzas e águas pretas)
7. Aditamentos e materiais para a otimização dos recursos
8. Controle de emissões atmosféricas
9. Arquitetura sustentável

Cada uma delas permite o aproveitamento dos recursos em diferentes setores do hospital e contribuem com a redução de resíduos, emissões e contaminação que este gera. Os sistemas e procedimentos que se implementam devem estar de acordo às capacidades, necessidades, instalações e a ubiquação do hospital. As medidas anteriormente mencionadas consistem em:

Reciclagem do lixo

Para que se leve a cabo um processo adequado da reciclagem é importante a classificação do lixo, já que, quanto mais específica a classificação, mais fácil e rentável é o processo da reciclagem. Uma opção para classificar o lixo pode ser a seguinte:

- Infecciosos ou patogênicos
- Orgânicos
 - Resíduos de cozinha
 - Óleos
- Inorgânicos

- Papel
- Alumínio
- Vidro
- Metal
- PET (Poli Etileno Tereftalato) o Plástico
- Resíduos químicos perigosos (tóxicos, corrosivos, reativos, inflamáveis, etc.)
- Materiais radioativos (HIGA, J. 2000)

Gestão sustentável dos resíduos hospitalares

Minimizar o volume dos resíduos gerados pelo hospital exige, além da reciclagem e reuso, eliminar ou substituir o uso dos materiais tóxicos e o investimento em produtos de maior duração e menor quantidade de embalagem (SHANER, H.; MCRAEPP, G. 2002).

Uso de energias renováveis para a iluminação

Para a iluminação do hospital deve-se, principalmente, procurar que o edifício tenha uma arquitetura que aproveite a maior quantidade de luz solar; no entanto, o hospital funciona 24 horas, sendo necessário o abastecimento de luz artificial, para o qual se pode utilizar painéis fotovoltaicos nos telhados e/ou janelas. No caso da instalação dos painéis nas janelas, obtém-se o dobro dos benefícios, além do abastecimento de luz artificial do hospital evitam que a luz do sol entre diretamente nas habitações. Alguns dos sistemas permitem que os painéis das janelas girem de acordo com o movimento do sol para aproveitar ao máximo os recursos. Também se pode utilizar energia proveniente de parques eólicos (PÉREZ, T.I. et al. 2012).

Uso de energias renováveis para o aquecimento e bombeamento da água

O aquecimento e bombeamento da água são processos que requerem de um considerável consumo de gás e energia elétrica, os quais podem ser reduzidos com o uso de painéis térmicos, painéis fotovoltaicos, sistemas de bombeamento e aquecimento da água por meio da luz solar e bombeamento através de energia eólica.

Os painéis térmicos funcionam aquecendo a água com energia solar, ao implementar este tipo de painéis pode-se reduzir o consumo de gás ou diesel de 70% a 100%, dependendo das demandas do hospital.

Os painéis fotovoltaicos podem fornecer a energia elétrica necessária para ativar a bomba de água.

O sistema de aquecimento da água utilizando a luz solar substitui o uso da bomba, já que aproveita os efeitos do sol para subir a ela e também para aquece-la.

Para o bombeamento da água também é possível utilizar a energia eólica, seja para gerar energia para a bomba ou para bombear com um sistema similar aos moinhos (ENCISO, J. MECKE, M. -).

Coleta e aproveitamento da água de chuva

A água de chuva é um recurso que além de ser desaproveitado, acaba por se juntar à água contaminada do esgoto.

Esta água chega ao hospital sem custo algum e pode ser coletada, tratada e usada para a limpeza do hospital e o consumo nos serviços sanitários.

Reuso da água (Tratamento de águas residuais, água cinzas e águas negras)

As águas cinzas resultantes da limpeza geral podem ser tratadas e reutilizadas para outros fins, por exemplo; a água na limpeza geral (águas cinzas) pode ser tratada para reuso nos vasos sanitários, outra aplicação, é sua utilização para fazer recircular a água do sistema de refrigeração para esterilizadores.

A água que não pode ser reutilizada (águas negras) pode ser tratada através de filtros, sistemas mecânicos de limpeza (MARIÑELARENA, A. 2006) e com processos que utilizam plantas aquáticas (macrófitas) (RAMÍREZ, E. et al) que localizados junto ao hospital, podem absorver os resíduos orgânicos e metais pesados (chumbo, mercúrio e cádmio) da água, eliminando possíveis contaminantes nocivos para o meio ambiente. Depois de limpa a água pode ser utilizada para a irrigação ou liberação diretamente no meio ambiente sem consequências adversas.

Aditamentos e materiais para a otimização dos recursos

Existem aditamentos e materiais que permitem o maior aproveitamento da água, sendo estes:

- Torneiras com arejador e controle de fluxo nas regadeiras, pias e lava pratos.
- Aditamentos que permitam minimizar o gasto de água no vaso sanitário.
- Uso de sabão orgânico para a limpeza que facilitem e garantam o reuso e liberação da água no meio ambiente sem consequências negativas.

- As tintas usadas nos hospitais devem ser cuidadosamente selecionadas devido à base de óleo e solventes das tintas mais comuns encontradas no mercado (ESCALÓN, E. 2005). Uma melhor opção são as tintas fabricadas a base de óleos vegetais, resinas naturais, caseína, cítricos ou silicatos, que, por sua vez utilizam pigmentos a base de terra, óxidos de metais e diversos produtos de origem mineral ou vegetal. As tintas ecológicas, por sua composição têm a vantagem de serem mais resistentes e apresentarem uma maior durabilidade, o que compensa seu custo mais elevado em relação às tintas comun.

Controle de emissões atmosféricas

O controle de emissões atmosféricas tem por objetivo mitigar e/ou eliminar as fontes de emissões como: gases, material particulado, vapores, compostos orgânicos voláteis, odores, resíduos de laboratórios, esterilizadores, caldeiras, serviços do hospital, etc.

O hospital deve utilizar um sistema adequado para o controle de emissões (Protocolo de Quioto), entre os sistemas que pode selecionar encontram-se: precipitadores eletrostáticos, filtros de mangas ou de tecidos, lavador Venturi, ciclones, câmeras de sedimentação, etc. (MINAMBIENTE, 2010).

Além disso, deve-se ter em conta que ao diminuir o consumo de fontes de energias de combustíveis fósseis, para aquecer a água ou gerar energia para o hospital, contribui-se com a redução de emissões contaminantes.

Arquitetura sustentável

O tema da sustentabilidade tem sido uma abordagem mais frequente nos projetos de 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 à formulação de propostas de menor impacto ambiental (GONÇALVES, J.; DUARTE D. 2006).

A arquitetura sustentável procura aproveitar os recursos naturais para minimizar o impacto ambiental das construções sobre o ambiente natural e seus habitantes, toma em conta o clima e as condições do entorno, para ajudar a conseguir o conforto térmico interior mediante a adequação do design, a geometria, a orientação e a construção do edifício adaptado às condições climáticas de seu entorno. É uma arquitetura adaptada ao meio ambiente, ciente do impacto que provoca na natureza, que procura minimizar o consumo energético e, com ele, a

contaminação ambiental (PÉREZ, T.I. 2012).

Segundo Corbella e Yannas (2003), a arquitetura sustentável 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 a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima local, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para chegar a um mundo menos poluído para as próximas gerações.

Nesse contexto, projetos recentes vêm construindo uma nova geração de edifícios no mundo, incluindo exemplos brasileiros, pensados para responder aos desafios ambientais e tecnológicos da sustentabilidade. Nesse momento, são necessárias discussões sobre projeto e tecnologia que promovam revisões dos valores ambientais presentes na idealização, no projeto e na construção da arquitetura. A arquitetura sustentável deve fazer a síntese entre projeto, ambiente e tecnologia, dentro de um determinado contexto ambiental, cultural e socioeconômico, apropriando-se de uma visão de médio e longo prazo, em que, tanto o idealismo como o pragmatismo são fatores fundamentais (GONÇALVES, J.; DUARTE D. 2006).

O custo de um hospital de arquitetura sustentável é similar ao de um convencional, mas representa uma redução de custos de iluminação e ventilação pela eficiência energética que consegue.

Ciclo eficiente da água no Hospital

O ciclo da água dentro do hospital deve ter, como objetivo o máximo aproveitamento, da água ao mesmo tempo em que afete ao mínimo o meio ambiente após o seu descarte. Tal objetivo pode ser levado a cabo da seguinte maneira:

O abastecimento da água pode ser complementado por meio da água de chuva (dependendo da zona) e água do sistema municipal.

A água que provém do sistema municipal é utilizada nas salas de operação e, emergências, na cozinha e para higiene pessoal, depois pode ser tratada e descartada de maneira segura. A água utilizada na limpeza de pratos, roupas e gerais pode ser tratada e reutilizada nos vasos sanitários e, finalmente, tratada através de filtros naturais para utilização na rega ou para descarte diretamente

no meio ambiente sem contaminação.

Alcançar um sistema completo de aproveitamento total da água requer que as instalações de abastecimento e o descarte da água sejam mais complexos, já que são necessárias instalações separadas para as águas residuais (negras e cinzas), assim como, instalações independentes para o abastecimento municipal, aproveitamento de águas pluviais e reutilização de água. Além disso, a instalação para coleta da água da chuva deve ser capaz de captar água do sistema municipal caso seja insuficiente (PÉREZ, T.I. 2012).

Benefícios

Entre os benefícios obtidos, tanto para o ambiente, quanto para a sociedade e os hospitais, podem ser citados:

- Contribuir ao desenvolvimento sustentável.
- Prevenir a contaminação.
- Proteger o ambiente.
- Identificar os setores onde se pode reduzir o consumo de energia e outros recursos.
- Reduzir a contaminação, as emissões e a geração de resíduos.
- Apoiar a implementação do quadro legal e da legislação ambiental adequada.
- Mostrar uma liderança ambiental através do cumprimento dos certificados estabelecidos nas normas internacionais.
- Responder convenientemente às demandas dos consumidores, ONGs, acionistas e outros.
- Fomentar no pessoal médico, funcionários e pacientes uma cultura de preocupação com o meio ambiente.
- Demonstrar a intenção de gerar produtos e/ou serviços de alta qualidade (SCHINITMAN, N. I. 2002).
- Poupar em custos de abastecimento, funcionamento e manutenção do hospital.

CONCLUSÕES PARCIAIS

Antes de 1970 não existia consciência sobre degradação ambiental do planeta, além disso, considerava-se que o desenvolvimento econômico e social estavam totalmente desvinculados do meio ambiente. No entanto, tornou-se imprescindível compreender que ambos sistemas dependem da capacidade de suporte do meio ambiente. O desejo de crescimento e bem-estar social deve equilibrar-se à necessidade de preservar os recursos ambientais para as gerações futuras.

Na concepção atual de um hospital podemos notar que este não é um sistema totalmente econômico ou social, embora seja um espaço necessário para o desenvolvimento de ambos fatores, assim como também é necessário que tenha um compromisso ambiental.

Redesenhar ou modificar os hospitais é importante, mas ainda mais importante é planejar e projetar os novos hospitais com todas as características de um hospital sustentável. Não se pode perder de vista que, a longo prazo, a redução de custos resultantes da aplicação de medidas ecológicas é muito importante e superam os investimentos necessários para a implementação das mesmas.

As ações de um hospital sustentável, além dos benefícios ambientais e econômicos, oferecem a oportunidade de facilitar a criação e desenvolvimento dos mesmos, gerando centros e unidades de saúde e, com reduzida demanda energética, de abastecimento de água e gás e menor custo de manutenção.

Países como Espanha e Estados Unidos, já contam com hospitais sustentáveis, ecológicos e seguros dentro de sua infraestrutura, o que demonstra que podem ser viáveis.

A maior vantagem de um projeto que considere o sistema baseado nas microalgas é que este pretende obter 100% de energia renovável e autossustentável. Sua utilização está pensada para que as algas nas fachadas “bioreactivas” cresçam mais rápido sob a luz solar direta, 10 vezes mais rápido que plantas de maior porte geralmente utilizadas neste tipo de construções para cobrir fachadas e telhados verdes.

CAPITULO – III MICROALGAS

A alga é a planta mais abundante na terra, produzindo cerca de 40% da biomassa total diária. A maior parte da biomassa de algas é convertida em alimento, já que há 100 vezes mais organismos que consomem algas do que qualquer outra fonte de alimento. Também produzem cerca de 70% do oxigênio do mundo, substancialmente mais do que todas as florestas e campos combinados (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

Crescem em abundância em toda a terra. Florestas de algas crescem mesmo em ambientes gelados como o Polo Norte, bem como nos desertos mais quentes, mantendo o solo resistente à erosão eólica e hídrica (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

Algas têm desempenhado um papel central na evolução humana e em sua sobrevivência. As primeiras sociedades humanas evoluíram ao longo das costas, rios e lagos e dependiam de algas para alimentação e medicamentos. A biomassa rica em nutrientes era abundante durante todo o ano e fácil de coletar. Muitos grupos se alimentavam de algas e provavelmente as ingeriam diretamente na água potável, já que estas dão à água um sabor doce, que teria sido muito atraente quando a dieta dos primeiros humanos era predominantemente seca, dura, amarga e azeda (Figura 3). O acesso às macroalgas, muitas vezes chamado vegetais marinhos, permitiu a migração humana para fora da África Oriental UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA (2014).

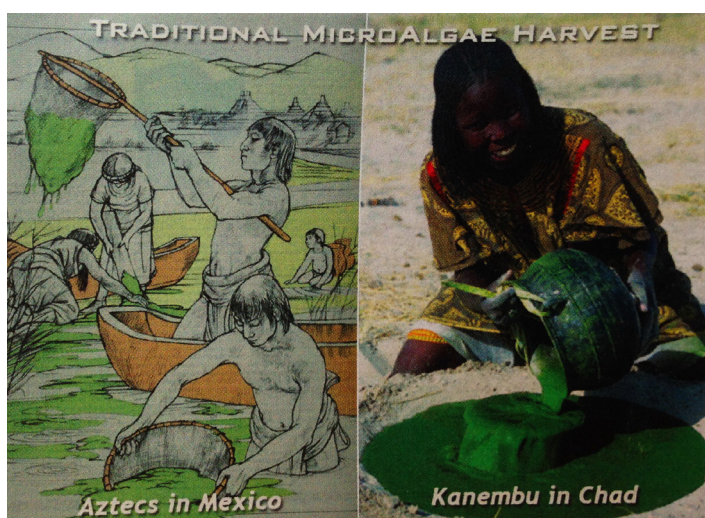


Figura 3. Tradicional colheita de microalgas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

As algas são grandes facilitadores, permitindo que os produtores criem alimentos,

fibras, combustíveis, fertilizantes, produtos farmacêuticos, vacinas e medicina avançada. Estes produtores de algas podem produzir biomassa, ao mesmo tempo em que as algas contribuem para a purificação do ar, da água e dos solos (DERNER, R. B. et al. 2006).

Alimentos

Os alimentos a base de algas podem terminar a diluição dos nutrientes, o que evita as chamadas calorias vazias que contribuem para a atual epidemia de obesidade e diabetes. Comendo diretamente ou adicionada a alimentos, as algas podem aumentar a nutralence (alta densidade de nutrientes, em comparação com calorias vazias) de 300 a 500% (MOLINAa, G. E, et al. 1999).

Microalgas como Spirulina, Chlorella, Aphanizomenon flos-aqua e extratos de Dunaliella e Haematococcus já são comercializados em pó, flocos, cápsulas e comprimidos e como ingredientes em muitos outros produtos alimentícios (ARCEO, A. A., 2012).

Muitos tipos de macroalgas como nori, wakame, dulce, hijiki, kombu, ulva chondrus, e outras algas comestíveis são servidas frescas nos restaurantes asiáticos e vegetarianos, vendidas em folhas secas e flocos nas lojas, e são amplamente utilizadas em muitos produtos convencionais como ingredientes funcionais, tais como espessantes (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

Alimentos baseados em algas e aditivos alimentares, como o ômega-3, ácidos graxos e um amplo espectro de micronutrientes valiosos, irão criar novas classes de alimentos funcionais para melhorar a saúde e vitalidade humana e animal. As algas servem como suplementos alimentares integrados ao processamento de alimentos. Os nutrientes fornecidos pelas algas oferecem absorção superior para melhorar a saúde (Figura 4) (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).



Figura 4. Produtos alimentares, bebidas e suplementos nutricionais a base de algas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Algas fornecem uma fonte rica e quase completa de nutrição - uma mistura complexa de nutrientes que nenhum outro alimento de origem, vegetal ou animal poderia oferecer. Análogo aos modernos suplementos vitamínicos, as algas são, na verdade, uma mistura mais forte, natural, e até nutricionalmente saudável. As algas são uma fonte de proteínas superior, particularmente a alga vermelha, verde e azul-verde, proteína de até 70 % (peso seco), mais elevada do que a soja (36 %) e de milho (23 %) (DERNER, R. B. et al. 2006).

Biocombustível

Quaisquer combustíveis fósseis podem ser obtidos a partir de algas, já que o petróleo bruto, carvão e xisto são simplesmente algas fossilizadas. Produtores de algas estão tentando produzir gasolina, etanol, diesel e combustível de aviação verde em questão de semanas, ao invés de esperar os 400 milhões de anos requeridos pela natureza. Combustíveis à base de algas vai ajudar países a reduzirem a importação de petróleo (Figura 5) (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).



Figura 5. Usina Moema, da Bunge, no interior de São Paulo, tem capacidade para produção de 100 mil toneladas de óleos a partir de microalgas por ano. Fonte: <http://www.biodieselbr.com>

Biocombustível de algas são particularmente úteis como combustíveis líquidos para transportes. Algas irão complementar e substituir óleos combustíveis, lubrificantes, surfactantes, adesivos, asfalto e outros produtos atualmente fabricados a partir de combustíveis fósseis. Componentes das algas servirão para a fabricação de bioplásticos, sendo estes mais baratos, mais fortes e mais flexíveis do que os plásticos industriais, e ainda são biodegradáveis (UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA, 2014).

Sustentabilidade

A aplicação mais antiga das algas na América do Norte é na recuperação das

águas residuais. As algas cultivadas em águas residuais absorvem resíduos orgânicos e nutrientes, produzindo água limpa após a remoção das algas (BENEMAN, 1990).

Uma aplicação atual das algas na tecnologia se concentra na captura de carbono. Cada tonelada de algas consome duas toneladas de CO₂ de emissores como: usinas de energia, fábricas de cimento, refinarias de etanol e cervejarias (SALIH. F. M.; HAASE. R. A. 2012).

Nos últimos 40 anos, a agricultura industrial tem degradado a fertilidade do solo, e a Terra perdeu mais de 30% de suas terras férteis. Mas utilizando as algas como biofertilizante podemos ajudar os agricultores a restaurar as áreas de cultivo. Os agricultores podem produzir cultivos de maior qualidade e deixar a terra em melhores condições do que a encontraram (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

As algas vão transformar nossos ambientes. Tecnologias baseadas em algas irão limpar nossas águas, ar e regenerar solos degradados. A indústria química verde vai adotar produtos derivados de algas para migrar para produtos ecológicos-amigáveis sustentáveis. Algas oferecem um futuro mais saudável para as pessoas, produtores e nosso planeta. O desafio social se concentra em desvendar promessas magníficas dos derivados de algas e torná-los a nossa realidade hoje (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

Medicina

O maior valor para as algas encontra-se na medicina. A maioria dos medicamentos atuais são fabricados a partir de plantas ou animais, sendo caros e levando muito tempo para produzir. Cientistas estão à procura de compostos de algas equivalentes para produtos farmacêuticos, medicamentos e vacinas que podem ser cultivadas em questão de semanas a um custo menor do que os medicamentos tradicionais (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

As microalgas apresentam uma alta eficiência fotossintética, assim o seu crescimento é muito mais rápido do que o das outras plantas. Neste sentido, as microalgas constituem uma matéria-prima muito interessante para obter outras substâncias de grande valor industrial em distintos setores como a indústria de alimentos, farmacêutica, cosmética, etc. (Figura 6) (PÉREZ, V. 2012) Em função da espécie cultivada, pode-se obter:

- Antibióticos

- Enzimas
- Proteínas
- Péptidos
- Pigmentos
- Vitaminas
- Biopolímeros
- Polissacáridos
- Ácidos graxos poli insaturados
- Triglicerídeos
- Lipídios essenciais
- Oxilipinas
- Antioxidantes
- Etc.



Figura 6. Indústria de alimentos, farmacêutica e cosmética com matéria-prima das microalgas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

VANTAGENS

A produção comercial de microalgas teve início na década de 60, nessa mesma década, as pesquisas em biotecnologia de microalgas concentravam-se na reciclagem de águas residuais, sua aplicação em programas espaciais de renovação atmosférica e como fonte de alimento (BENEMAN, 1990). Hoje em dia pensa-se no tratamento de águas residuais de inúmeros processos industriais, para a detoxificação biológica e remoção de metais pesados; como bioindicadores, na detecção de nutrientes e substâncias tóxicas (detergentes, efluentes industriais, herbicidas, etc.). Além disso, podem ser usadas na mitigação do efeito estufa, pela assimilação do CO₂, resultado do processo de queima dos combustíveis fósseis. E ainda, possibilitam a produção de biocombustíveis como por exemplo o biodiesel (DERNER. R. B et al. 2006).

Diferentes projetos como os mostrados abaixo, já estão utilizando as microalgas na arquitetura com o objetivo de veneficiar as vantagens que proporciona sua

utilização. Foi feito até o momento um concurso de arquitetura onde o elemento principal tem sido as microalgas como componente principal para chegar a uma arquitetura sustentável (Figura 7).



Figura 7. (esquerda) Projeto Green Loop e (direita) Ecologies of Bio Diversity para o International Algae Competition Fonte: <http://www.algaecompetition.com>

Ao mesmo tempo já se tem realizados provas concretas de sua utilização na arquitetura, como foi o caso do BIQ House, projeto inaugurado, em março de 2013, na Exposição Internacional da Construção de Hamburgo em Alemanha (Figura 8). O projeto se compõe de uma fachada de fotobiorreatores para o cultivo das microalgas, a qual servirá como banco de provas para a produção de energia sustentável para as zonas urbanas através de edifícios autossuficientes.

Cada um dos painéis, tem um tamanho de 2,5 x 0,7 metros e pode ser movido para ficar a frente do sol e ser mais eficiente na geração de energia.

O aquecimento e refrigeração do edifício são conseguidos graças à energia fornecida pelas microalgas. Cada fotobiorreator funciona como um painel solar. No verão, com o desenvolvimento das algas, será fornecida sombra ao prédio, diminuindo a temperatura das paredes e isolando dos ruídos externos. Quando as algas têm crescido o suficiente, são extraídas para a produção de biogás, gerando calor durante o inverno.

É o primeiro edifício que pode ser considerado verde em ambos sentidos da palavra: é ecológico, e sua aparência externa tem essa cor devido a algas, gerando a energia que precisa o edifício para funcionar.

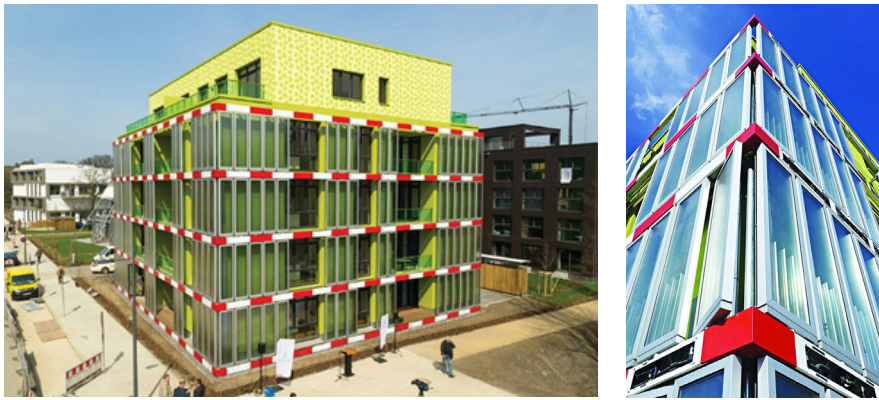


Figura 8. Primeiro edifício do mundo em ter uma fachada de biorreatores. Fonte: <http://www.iba-hamburg.de>

Outro exemplo que nestes momentos já se encontra em execução e que é o primeiro edifício ecológico construído com fotobiorreatores é o edifício projetado por URBANLAB para o cliente Ennesys (Figura 9). O conceito arquitetônico deste projeto é demonstrar as variações e flexibilidades deste novo produto.



Figura 9. Primeiro projeto de edifício ecológico construído com fotobiorreatores. Fonte: <http://www.as-architecture.com>

Além das vantagens já vistas, uma arquitetura criativa que aproveite as diversas formas de cultivo, poderia garantir a poluição sonora, isolamento térmico, geração de água quente e, gestão de resíduos com sistemas de tratamento das águas. Além disso, poder-se-ia produzir biocombustível a partir da biomassa de algas, que seria utilizado para geração de energia elétrica, contribuindo a uma maior eficiência energética. Sem dúvida, sua utilização levaria também a um maior conforto dos pacientes, trabalhadores hospitalários e a sociedade em geral.

Outras vantagens que a produção de microalgas podem oferecer são:

- É considerado um sistema biológico muito eficiente de captação ou aproveitamento da energia solar para a produção de componentes orgânicos (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010).
- Muitas espécies crescem mais rapidamente que as plantas terrestres, fato que possibilita maiores rendimentos de biomassa (maior produtividade). (COHEN, Z.1986) Sendo capaz de dobrar sua biomassa em períodos tão curtos quanto 3,5 h (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010)
- As microalgas, ao contrário de outras culturas oleaginosas, podem ser produzidas de forma rápida em qualquer época do ano (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010 e CARIOCA et al. 2009).
- Nutrientes para o cultivo de microalgas (especialmente nitrogênio e fósforo) podem ser obtidos a partir de águas residuais, tendo nestes casos dupla funcionalidade: captura de CO_2 e tratamento de efluentes (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010). As microalgas podem ser utilizadas para o tratamento de efluentes contaminados com NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^- , no qual utilizam esses nutrientes para o crescimento. (MATA, T. M. et al. 2010).
- Em relação à manutenção e melhoria da qualidade do ar, a produção de biomassa de microalgas pode efetuar biofixação de CO_2 de resíduos (1Kg de biomassa seca de algas utilizam cerca de 1,83 Kg de CO_2) (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010). Portanto, o CO_2 emitido na queima de biodiesel é reabsorvido pelos vegetais e microalgas. (MATA, T. M. et al. 2010).

Em relação às desvantagens, além da suscetibilidade à contaminação e a adaptação ao ambiente, o aspecto que não pode se deixar de mencionar é a dificuldade para uma produção economicamente viável, o alto custo de produção da biomassa seca e da extração do óleo. Entretanto, esses problemas podem ser resolvidos num futuro próximo, quando se saibam aproveitar as vantagens já mencionadas.

Esta integração do cultivo das microalgas com a arquitetura e, especificamente, para esta pesquisa, em arquitetura hospitalar, pretende-se, a partir da utilização dos fotobiorreatores onde as microalgas se desenvolvem de uma maneira controlada, aumentar sua produção e suas vantagens nestes espaços onde devem-se estabelecer as condições ideais de tranquilidade e conforto requeridas por um paciente internado.

CULTIVOS

O crescimento fotossintético requer luz, dióxido de carbono, água e sais inorgânicos. A temperatura deve manter-se geralmente dentro de 20 a 30°C. Para minimizar os gastos, a produção de biodiesel deve contar com a luz solar disponível livremente, apesar das variações diárias e das diferentes estações do ano dos níveis de luz. O meio de crescimento deve fornecer os elementos inorgânicos que constituem a célula das algas. Os elementos essenciais incluem nitrogênio (N), fósforo (P), ferro e, em alguns casos silício. Nutrientes, tais como fósforo, devem ser fornecidos em excesso significativo porque nem todo P agregado é biodisponível. Os meios de crescimento são geralmente baratos. (CHISTI. 2007).

A produção em larga escala da biomassa de microalgas em geral, usa a cultura contínua durante o dia. Neste método de operação, o meio de cultura fresco é alimentado a uma taxa constante e a mesma quantidade de cultivo de microalgas é retirado continuamente. A alimentação cessa durante a noite, mas a agitação do cultivo deve continuar para impedir a sedimentação da biomassa (MOLINA Gb. et al., 1999). Em torno de 25% da biomassa produzida durante o dia pode ser perdida durante a noite por causa da respiração. A extensão desta perda depende do nível de luz sob a qual a biomassa foi cultivada, a temperatura de crescimento, e da temperatura durante a noite. Segundo expõe CHISTI, 2007, os únicos métodos viáveis de produção em larga escala de microalgas são lagoas Raceway (TERRY E RAYMOND, 1985; MOLINA Ga., 1999) e fotobioreatores tubulares (MOLINAb G. E et al, 1999;. TREDICI, 1999;. SÁNCHEZ MIRÓN et al, 1999).

A biomassa microalgal é obtida principalmente a partir do cultivo em laboratório ou industrial em sistemas fechados (fotobiorreatores) ou lagoas aeradas alimentadas com meio de cultivo (BOROWITZKA, 1999) (Figura 10 e 11).



Figura 10. Produção de microalgas em tanques aerados em Kona, Havaí, EUA. Fonte: Muñoz e Guieysse (2006).



Figura 11. Obtenção de microalgas em fotobiorreatores em escala de bancada. Fonte: Xu et al. (2006).

Raceway ponds

Os raceway ponds são usados para o cultivo de microalgas desde os anos 50, sendo que os conhecimentos inerentes à esta tecnologia já estão bem consolidados. Os tanques utilizados são geralmente constituídos por canais de recirculação independentes, os quais formam um loop fechado, tipicamente com cerca de 20-30 cm de profundidade, e com recirculação e agitação promovidos pela ação de pás. Em termos de área, este tipo de instalações ocupa entre 0.5-1ha até 200ha no caso de cultivos extensivos (ANTUNES. R.; SILVA. I. C. 2010).

Durante o dia, o cultivo é alimentado de forma contínua pela parte inicial, onde a roda de paletas começa a gerar o fluxo. A retirada de rejeitos e microrganismos se realiza pela parte traseira da roda. O sistema de roda que gera a circulação possui um tempo de operação de 24h, para evitar desta maneira a sedimentação do cultivo (ARCEO, A. A. 2010).

O cultivo de microalgas para a produção de biodiesel em raceway ponds tem sido largamente avaliado em estudos financiados pelo Departamento dos Estados Unidos visto que constitui uma metodologia menos dispendiosa que os fotobiorreatores em termos de custos de construção e manutenção. Contudo, este tipo de cultivo, embora apresente produtividades geralmente superiores, mantém-se aquém do rendimento dos fotobiorreatores. Uma vez que um sistema aberto é sujeito a flutuações diárias e sazonais de temperatura, as perdas para a atmosfera por evaporação tornam também a utilização do CO₂ menos eficiente, o que conduz a uma produtividade subótima. Adicionalmente, a contaminação por algas e microrganismos que se alimentem de algas afeta também a eficiência da produção de biomassa (OILGAE, 2012). Uma produção por período muito longo acaba sendo contaminada e por isso, essa não é a forma mais indicada para

obtenção de compostos puros a partir de alga para indústria farmacêutica, de cosméticos ou alimentícia (ARCEO, A. A. 2010).

De forma geral, a concentração de biomassa em sistemas abertos permanece em níveis baixos devido ao cultivo estar deficientemente misturado e os feixes luminosos não poderem penetrar na “zona oticamente escura” (ARCEO, A. A. 2010).

Contudo, os lagos de cultivo aberto apresentam algumas vantagens: não competem por terra agricultável e podem ser construídos em terras com produção marginal, requerem menos consumo energético para manutenção, operação e limpeza e podem retornar um balanço energético favorável. É por isso que este tipo de sistema é geralmente encarado como a base para a cultura de microalgas em larga escala para a produção de biodiesel, embora estejam ainda a ser optimizadas as condições para cultura das espécies-chaves para a produção de biodiesel (OILGAE, 2012).

A produção comercial de algas alcança as 10,000 toneladas ou mais por ano, e 98% é cultivada em tanques abertos, usando quase sempre os raceways com rodas de pás. As algas comerciais primárias são *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella* e *Haematococcus*, e a maioria é cultivada pelo alto valor destes suplementos nutricionais. (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

- *Spirulina* (*Arthrospira*)

Nos últimos 30 anos a maioria das fazendas comerciais tem cultivado *Spirulina*, usando lagoas rasas circuladas por rodas de pás. As lagoas podem variar em tamanho até 5000 metros quadrados ou mais, e a profundidade da água é tipicamente de 15 a 25 centímetros (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

- *Chlorella vulgaris*

As primeiras pesquisas na década de 1960 se focaram na *Chlorella*. Esta microalga verde evoluiu um bilhão de anos após as algas azuis-verdes como a *Spirulina*, e é uma pequena célula esférica com um núcleo. A primeira produção de algas comercial foi da *Chlorella*, começando no Japão na década de 1970 como suplemento alimentar (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

- *Dunaliella salina*

A *Dunaliella* prospera em climas quentes e água ainda mais salgada do que o oceano. A *Dunaliella* é cultivada em vastas salinas na Austrália Ocidental e em lagoas de rolamento próximas ao Mar Morto, em Israel. Esta microalga é muito

salgada para ser utilizada como um alimento completo, mas o seu betacaroteno é extraído como um óleo ou pó e é vendido como um suplemento alimentar, antioxidante e como corante para aquicultura (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

- *Haematococcus pluvialis*

A *Haematococcus* é cultivada em lagoas ao ar livre e sistemas fechados para a produção de astaxantina, um pigmento carotenoide que recentemente tornou-se reconhecido como um popular antioxidante que pode ter benefícios na saúde cardiovascular, no sistema imunitário, inflamações e doenças degenerativas. Tem também benefícios anti-envelhecimento em geral e, especificamente, da pele, ajudando a combater os efeitos nocivos dos radicais livres (HENRIKSON, R.; EDWARDS, M. 2012).

FOTOBIORREATORES

Ao contrário dos raceway ponds, os fotobiorreatores permitem essencialmente culturas de espécies únicas de microalgas por longos períodos. Os fotobiorreatores têm sido utilizados com sucesso para a produção de grandes quantidades de biomassa de microalgas (MOLINA G. E et al. 1999; TREDICI, 1999; PULZ, 2001; CARVALHO et al. 2006).

O uso de fotobiorreatores para cultivo de microalgas a partir do final dos anos 1940, foi uma consequência lógica das investigações levadas a cabo com *Chlorella* com respeito à fotossíntese. Nestes primeiros anos de cultura de algas, a ênfase era sobre o monitoramento contínuo de cultivo; portanto, reatores fechados tiveram prioridade. Os sistemas abertos foram considerados impróprios para assegurar o grau necessário de controle e otimização do processo (LOPEZ, F., ROJAS, R. 2010).

Os cultivos são realizados em sistemas fechados, em painéis de forma plana ou em forma de serpentinas, espirais ou cilindros, construídos com tubos de plástico, vidro ou policarbonato. Os tubos formam o sistema coletor de luz solar, no interior dos quais uma solução de microalgas é circulada, advindas de um reservatório onde o ar (contendo CO₂) é alimentado, conforme pode ser visto na Figura 12. A alimentação é mantida constante durante os períodos de sol. Subsequentemente à passagem pelos tubos, parte do inoculo é removido como produto e o restante recirculado à coluna de separação de gás. Água, CO₂ e os nutrientes necessários são providos de forma controlada, enquanto oxigênio tem que ser removido (BORGES. F. C. 2010). Os tubos coletores de luminosidade são orientados de forma a maximizar a captação de luz solar, no sentido norte-

sul, e têm 0,10 m ou menos em diâmetro, sendo esse diâmetro limitado para que a luz penetre profundamente na cultura, assegurando uma elevada produtividade do fotobiorreator (CHISTI, 2007). De forma geral os fotobiorreatores podem ser classificados quanto ao formato em: planos, tubulares ou verticais (tubulares em coluna) (ARCEO, A. A. 2010).

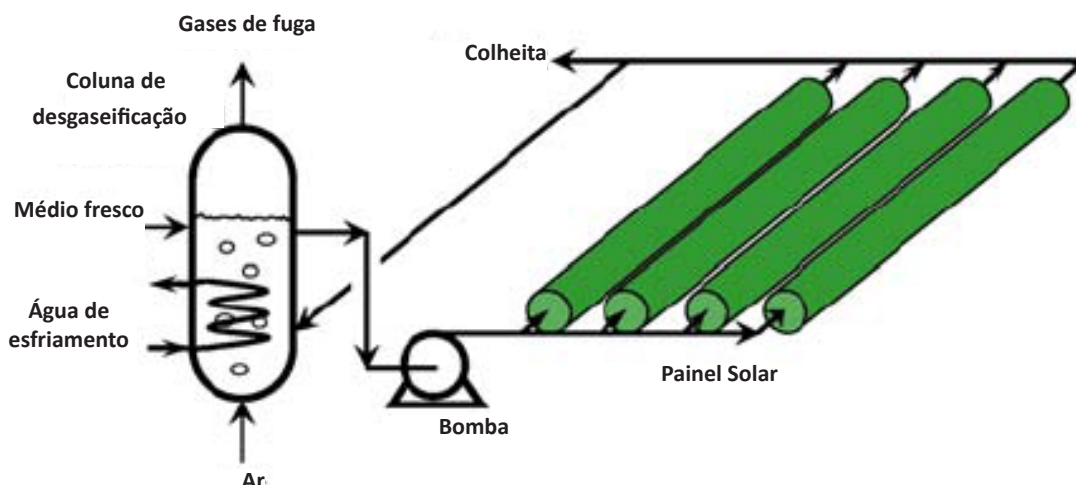


Figura 12. Esquema de fotobiorreator com passagem horizontal em tubos paralelos. Fonte: CHISTI, 2007

Nos fotobiorreatores é possível controlar as condições de cultivo (quantidade de nutrientes, temperatura, iluminação, pH etc.). Isto implica em uma elevada produtividade, viabilizando a produção comercial de uma série de compostos de elevado valor agregado (NICHOLS, B. W., 1965, TEIXEIRA, C., 2007, ABALDE, J. et al, 1995).

Os fotobiorreatores fechados foram desenhados justamente para superar as limitações dos lagos abertos. Seu ponto forte principal é a baixa contaminação exterior, o que possibilita cultura e obtenção de monoculturas e compostos para farmácia e alimentação. Também podem ser utilizados para variedades mais sensíveis, que de outra forma sucumbiriam num ambiente selvagem, em competição ou contaminado. Os fotobiorreatores fechados produzem biomassa de forma mais densa, o que reduz os custos de colheita, mas ainda assim sua montagem e manutenção é mais cara que o cultivo aberto (ARCEO, A. A. 2010).

Em áreas altamente populosas, como centros urbanos, onde o espaço é limitado, e em climas mais frios, os sistemas de cultivo tubulares permitem que os designers adicionem fontes artificiais de luz e calor para uma maior produtividade. O conceito de fotobiorreatores tem estimulado a imaginação de engenheiros, arquitetos e construtores para projetar fotobiorreatores verticais nas laterais e telhados de edifícios, integrando sistemas de algas com arquitetura. Muitos

projetos submetidos ao Concurso Internacional de Algas incluíram cultivos de algas verticais em prédios, com membranas fotossintéticas, cultivando as algas para alimentos e energia. Outros fotobiorreatores têm sido também projetados em eco-comunidades e centros educacionais (Figura 13).



Figura 13. Projetos do Concurso internacional de algas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Fotobiorreatores tubulares verticais

Os fotobiorreatores tubulares verticais são menos eficientes relativamente à utilização da luz solar. Contudo estes reatores apresentam uma relação favorável de volume de cultura relativa à área instalada. Outra vantagem reside na simplicidade do sistema de agitação: este é normalmente realizado através da injeção de ar na parte inferior da coluna (Figura 14), desta forma é possível homogeneizar o meio de cultura com as microalgas, fornecendo simultaneamente o CO_2 necessário à fotossíntese e removendo de forma eficiente o O_2 resultante desta. A questão da eficiência luminosa é por vezes resolvida recorrendo à iluminação artificial externa ou colocada no interior do mesmo (Figura 15 e 16).

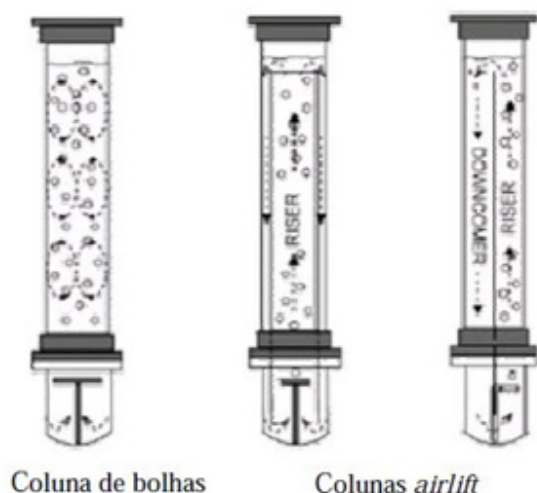


Figura 14. Esquema de configurações de fotobiorreatores de coluna de bolhas e airlift. Fonte: Algae Investment (2008)



Figura 15. Fotobiorreator vertical da Universidade de Alicante, Espanha.
Fonte: Universidade de Alicante (2007)



Figura 16. Fotobiorreatores verticais. Fonte: <http://produkcja.ipan.lublin.pl>
(Japão)

Os fotoreatores tubulares são construídos com materiais transparentes rígidos, geralmente em acrílico (FERNANDEZ, F. et al. 1998). No entanto também podem ser constituídos por grandes sacos de polietileno de baixa densidade (MARTÍNEZ, F., ESPINOSA, F. 1994) (CARVALHO, A. et al. 2006). (Figura 17) Estes últimos, embora mais frágeis, são mais baratos, sendo geralmente utilizados na produção de inoculo para volumes superiores de cultura (BOURNE Jr, J.K., 2007) ou para produção de microalgas para alimentar bivalves e crustáceos em aquicultura (LAVENS, P; SORGELOOS, P. 1996) (MORETTI, A. 1999).

Nos fotobiorreatores tubulares a maior questão será a eficiência luminosa, que é prejudicada pela curvatura da superfície dos tubos. Isso faz com que parte da luz solar incidente à superfície do tubo seja refletida, não sendo aproveitada para o crescimento da biomassa (CARVALHO, A. et al. 2006).



Figura 17. Fotobiorreatores de mangas no exterior da central elétrica de Redhawk, perto de Phoenix (EUA), propriedade da GreenFuel. Fonte: BOURNE Jr, J.K., 2007

Estes modelos de fotobiorreatores verticais já foram pensados na arquitetura e na paisagem de diferentes projetos, como é o caso das seguintes imagens (Figura 18) onde é utilizado na fachada de um prédio, servindo como proteção solar e das visuais diretas, assim como vinculados na paisagem adaptando-se ao espaço, enquanto o cultivo é desenvolvido.



Figura 18. Aplicação dos fotobiorreatores verticais. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Com a intenção de aproveitar melhor as fontes significativas de CO₂ espalhadas pelas cidades, foram utilizados também estes fotobiorreatores nas rodovias para captar diretamente o CO₂ emitido por carros (Figura 19).

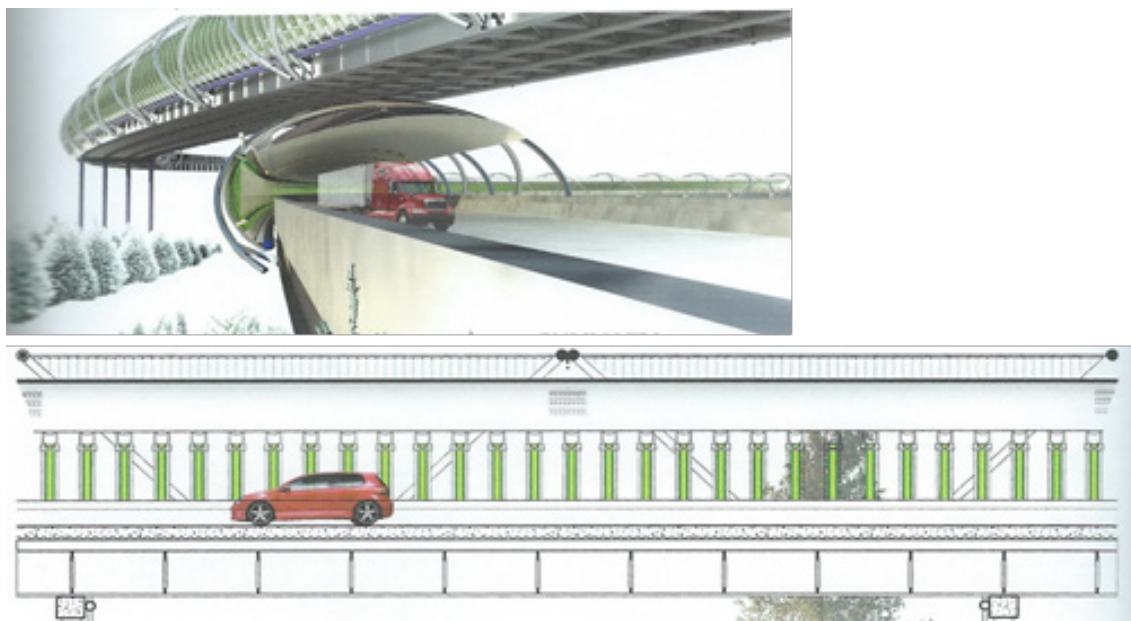


Figura 19. Aplicação de fotobiorreatores verticais em rodovias. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Fotobiorreatores tipo serpentina

Na década de 1980, Gudin e seus colegas de trabalho, trabalharam no Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache, França, e conceberam (e desde então tem evoluído) uma serpentina horizontal onde a principal característica é a utilização de um tanque de água para o controle da temperatura (LOPEZ, F.; ROJAS, R. 2010).

Os fotobiorreatores tubulares horizontais (Figura 20 e 21) permitem um melhor aproveitamento da luz (relativamente a orientação vertical) necessitando, no entanto, de uma grande área instalada. A disposição horizontal dos tubos também levanta dificuldades relativamente à introdução de CO₂ e à remoção do O₂. A movimentação da cultura é realizada por bombas que impulsionam o meio através da tubagem. No entanto, o sistema de bombagem aumenta a tensão de corte restringindo o número de espécies de microalgas possíveis de se cultivar neste tipo de sistema (CARVALHO, A. et al. 2006). Este sistema é utilizado com sucesso desde 1999, na Alemanha (em Klötze) na produção de *Chlorella* como suplemento alimentar (BIOPRODUKTE PROF. STEINBERG, 2008).



Figura 20. Fotobiorreator tubular horizontal. Fonte: BERG-NILSEN, J. (2006)



Figura 21. Fotobiorreatores tubulares. Fonte: <http://chlorelle.wordpress.com> (Estados Unidos)

Estes fotobiorreatores horizontais foram também aplicados na arquitetura, ajustando-se perfeitamente na imagem e design do edifício como se mostra na Figura 22, enquanto as microalgas são desenvolvidas.



Figura 22. Aplicação de fotobiorreatores horizontais na fachada de um edifício. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Desenvolvidos também como principal elemento no projeto Green Loop para o International Algae Competition, estes fotobiorreatores foram planejados nas áreas de estacionamento para melhorar a captura direta de CO₂ (Figura 23).



Figura 23. Aplicação de fotobiorreatores tipo serpentinas no estacionamento do projeto Green Loop. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

O uso dos fotobiorreatores tipo serpentinas pode até chegar formar parte dos espaços urbanos, incentivando o pensamento sustentável nas pessoas, enquanto é aumentado o conforto e gerado energia para estes espaços públicos (Figura 24).

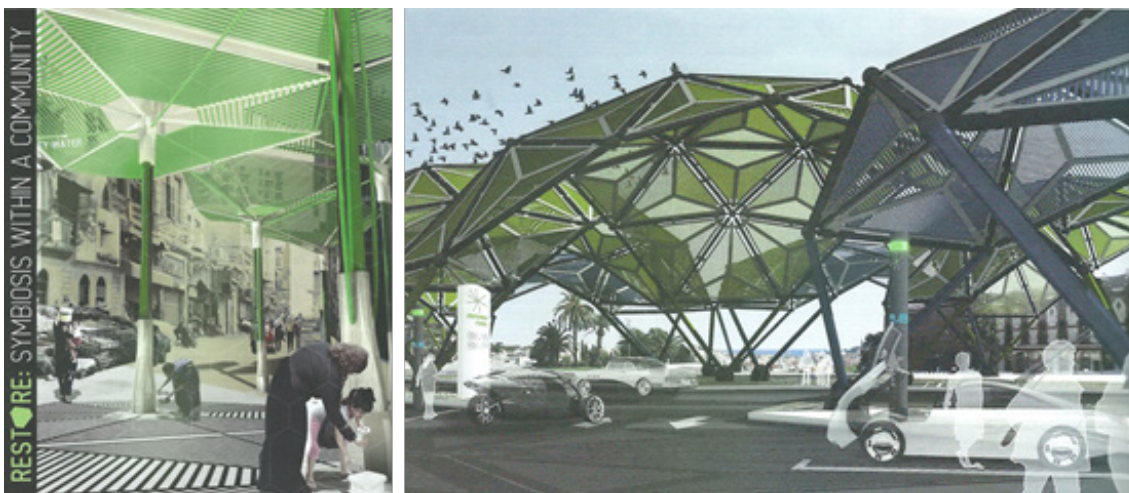


Figura 24. Espaços urbanos utilizando fotobiorreatores tipo serpentinas. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Fotobiorreatores planos

Os reatores de painel plano são fotobiorreatores constituídos por finos painéis de vidro, acrílico ou PVC entre os quais circula a cultura de microalgas, sendo especialmente concebidos para aproveitarem ao máximo a luz (BARBOSA, M.J.G.V. 2003). A circulação da cultura é garantida ou por borbulhamento de ar

na base do painel ou por bombagem (DOUCHA, J. & LÍVANSKÝ, K. 2006). Este sistema de cultura, a semelhança dos restantes reatores iluminados pela luz solar, deve dispor de sistemas de refrigeração, seja por aspersão de água, seja pela presença de um painel duplo através do qual circula o líquido de refrigeração (Figura 25 e 26).

O primeiro fotobiorreator plano que foi desenvolvido para a produção de algas foi do modelo “bandeja de balanço” usado por Milner em 1953 para o crescimento de culturas da *Chlorella* em uma camada fina turbulenta. Após esta experiência, os fotobiorreatores planos foram abandonados na prática até os anos 1980 (LOPEZ, F., ROJAS, R. 2010).

Em meados de 1980, dois grupos trabalharam de forma independente na França e Itália introduzindo painéis planos alveolares no cultivo de algas. Estes sistemas foram construídos a partir de PVC transparente, policarbonato ou chapas de polimetacrilato de metilo que são divididos internamente para formar canais retangulares chamados alvéolos. Estas chapas estão comercialmente disponíveis com espessuras de 4,5 a 40 milímetros (LOPEZ, F., Rojas, R. 2010).

Os primeiros reatores do tipo painel foram construídos e testados em Florença por Tredici e seus contribuintes colocando-os na vertical, um projeto adotado na Alemanha por Pulz onde uma bomba foi usada para circular a suspensão. Em 1988, o Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) da Itália apresentou este reator na exposição Itália 2000, realizada em Moscou (LOPEZ, F., ROJAS, R. 2010).

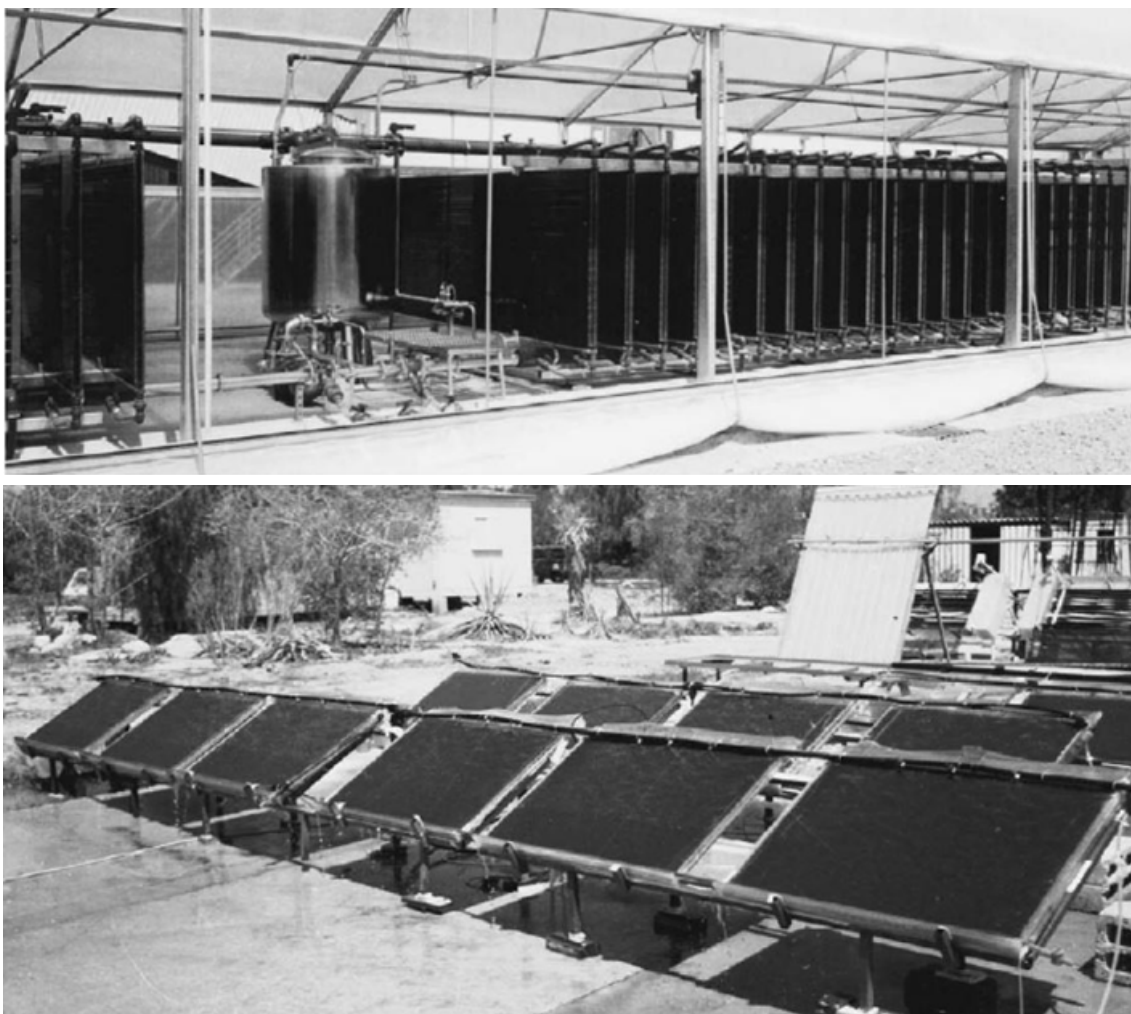


Figura 25. Fotobiorreatores planos, sistema construído na Alemanha, e reatores planos de vidro experimentados na Universidade de Negev, Israel. Fonte: Tredici, 1999.



Figura 26. Fotobiorreatores planos. Fonte: <http://biofuels.asu.edu> (Estados Unidos).

De igual modo que os fotobiorreatores anteriores, estes modelos de fotobiorreatores planos ou de janelas também foram previstos formando parte da arquitetura. Como se mostra nas seguintes imagens onde estes estão sendo utilizados na pele dos edifícios com diferentes formas e tamanhos (Figura 27).



Figura 27. Aplicação dos fotobiorreatores tipo janela na arquitetura. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

Outra função que estes fotobiorreatores podem realizar devido à forma que eles apresentam é a de brise-soleil, permitindo como se mostram nas imagens (Figura 28), um melhor aproveitamento da luz do sol para o desenvolvimento do cultivo das microalgas, melhor proteção solar nas fachadas e nos casos que precisem uma apropriada orientação na circulação dos ventos.

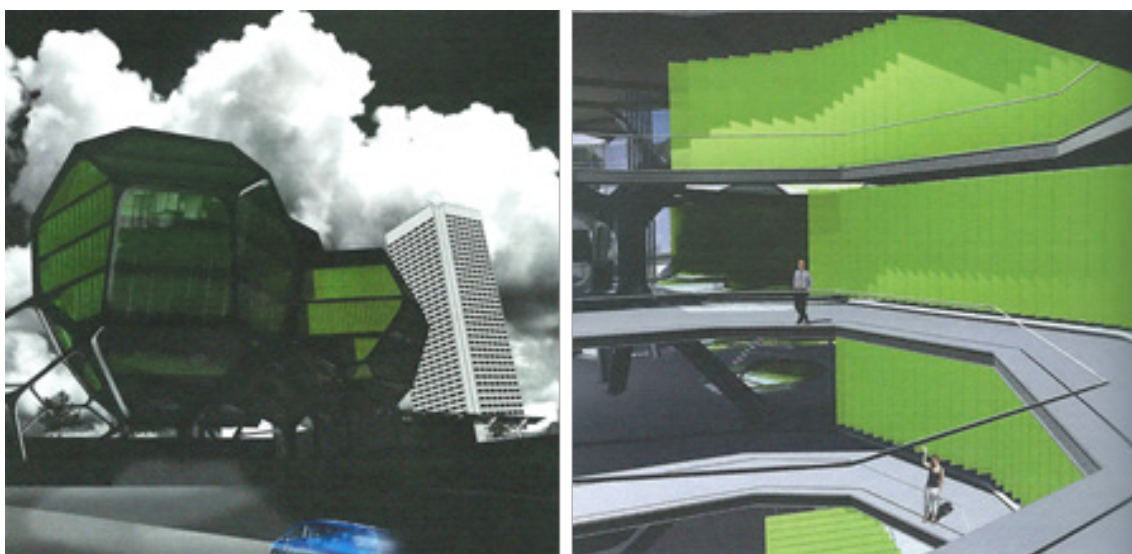


Figura 28. Fotobiorreatores tipo janela funcionando como brise-soleil. Fonte: HENRIKSON, R.; EDWARDS, M., 2012

PROCESSO DE PRODUÇÃO

Segundo autores como BOROWITZKA, 1993; CERTIK & SHIMIZU, 1999; KIRK & BEHRENS, 1999; LEMAN, 1997; BRUNO, 2001; RICHMOND, 2004, o crescente interesse no estudo de microrganismos como microalgas deve-se à essencial importância destes nas diversas possibilidades da aplicação comercial em distintas áreas como na nutrição, na saúde humana e animal, no tratamento de águas residuais, na produção de energia e na obtenção de compostos de interesse das

indústrias alimentar, química e farmacêutica, dentre outras (DERNER, R. B. et al. 2006).

O biodiesel é o combustível derivado das algas que tem recebido maior atenção dada sua elevada potencialidade para substituir a dependência dos combustíveis fósseis, principalmente, no domínio dos transportes. Contudo, diversas formas alternativas de energia podem ser obtidas a partir desta matéria prima, nomeadamente etanol, hidrogênio, metano, biomassa para combustão e gaseificação e outras variantes de hidrocarbonetos combustíveis. (ANTUNES. R.; SILVA. I. C. 2010).

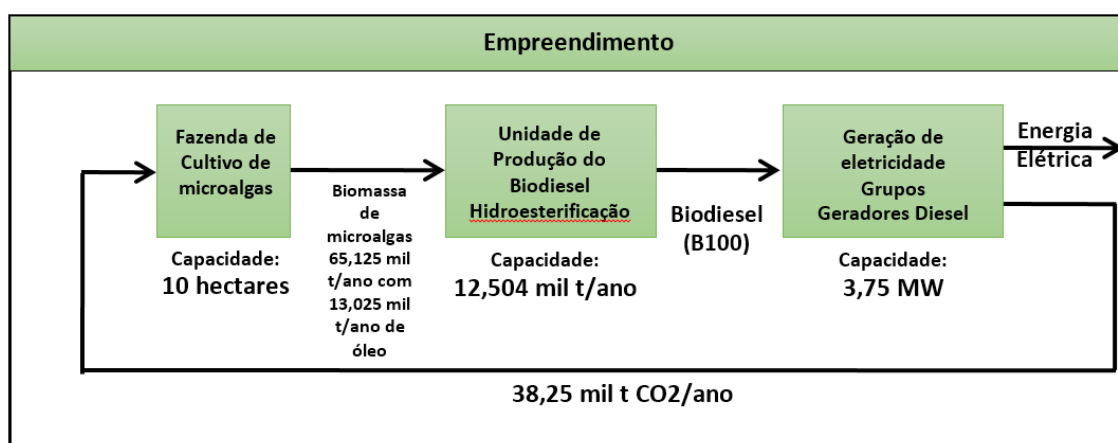
No passado, pouca atenção foi dada ao desenvolvimento de técnicas de colheitas que maximizem o valor dos produtos obtidos a partir das microalgas (biorefinação). Os óleos representam apenas um dos muitos produtos com valor comercial, sendo que a escolha do organismo a cultivar requer a avaliação de todas as matérias potencialmente produzidas. Resultaria muito útil a implementação do conceito de biorefinaria onde o combustível é produzido em paralelo com outros extratos úteis como carotenoides, proteínas, ômega 3,6,9, entre outros, com reciclagem dos nutrientes e da água utilizados no processo. (ANTUNES. R.; SILVA. I. C. 2010).

Outro estudo de demonstrada viabilidade econômica pelos pesquisadores Laryssa Ramos Holanda e Francisco de Sousa Ramos da UFPE em 2011, refere-se ao processo de produção de microalgas para geração de eletricidade, considerado como uma atividade conjunta com o etanol, de modo a suprir a elevação da demanda prevista de energia ocasionada pelo crescimento econômico do país. A produção dessa fonte de energia alternativa em conjunto com uma usina de etanol maximiza os ganhos de ambas, além de trazer benefícios ao meio ambiente, com as microalgas captando o dióxido de carbono emitido pela usina de etanol. Este processo se dá através da queima da biomassa desses microrganismos, para cada tonelada de biomassa queimada 8,12 MW/h são gerados. Essa seria uma alternativa sustentável para aumentar a oferta de energia elétrica no Brasil, pois a queima da biomassa algal não libera mais CO₂ do que foi consumida na produção, por isso se trata de uma energia de “emissão zero” (HOLANDA, L.R; RAMOS, F.S, 2011).

Os custos de produção de microalgas para a geração de bioeletricidade são reduzidos quando o processo é feito em conjunto com a produção de uma usina de cana-de-açúcar, pois todo CO₂ emitido pelo processo de fermentação do etanol é absorvido pelas algas. Para cada 1.000 litros produzidos de álcool são emitidos 800Kg de CO₂ que é suficiente para produzir 470 kg de biomassa algal, esta quantidade queimada gera cerca de 3,82 MW/h. Além de todo CO₂ necessário para a produção de microalgas, também se tem custo zero com a

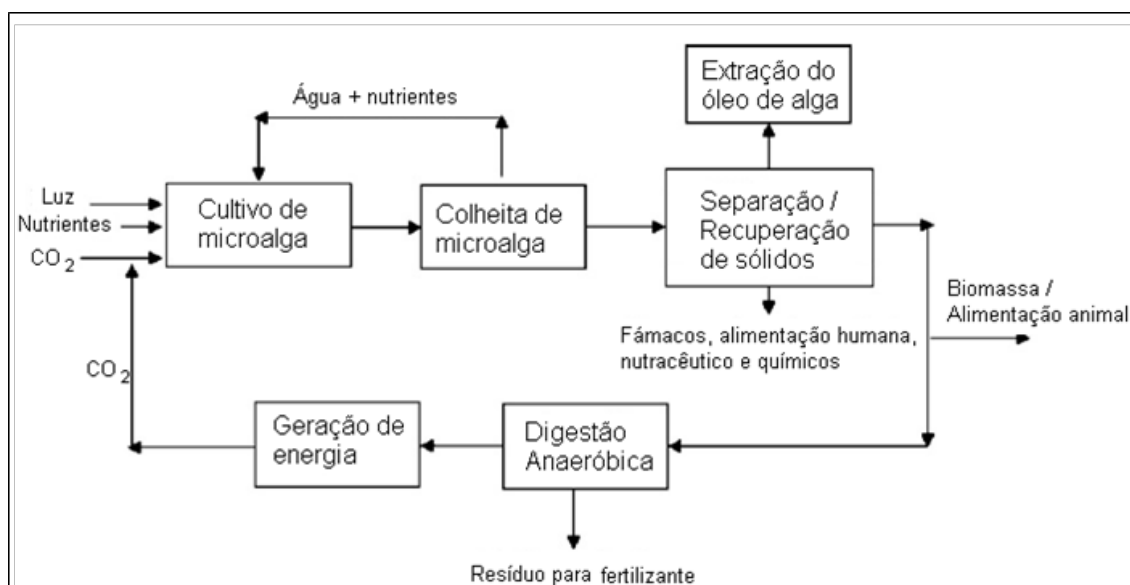
água utilizada no processo, pois pode ser utilizada a água do sistema de lavagem da cana (HOLANDA, L.R; RAMOS, F.S, 2011).

Também na Escola de Química da UFRJ foram feitos estudos para a obtenção de energia elétrica a partir do biodiesel obtido do cultivo de microalgas em fotobiorreatores. Para isto se partiu de um volume de cultivo de 10 hectares, os quais gerariam uma quantidade de biomassa ao ano de 65125 Toneladas, ou 13025 Toneladas ao ano de óleo de microalgas que vai representar aproximadamente 20% do volume de biomassa gerada. A partir desta quantidade de óleo obtida podem ser obtidos 12504 Toneladas de biodiesel ao ano, podendo com isto ser gerado em uma unidade de geração de energia elétrica 3,75 MW. Mas ao mesmo tempo esta geração de energia vai produzir 38250 Toneladas de CO₂ ao ano que podem ser reaproveitados nesta planta de cultivos (Quadro 4).



Quadro 4. Produção de biodiesel a partir de óleo de microalgas. Fonte. ARANDA, D.; REYES, Y., 2013

Outra representação do processo biotecnológico de obtenção de produtos de interesse encontra-se de forma simplificada no Quadro 5.



Quadro 5. Diagrama esquemático simplificado da biotecnologia de microalgas. Fonte: DA SILVA GORGÔNIO. C. M. 2010 (baseado em HARUN et al., 2009; CHISTI, 2007).

CONCLUSÕES PARCIAIS

Devido às vantagens da utilização das microalgas é que se faz esta pesquisa, com o objetivo de analisar como esses principais modelos de fotobiorreatores são absorvidos ou assumidos pela arquitetura, especificamente na arquitetura do novo Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da UFRJ e assim aproveitar ao máximo todas suas possibilidades nestes espaços tão necessitados e carentes de processos sustentáveis.

Os resultados da pesquisa analisados neste estudo consideram os seguintes aspectos envolvidos no cultivo de microalgas:

- a) A utilização do fotobiorreator (sistema fechado), no cultivo de microalgas tem maiores vantagens que os sistemas abertos, incluindo a fácil coleta de biomassa, menos poluição no cultivo, melhor controle das condições de funcionamento e menor investimento em construção.
- b) O projeto de um fotobiorreator deve levar em consideração a finalidade para a qual este vai ser empregado e conhecer as condições em que serão operados.
- c) As principais variáveis que afetam o cultivo das microalgas são luz, temperatura, pH, nutrientes, transferência de gás, turbulência e mistura.

As emissões que gera o hospital podem ser aproveitadas na sua totalidade para o cultivo das microalgas e geração de energia, o que pode repercutir em um menor consumo de energia e na redução de emissões de CO₂ no ambiente.

Segundo o detalhamento feito nesta epígrafe, pode-se dizer que uma análise das melhores formas de cultivo de microalgas nestes sistemas permitirá obter-se um produto final que possibilite todas as vantagens que o cultivo das microalgas pode oferecer em relação à sustentabilidade do edifício e conforto de seus usuários.

CAPITULO – IV A ARQUITETURA HOSPITALAR BASEADA NAS MICRO-ALGAS

Nos ambientes hospitalares é fundamental entender quanto a arquitetura pode ser uma ferramenta terapêutica que contribua na reabilitação e conforto dos pacientes.

Idealmente cada hospital deveria pensar em soluções ambientalmente positivas em sua conformação, focando fundamentalmente na redução do impacto ambiental que gera. A redução do consumo da água, da energia e a reciclagem dos resíduos produzidos pelo hospital deveria estar dentro de seus principais objetivos.

Nesse sentido a utilização das microalgas, que para seu crescimento necessitam somente de água, luz, CO₂ e alguns nutrientes, é uma alternativa importante a se ter em conta, já que elas têm a capacidade de, a partir do dióxido de carbono presente na atmosfera e da luz solar, gerar energia através do processo de fotossíntese, fornecendo múltiplas vantagens tanto ambiental como econômica e de conforto para seus pacientes e a sociedade em geral.

Este capítulo tem como objetivo definir a viabilidade desta utilização das microalgas cultivadas em fotobiorreatores para o caso específico do novo Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro, estudando suas vantagens e seu processo de implementação com o objetivo de mitigar impactos negativos ao meio ambiente e de reduzir a utilização de fontes de energia não renováveis.

A UTILIZAÇÃO DAS MICROALGAS NO NOVO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO FRAGA FILHO A PARTIR DOS PRINCIPAIS MODELOS DE FOTOBIORREATORES.

O Hospital Universitário está localizado na área urbana da Ilha do Fundão. Esta ilha foi formada pela conexão, em 1945, de oito ilhas adjacentes à área de Manguinhos, e foi urbanizada para abrigar a Cidade Universitária da Universidade do Brasil.



Figura 29. Localização do Hospital Universitário. Fonte: Google Maps

O entorno próximo ao Hospital Universitário é composto ao norte pelo Instituto de Puericultura e Pediatria, ao sul do hospital está a confluência dos dois principais eixos viários da Ilha do Fundão que se juntam a uma das principais vias de acesso ao campus, que se direcionam para a Linha Amarela e para a Ilha do Governador, ao leste está o Centro de Ciências da Saúde (CCS) e a oeste a Linha Amarela, uma das principais vias de acesso à Cidade do Rio de Janeiro (Figura 29).

O novo hospital tem uma configuração pavilhonar que influenciará no design dos espaços de saúde. Formado por pavilhões com pátios internos, possibilitará espaços mais simples e mais legíveis para seus usuários. Irá inserir novos elementos que são precisos para tornar a estrutura do hospital mais adequada aos novos tempos e necessidades sociais e ambientais, como será o caso da utilização dos fotobiorreatores nas fachadas para o cultivo das microalgas.

A tipologia horizontal dos novos edifícios e os grandes afastamentos entre os elementos arquitetônicos construídos vão a permitir a incidência do sol na

maior parte das fachadas propiciando o cultivo das microalgas, uma circulação adequada de ar e a preservação, na maioria das partes, da vista panorâmica para o entorno paisagístico que também vai contar com fotobiorreatores adaptados à paisagem.

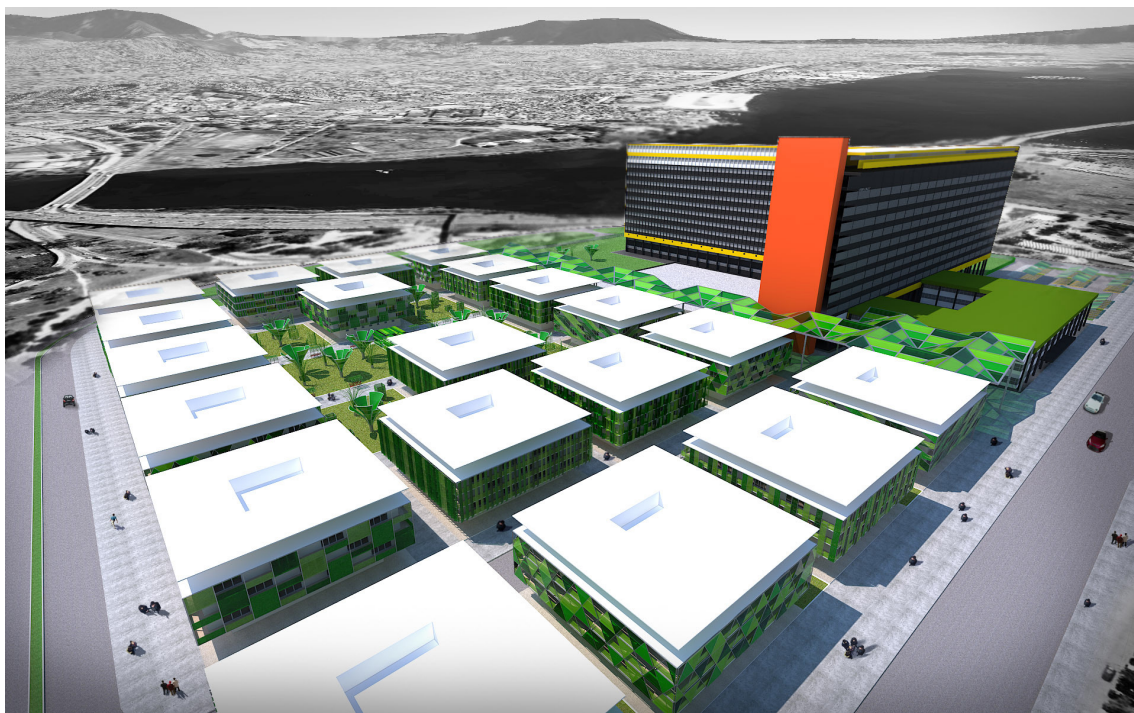


Figura 30. Tipologia horizontal do novo Hospital Universitario

Para o cultivo das microalgas no ambiente hospitalar foram utilizados os três principais tipos de fotobiorreatores estudados no capítulo anterior. Os fotobiorreatores tubulares verticais, os tubulares horizontais ou tipo serpentina e os fotobiorreatores planos ou de janela, cada um terá seu lugar nos novos espaços do Hospital Universitário. Sendo inseridos na arquitetura e na paisagem com o objetivo de aproveitar as vantagens que o uso próprio do cultivo das microalgas pode trazer para as pessoas e o hospital.

Os seguintes projetos mostram, a partir de esboços e propostas conceituais, diferentes ideias de algumas das possíveis aplicação dos principais fotobiorreatores na arquitetura e na paisagem. Para poder chegar a materializar estas propostas, é imprescindível um trabalho em equipe e multidisciplinar que integre engenheiros e especialista na matéria, trabalhando desde a concepção básica até o resultado final.

No caso do modelo de fotobiorreator vertical, este foi adaptado para fazer parte das fachadas de alguns dos pavilhões do hospital. Cada proposta dos pontos de instalação leva em conta os aspectos ambientais do entorno, de forma a propiciar

um melhor intercâmbio entre o prédio e o meio ambiente, assim como favorecer o desenvolvimento do cultivo das micro algas. Também foram previstos de tal maneira nas fachadas que permitam, além de proteger os corredores externos da incidência direta do sol, irão servir de proteção para as pessoas que por ele circulem e em alguns casos no direcionamento da circulação do ar.

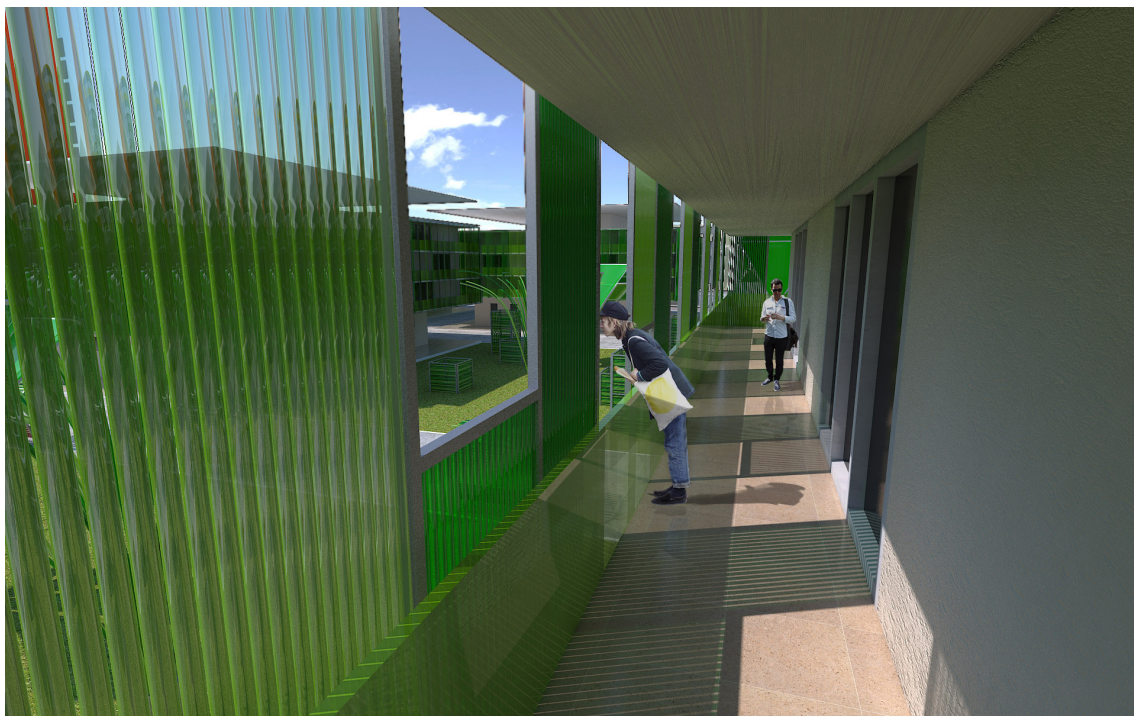


Figura 31. Corredores externos dos pavilhões.



Figura 32. Fotobiorreatores verticais utilizados na fachada.

Este modelo de fotobiorreator vertical vai estar presente também nos espaços exteriores do hospital. Foram projetados elementos paisagísticos que podem ser perfeitamente adaptados ao ambiente externo ao mesmo tempo em que servem para o cultivo das microalgas. A primeira variante é um elemento de base circular que em seu perímetro vai contar com elementos verticais (os fotobiorreatores) que serão dispostos em tamanho crescente para permitir esta integração com a sinuosidade dos componentes da natureza e integrar-se ao ambiente sustentável do hospital. Em geral está previsto este modelo de fotobiorreator em toda a paisagem do hospital, com a utilização de 16 elementos, onde cada um poderá conter até 1m³ de cultivo, somando 16m³ destinados ao desenvolvimento das microalgas.

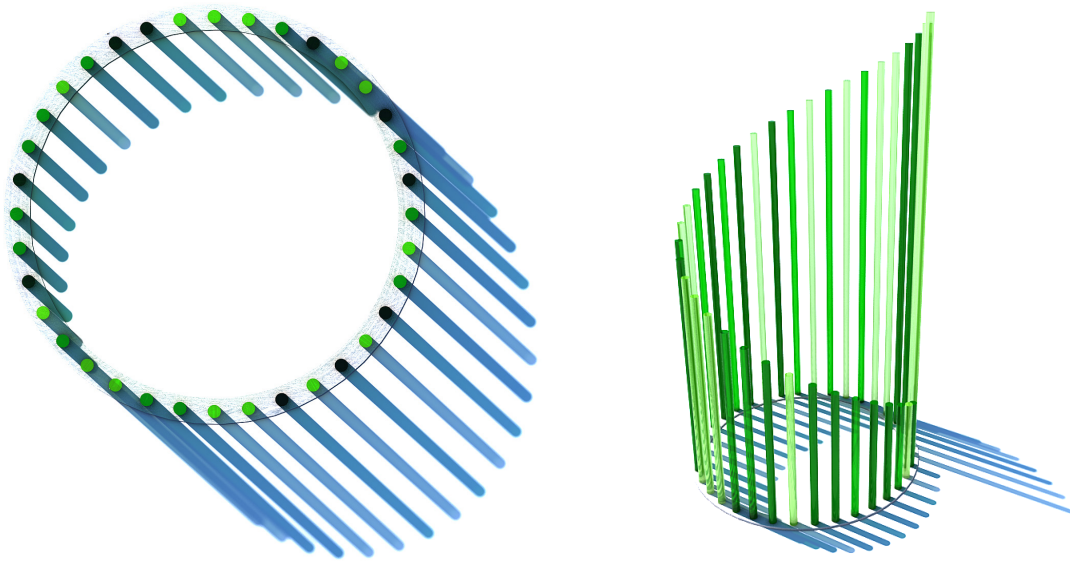


Figura 33. Elemento paisajístico a partir de fotobiorreatores verticais.

Uma segunda variante para este tipo de fotobiorreator vertical serão as chamadas “cebolinhas” que, como o próprio nome diz, serão elementos semi-verticais que simularão este tipo de vegetação que pode ser encontrada em quintais ou paisagens rurais e que, ao mesmo tempo, transmitirão tranquilidade através de sua cor e de seu movimento ao vento. Estas “cebolinhas” serão dispostas também nos espaços verdes internos do hospital e ao mesmo tempo em que ornamentarão o ambiente vão poder cultivar até meio metro cúbico de microalgas cada uma. Chegando a até 8m³ de cultivo com o total de 16 elementos.



Figura 34. Fotobiorreator vertical com design baseado nas “cebolinhas”.

Como terceira e última variante utilizando este modo de cultivo de fotobiorreator vertical, vamos ter o que seria o cercado perimetral do hospital com uma altura de 2m. Onde, ao mesmo tempo em que protegerá o perímetro e os ambientes do espaço hospitalar, poderá ser aproveitado no cultivo das microalgas, em uma área total de até 130m³.



Figura 35. Cerca perimetral projetada a partir de fotobiorreatores.

No caso dos fotobiorreatores tubulares horizontais ou tipo serpentina, estes também vão fazer parte das fachadas dos pavilhões. Desempenhando sua função como elementos de proteção solar e para as pessoas que circulem pelos corredores externos. Mas também realizando sua principal função que, neste caso, é o desenvolvimento do cultivo das microalgas. Proporcionando ao mesmo tempo sensações de bem-estar e tranquilidade através do movimento e da cor verde da biomassa que circulará por dentro deste tubos de um material transparente e de aproximadamente 5cm de diâmetro.

Do mesmo modo que os fotobiorreatores verticais foram utilizados como elementos da paisagem do hospital, estes fotobiorreatores horizontais foram projetados com o mesmo objetivo. E, como primeira variante, foram desenhados cubos nos quais as paredes estarão formadas por este tipo de serpentinas para o cultivo das microalgas. Estes cubos estarão espalhados pelas áreas verdes do hospital e estarão em versões simples onde cada lado terá 2m ou na versão dupla, sendo posicionados um acima do outro, alcançando uma altura de 4m e uma largura e profundidade de 2m. Em total serão colocados 24 cubos que permitirão um volume de cultivo de 10m³.



Figura 36. Projeto de cubos a partir de fotobiorreatores horizontais.

Outro desenho proposto com a utilização deste tipo de fotobiorreator horizontal foi pensado para o caso dos bancos que compõe o mobiliário urbano presente no projeto. Neste caso, os elementos horizontais foram situados como proteção ao sol, com padrão brise-soleil, ficando, de tal forma, inseridos no ambiente sustentável do novo projeto. Cada um deles permitirá o cultivo de um quarto de metro cúbico de biomassa, onde, no total, dos 12 bancos que estarão localizados em um dos corredores externos do hospital, poderão ser cultivados 3m³ do material principal para esta obra.

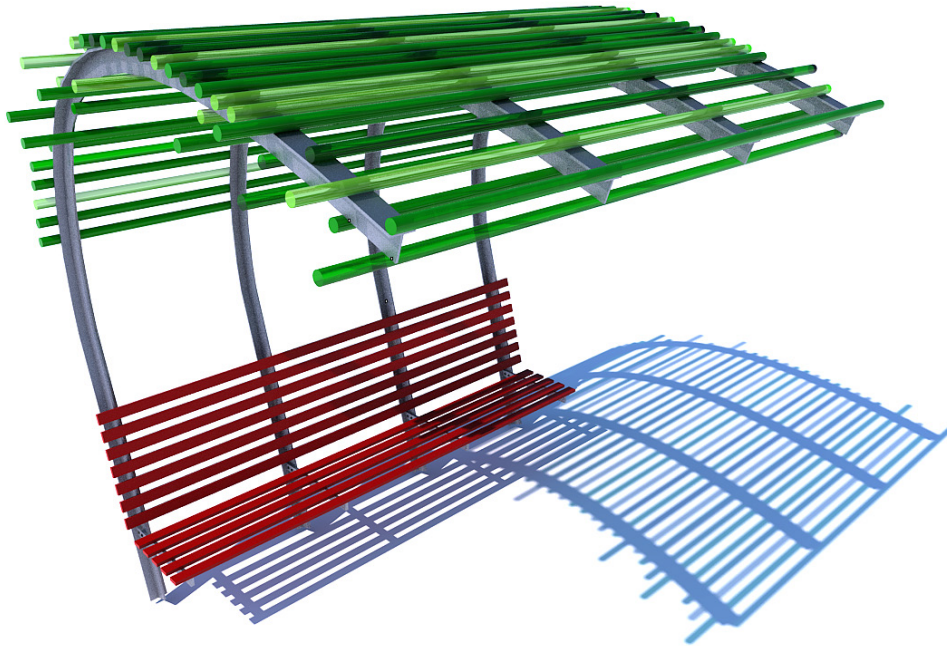


Figura 37. Mobiliário urbano com proteção solar a partir de fotobiorreatores verticais.

Por último, mas não menos importante, foram utilizados fotobiorreatores planos ou de janelas, os quais, na minha opinião, são os mais adaptáveis na arquitetura além de permitir um maior volume de cultivo de microalgas, aproveitando melhor a área utilizada. Estes fotobiorreatores como os dois tipos anteriores foram pensados também para as fachadas dos pavilhões em diferentes formas e posições, proporcionando, igualmente, proteção do sol e abrigo para as pessoas. Do mesmo modo que os anteriores, possibilitarão uma integração com o entorno e ajudarão a transmitir a calma necessária para o rápido restabelecimento e recuperação dos pacientes do hospital.



Figura 38. Vista de pavilhões utilizando os fotobiorreatores de janela.

Como elemento importante para o cultivo das microalgas, devido a seu grande volume, a “passarela” que comunicará os novos pavilhões com o antigo prédio do hospital universitário será coberta. Este elemento com quase 4000m² de superfície foi projetado a partir de fotobiorreatores de painéis em forma de triângulos, que situados em diferentes ângulos, brindarão uma cobertura com entrantes e salientes que darão uma sensação de movimento e transição natural entre a obra antiga e os novos elementos. Além disso, também permitirá sombra com diferentes tonalidades de verde devido a cada etapa do cultivo, conforme a densidade do cultivo, contribuindo ainda com ar fresco para o ambiente tenso das áreas do hospital. Este telhado vivo vai permitir no seu interior 480m³ de cultivo de microalgas.

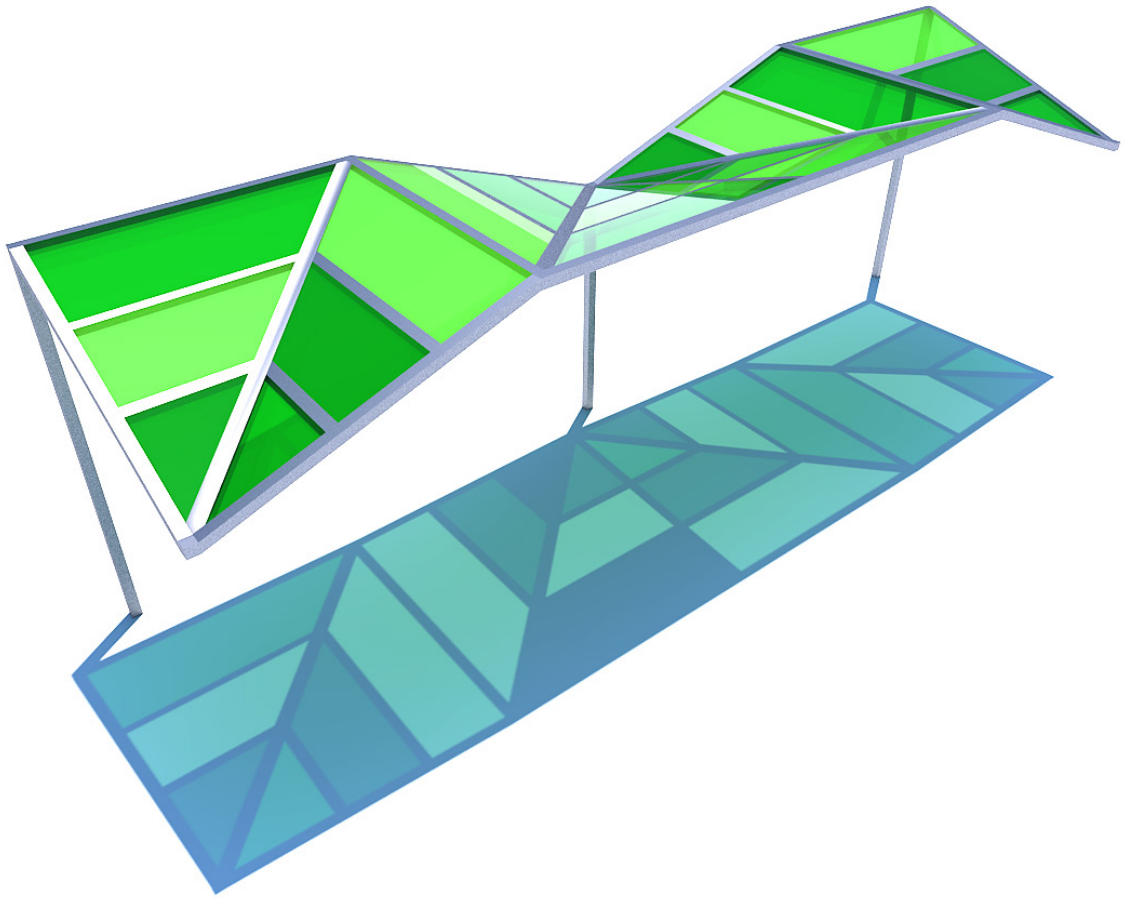


Figura 39. Cobertura ou “passarela” projetada com fotobiorreatores planos.

As “palmeiras”, elementos que foram concebidos de maneira conceitual a partir desta planta, foram desenhadas com o sistema de fotobiorreatores planos. Estas alcançarão uma altura média de 7m e contarão com seis grandes ramos que, além de proporcionar sombra e se adaptar ao entorno, serão formadas por painéis de cultivo com uma capacidade de aproximadamente 5m³ cada uma. Visando atingir um volume total de cultivo de biomassa de 80m³ a partir das 16 unidades localizadas na obra.

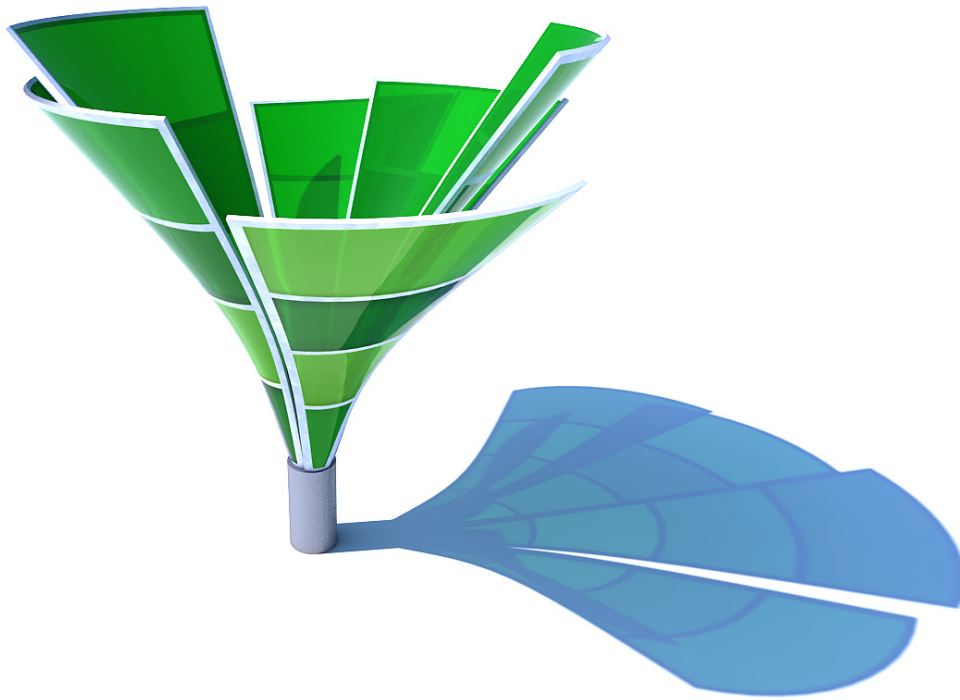


Figura 40. “Palmeira” conceitual a partir de fotobiorreatores planos.

Utilizando o mesmo método de cultivo que nas “palmeiras” e usando também alguns fotobiorreatores tubulares horizontais, foi criada uma mistura para desenvolver uma “pérgula” de fotobiorreatores que permitirá a passagem por um dos principais corredores localizados no jardim interno, entre os pavilhões. Esta pérgula criará também uma área de descanso e relaxamento ao mesmo tempo em que se disfruta do jogo de tonalidades verdes de sua sombra que entrarão em contraste com os bancos de vermelhos, tal efeito tem como objetivo elevar a energia e força de vontade dos pacientes e trabalhadores que caminhem por ela. Dentro desta mistura de fotobiorreatores que vão formar este elemento vai ser possível adquirir 45m³ de cultivo.

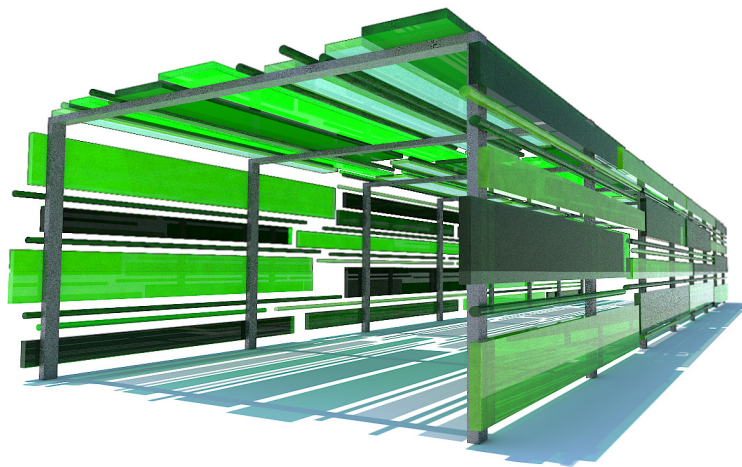


Figura 41. “Pérgula” desenhada com a mistura de fotobiorreatores planos e horizontais.

Como último elemento desenvolvido para o cultivo das microalgas no espaço do hospital universitário e aproveitando a utilização dos fotobiorreatores de janela para o cultivo, foram desenvolvido elementos na área do estacionamento que junto com a vegetação natural, proporcionarão proteção da chuva e do sol aos carros que neste estejam estacionados. Ao mesmo tempo, estes elementos de forma retangular permitirão uma produção de, aproximadamente, 130m³ de biomassa.

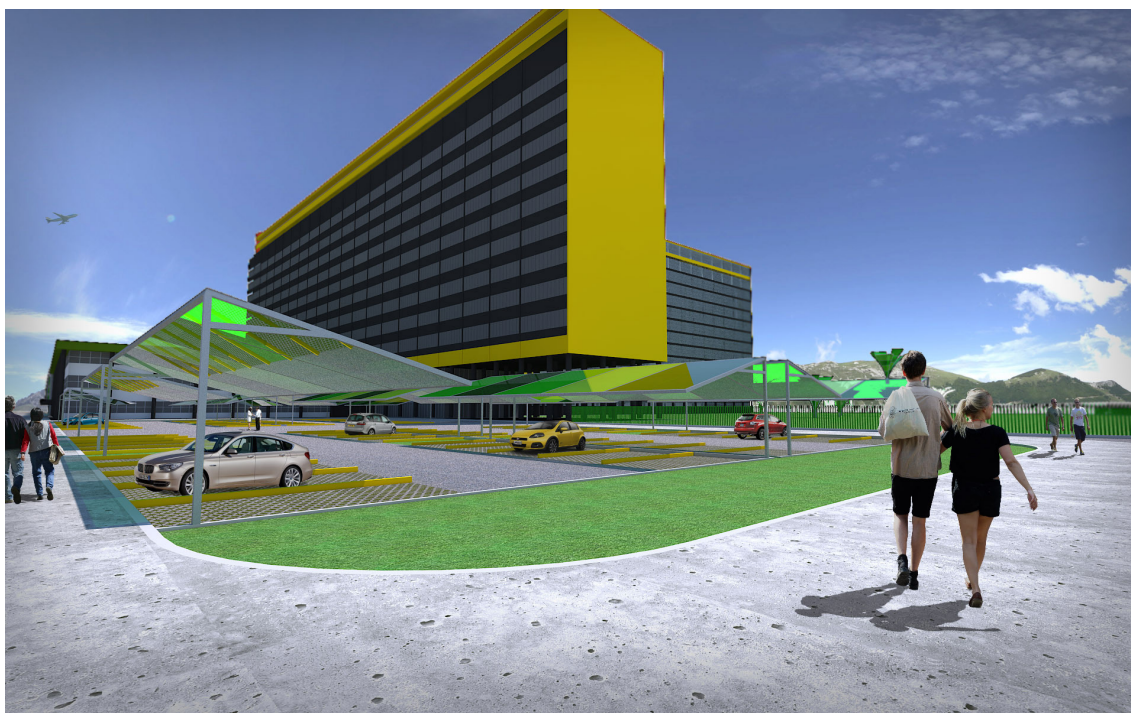
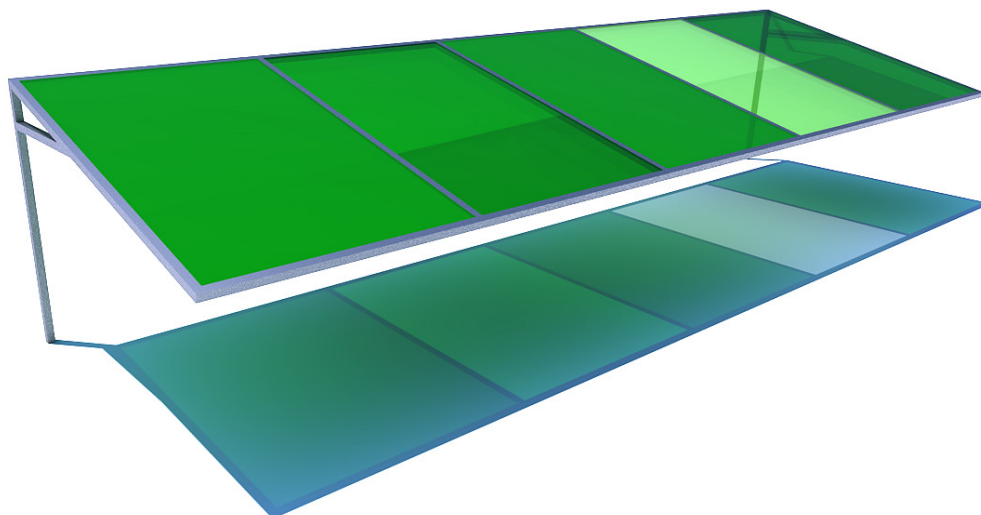


Figura 42. Proteção para carros no estacionamento utilizando fotobiorreatores planos.

VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DAS MICROALGAS NO NOVO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO.

Gestão da Energia

O setor hospitalar, possui grandes demandas de energia devido à sua constante necessidade de disponibilidade de insumos (24 horas, 7 dias da semana), de equipamento médico, de requisitos especiais na qualidade do ar interior e do controle das enfermidades (VOLTIMUM, 2013).

A utilização de microalgas neste caso pode trazer algumas vantagens para o hospital, já que, como parte do processo, as microalgas circulam dentro dos fotobiorreatores onde há água e nutrientes: estas absorvem luz e CO_2 , convertendo-os em energia que pode ser utilizada no mesmo edifício ou em óleo que pode ser vendido para beneficiar a economia do hospital. Para conseguir este objetivo, a biomassa úmida obtida do cultivo, é seca a partir de centrifugas, resultando 90% de água e 10% de biomassa seca. É com este 10% que outro sistema de conversão vai transformar esta biomassa seca em biocombustível ou óleo que podem ser utilizados no próprio hospital ou vendidos gerando ganancias para a instituição.

A partir dos dados apresentados pelos autores Laryssa Ramos Holanda e Francisco de Sousa Ramos da UFPE no capítulo anterior e sabendo-se que, em média, um leito hospitalar no Brasil consome 24KW/h, podemos calcular, utilizando as calculadoras de carbono elaboradas para o Brasil¹, a quantidade de Kg de CO_2 que será gerado, em média, 14Kg de CO_2 por leito por dia. Portanto, segundo (CHISTI, 2007), a cada Kg de CO_2 , pode ser obtido 0,55Kg de biomassa, o que dá como resultado 7,8Kg de biomassa. Entretanto, somente 10% desses 7,8Kg de biomassa pode ser transformado em biodiesel e depois em energia elétrica. Estamos assumindo de uma forma conservadora que apenas 10% de biomassa seca é composta por lipídios convertíveis em biodiesel e depois em energia elétrica. Como resultado são obtidos 0,78Kg de óleo de algas que representam 7800Kcal. Colocando esta energia térmica em um gerador diesel/ biodiesel, somente o 30% vai virar energia elétrica, o que dá como resultado 2340Kcal ou 2,72KWh. Representando uma recuperação de energia de 11,3% para o hospital e uma economia de R\$ 1,03 por dia por leito ou R\$ 376,3 por leito ao ano. Sendo que esta recuperação é equivalente, somente, ao CO_2 que o cultivo das microalgas pode captar com o consumo de um leito hospitalar.

1

<http://www.ibdn.org.br>

<http://www.semarh.goias.gov.br>

<http://www.idesam.org.br>

<http://www.iniciativaverde.org.br>

Melhorar a eficiência no consumo energético do hospital traz numerosas vantagens, mas uma das principais é o benefício sobre o meio ambiente, já que um menor consumo energético implica em uma menor emissão de gases de efeito estufa.

Obtenção de Biodiesel

O biodiesel, por ser um combustível ambientalmente mais limpo e alternativo ao petro-diesel, é obtido a partir de fontes renováveis, primordialmente os óleos vegetais, sendo visualizado como uma saída técnica para qualquer empreendimento que consuma diesel derivado do petróleo. As microalgas têm produtividade em óleo cerca de quinze vezes maior do que a palma oleaginosa de maior produtividade. As aplicações desses óleos são inúmeras, porém, destaca-se que óleos provenientes de microalgas são semelhantes aos óleos vegetais e podem ser considerados como potenciais substitutos de produtos de petróleo (ARANDA, D.; REYES, Y., 2013).

O consumo de combustível no hospital pode ser elevado devido à utilização de energia elétrica e combustível como fontes de energia para seu adequado funcionamento e prestação de serviços.

O cultivo das microalgas utilizado no novo Hospital Universitário vai contribuir com a redução do consumo de combustível. Segundo análises laboratoriais do departamento do GREENTEC da escola de química da UFRJ para cada litro de cultivo de biomassa úmida pode ser obtido 2g de óleo (GREENTEC, 2015). Então somando o volume de cultivo de cada elemento projetado para o novo Hospital Universitário, poder ser obtido 2,18milhões de litros de cultivo, os quais serão convertidos em 4,36milhões de gramas de óleo. Segundo dados obtidos nas mesmas análises laboratoriais, do total do óleo obtido, somente 20% poderá ser convertido em biodiesel. O que representa para o Hospital Universitário uma produção de 872Kg de biodiesel a cada 7 dias, o que corresponde à duração do processo de desenvolvimento das microalgas. Ao mês, podem ser obtidas então, aproximadamente 3,5 toneladas de biodiesel ou 42 toneladas ao ano. Para esta produção de biodiesel, segundo o dado de (CHISTI, 2007) mencionando anteriormente, para esta quantidade de combustível serão consumidas 75,6 toneladas de CO₂ ao ano.

Este volume de biocombustível poderá suprir uma boa percentagem do consumo do hospital o que representa um menor uso de fontes não renováveis para o país. Além disso, o consumo de CO₂ recuperado no cultivo vai diminuir a emissão dos gases de efeito estufa na atmosfera, criando uma imagem positiva para o hospital.

Caso produza-se 20% de biomassa seca como biodiesel, ainda restam 80% de biomassa seca que pode ser vendida como ração para peixes e camarões a um preço médio de um dólar americano por cada Kg. Portanto, se cada 7 dias, poderão ser obtida 3488Kg de biomassa seca, ao mês, podem ser obtidos então, aproximadamente US\$ 13952 ou R\$41856. Representando uma economia para o hospital de mais de meio milhão de Reais ao ano.

Tratamento e reuso da Água

O consumo da água é um aspecto ambiental importante para o setor hospitalar já que, na maioria dos processos, faz-se uso deste recurso.

Nutrientes para o cultivo de microalgas (especialmente nitrogênio e fósforo) podem ser obtidos a partir de águas residuais, tendo, nestes casos, dupla funcionalidade: captura de CO_2 e tratamento de efluentes (BRENNAN, L. OWENDE, P.2010). As microalgas podem ser utilizadas para o tratamento de efluentes contaminados com NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^- , já que utilizam esses nutrientes para seu crescimento (MATA, T. M. et al. 2010). Portanto, para o desenvolvimento das microalgas, pode ser utilizada a água das instalações sanitárias, da lavanderia, da limpeza de instalações e dos restaurantes.

Esta diminuição no consumo de água traz benefícios ambientais e econômicos diretos como:

- Uso eficiente de um recurso natural.
- Diminuição dos gastos com consumo e disposição.
- Menor gasto de aditivos químicos.

Quanto à qualidade da água, o resultado do tratamento a partir das microalgas é de qualidade similar à água da chuva, sendo possível sua utilização no sistema de refrigeração, alimentação de caldeiras, rega, para o transporte, para a limpeza de ruas, etc. Como citado anteriormente, somente estas atividades podem chegar a até 70% do consumo da água total de um hospital.

Para o caso do Hospital Universitário com o cultivo das microalgas em cada elemento projetado e descrito anteriormente, poderá ser cultivado um total de 2,18milhões de litros de cultivo, dos quais 10% será convertido em biomassa seca para a produção de outros componentes. Os 90% restantes, que representam 1,962milhões de litros, será de água recuperada que poderá ser utilizada, parte no próprio cultivo das microalgas e parte em diferentes usos vinculados

ao hospital já mencionados. A redução do consumo de água, representa uma redução no impacto ambiental e por conseguinte uma maior responsabilidade ambiental e social.

Conforto Higrotérmico

As características do projeto do Hospital Universitário contemplam nas coberturas e entrepisos, lajes com boas dimensões que permitem uma circulação agradável ao longo do perímetro de cada unidade que constitui o hospital.

Embora a maior parte dos setores do hospital precise de ambientes condicionados artificialmente para manter os espaços livres de infecções, pensou-se na proteção solar das fachadas destes lugares com o objetivo de diminuir a temperatura das paredes exteriores e, com isto, em uma diminuição do consumo elétrico. Esta proteção é possível também a partir da utilização dos fotobiorreatores, já que estes fazem função de brise-soleil nas fachadas do hospital. As localizações destes elementos foram pensadas de forma a permitir a circulação do ar nos entornos dos edifícios, mas evitando a incidência do sol diretamente nas fachadas.

Tendo em conta que uma das necessidades principais para o cultivo das microalgas e para o processo de fotossínteses para seu desenvolvimento é a irradiação solar direta na superfície do cultivo, os sistemas de fotobiorreatores utilizados nas fachadas do hospital universitário acabam por se tornar um elemento a mais favorecendo o conforto higrotérmico de cada área do hospital.

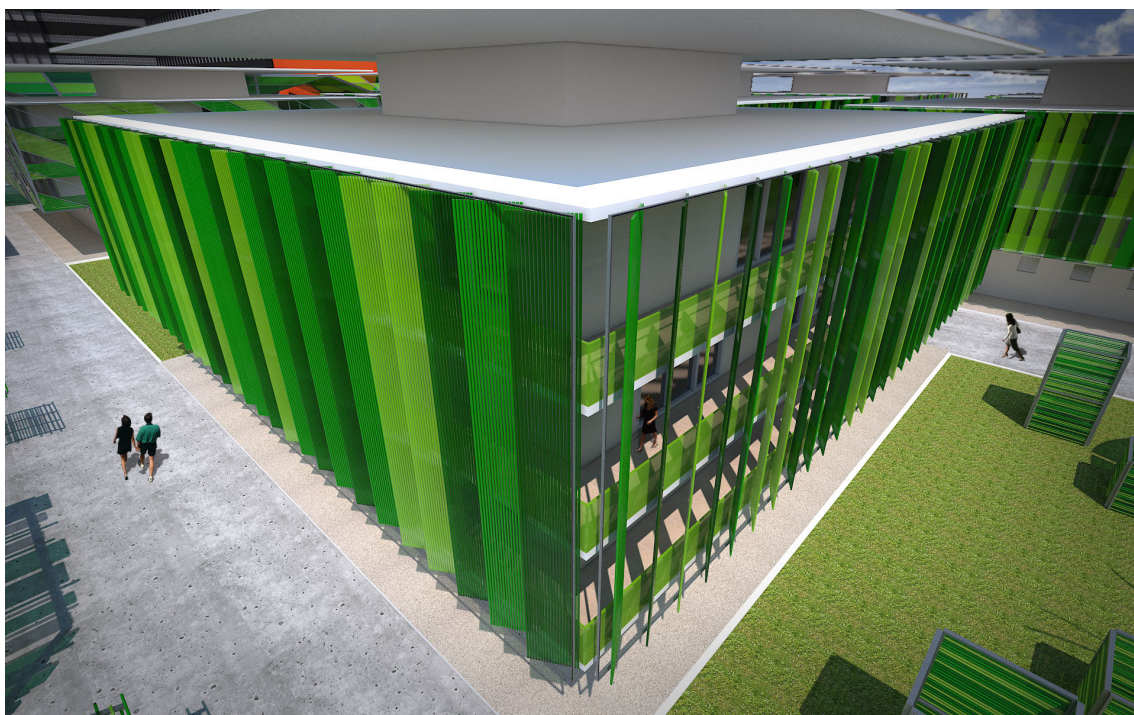


Figura 43. Proteção solar das fachadas a partir dos fotobiorreator.

Conforto Acústico

Os ruídos podem alterar as ações humanas, mudando o humor das pessoas e causando vários distúrbios. Tratando-se de ambientes hospitalares deve-se seguir parâmetros de limite de tolerância aos quais muitos hospitais não obedecem e são projetados sem o mínimo conforto para os pacientes que se encontram sob variados diagnósticos médicos e, requerem repouso (PEREIRA, K. 2012). Esses ruídos propagados levam um grande desconforto para as pessoas que estão em tratamento, pois necessitam de um espaço de tranquilidade para ter uma melhor recuperação (SAMPAIO, A.; CHAGAS, S. 2009).

Em maiores centros, os hospitais se localizam em meio ao conturbado movimento das cidades onde há maiores índices de poluição sonora, com ruídos por todos os lados de carros, de pessoas que transitam, de maquinário de edificações em pleno funcionamento, além dos ruídos internos como as equipes de emergência, sistemas de informações e notícias através de alto-falantes, equipamentos de climatização e até os elevadores, afetando a tranquilidade dos pacientes que se encontram internados em tratamento.

Este fator de conforto, importante na recuperação dos pacientes dos espaços de saúde, pode ser melhorado com a utilização das microalgas. Através dos elementos dos fotobiorreatores utilizados nas fachadas, pode ser possível controlar, de certo modo, o ruído que se produz nas áreas exteriores dos hospitais, sendo estes os primeiros elementos da fachada que bloquearão as emissões do ruído exterior que atingirão o novo hospital universitário, melhorando o bem-estar dos pacientes e trabalhadores em geral.

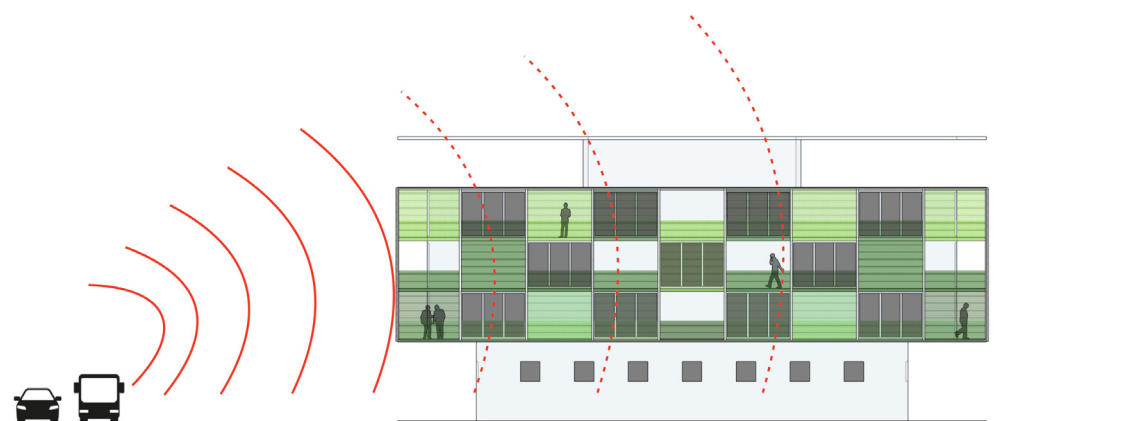


Figura 44. Controle da poluição sonora.

Conforto Visual

A partir da análise dos conceitos de sustentabilidade, de arquitetura hospitalar, e de conforto e qualidade, é constatada a importância da preocupação que projetos hospitalares devem ter, desde o início, com os recursos naturais e a sua adequação ao meio ambiente.

A nova tipologia do Hospital Universitário com seu design pavilhonar, tem em conta essa importância ambiental para os pacientes. A incorporação dos pátios interiores melhora o intercambio dos espaços com o entorno.

Tanto os fotobiorreatores utilizados nas fachadas como os elementos usados na paisagem, integram-se ao design do novo hospital. Estes fotobiorreatores com o cultivo das microalgas em seu interior, apresentarão diferentes tonalidades de verde que entre seus benefícios se encontram a transmissão de tranquilidade, de equilíbrio, na aceleração do processo de recuperação, além de provocar um efeito calmante que pode aliviar o estresse dos pacientes.

Todos estes fatores vão gerar uma melhor qualidade ambiental para o hospital que, além dos aspectos ambientais, reafirmará os processos de design e inovação, de conforto, qualidade construtiva e estética representados neste projeto para espaços de saúde.

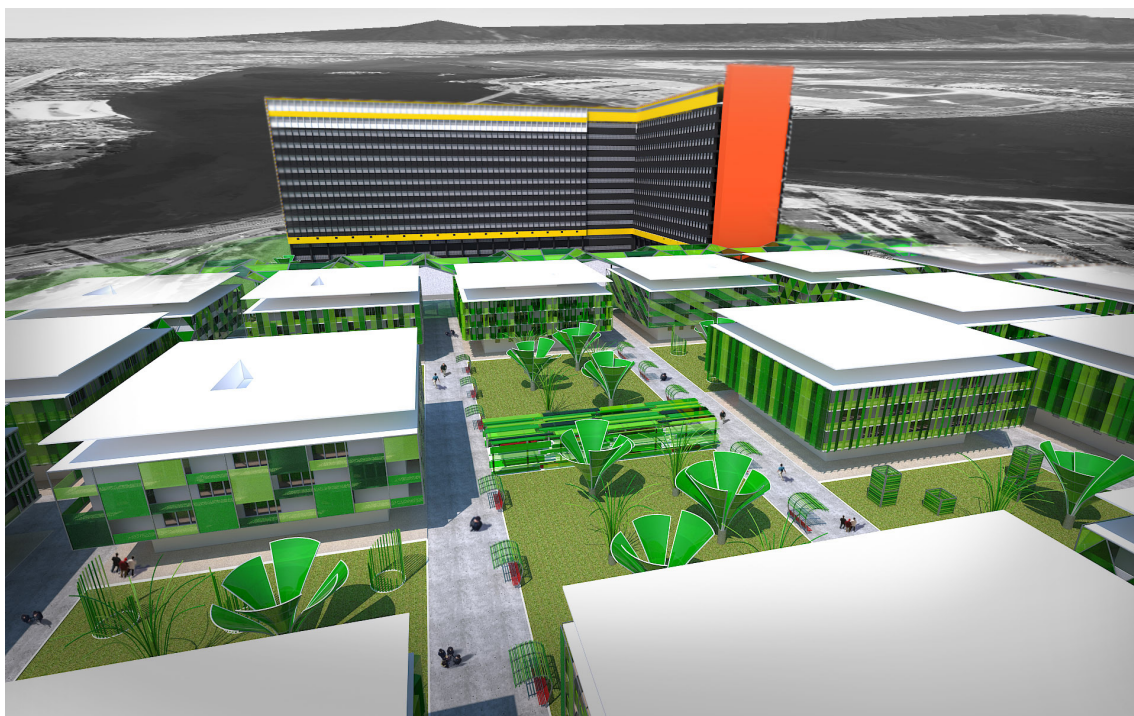


Figura 45. Fotobiorreatores se integram na paisagem e ao design do novo hospital.

CONCLUSÕES PARCIAIS

Com a utilização dos fotobiorreatores nas fachadas do novo hospital universitário, para o cultivo das microalgas, introduzem-se elementos precisos para tornar o hospital mais adequado aos novos tempos e necessidades sociais e ambientais.

A nova tipologia horizontal utilizada vai propiciar o cultivo das microalgas, especificamente, a partir dos três principais tipos de fotobiorreatores estudados, sendo inseridos na arquitetura e na paisagem com o objetivo de aproveitar as vantagens de cada modelo e propiciando um melhor intercâmbio entre o prédio e o meio ambiente.

Para a demanda de energia, somente aproveitando o CO₂ produzido a partir do consumo de energia de um leito hospitalar, o cultivo das microalgas pode produzir combustível para gerar 2,72KW, representando uma recuperação de energia de 11,3% do consumo por leito ao dia. Portanto, o resultado seria uma economia de R\$ 376,3 por ano por leito.

O consumo de combustíveis no hospital pode ser elevado devido à utilização de energia elétrica e combustíveis como fontes de energia, mas a partir do cultivo de microalgas calculado para o novo hospital universitário, podem ser produzidas 42 toneladas de biodiesel ao ano, que vai significar um consumo ao ano de 75,6 toneladas de CO₂. Isto representa um menor uso de fontes não renováveis e uma menor emissão de gases de efeito estufa, repercutindo favoravelmente com o meio ambiente e proporcionando uma imagem positiva para o hospital.

Caso produza-se 20% de biomassa seca como biodiesel, ainda restam 80% de biomassa seca que pode ser vendida como ração para peixes e camarões. Representando uma economia para o hospital de mais de meio milhão de Reais ao ano.

As microalgas podem ser utilizadas também para o tratamento da água. Por outro lado, os 90% de água utilizado no cultivo, que representam 1,962 milhões de litros de água, podem ser reutilizados no cultivo seguinte ou para outros usos vinculados ao funcionamento do hospital, podendo representar uma redução do consumo de água e uma redução no impacto ambiental pela emissão de esgoto.

Para o conforto acústico, a utilização das microalgas pode controlar, de certo modo, a entrada de ruído externo, já que os fotobiorreatores localizados nas fachadas dos pavilhões vão servir como uma primeira camada que ajuda a bloquear o ruído externo.

Tanto os fotobiorreatores utilizados nas fachadas como os elementos usados na paisagem, vão favorecer o conforto visual a partir das cores que apresentarão. Entre seus benefícios encontram-se: transmissão de tranquilidade, equilíbrio, aceleração do processo de recuperação dos pacientes, entre outros. Gerar-se-á uma melhor qualidade ambiental e visual para o hospital.

CONCLUSÕES

A partir do estudo bibliográfico constatou-se que os hospitais entre todas as atividades de serviços, são um dos principais consumidores de energia, além de gerarem quantidade significativa de resíduos e gastarem grandes quantidades de água para o seu funcionamento. Identificou-se a necessidade de aprimorar ações de gestão ambiental nas organizações hospitalares, já que o consumo nacional em relação ao internacional demonstra que ainda é preciso continuar mudando e desenvolvendo ações e estratégias para mitigação de impactos ambientais.

É preciso redesenhar ou modificar os hospitais, e mais ainda, planejar e projetá-los com todas as características de um hospital sustentável. Não se pode perder de vista que, a longo prazo, a redução de custos resultantes da aplicação de medidas ecológicas é muito importante e superam os investimentos necessários para a implementação das mesmas.

A utilização das microalgas contribuiria de uma maneira positiva ao pensamento de uma arquitetura ambientalmente sustentável e pode ser inserida favoravelmente no ambiente hospitalar. Painéis com microalgas provêm muitas vantagens na crescente tendência de projetos imobiliários verdes que ganham força no mundo, sendo a principal o fato de que implica em obter-se 100% de energia renovável e autossustentável, sua utilização está pensada para que as algas nas fachadas “bioreactivas” cresçam mais rápido sob a luz solar direta, 10 vezes mais rápido que uma planta de maior porte como as usadas para cobrir fachadas e telhados verdes e que até agora são as alternativas mais utilizadas em este tipo de construções.

Após um estudo sobre os principais sistemas utilizados no cultivo de microalgas, chegaram-se a determinadas conclusões consideradas na proposta do presente projeto:

- a) A utilização de fotobiorreator (sistema fechado) no cultivo de microalgas tem maiores vantagens que os sistemas abertos, incluindo a facilitação da coleta de biomassa, menor geração de poluentes, melhor controle das condições de funcionamento e menor investimento em construção.
- b) O projeto de um fotobiorreator deve levar em consideração a finalidade para a qual este vai ser empregado e conhecer as condições em que serão operados.

c) As principais variáveis que afetam o cultivo das microalgas são luz, temperatura, pH, nutrientes, transferência de gás, turbulência e mistura.

Com a utilização dos fotobiorreatores nas fachadas do novo hospital universitário para o cultivo das microalgas, serão introduzidos elementos precisos para tornar o hospital mais adequado aos novos tempos e necessidades sociais e ambientais.

A nova tipologia horizontal utilizada vai propiciar o cultivo das microalgas, especificamente a partir dos três principais tipos de fotobiorreatores estudados, sendo inseridos na arquitetura e na paisagem com o objetivo de aproveitar as vantagens de cada modelo, propiciando o melhor intercâmbio entre o prédio e o meio ambiente.

Este desenho permitirá a produção de até 42 toneladas de biodiesel ao ano, o que significará um consumo de 75,6 toneladas de CO₂. Isto representa um menor uso de fontes não renováveis e menor emissão de gases de efeito estufa à atmosfera, repercutindo favoravelmente com o meio ambiente e proporcionando uma imagem positiva para o hospital universitário.

As microalgas podem ser utilizadas também para o tratamento da água. Por outro lado, 90% da água utilizada no cultivo pode ser reutilizada no cultivo seguinte ou para outros usos vinculados ao funcionamento do hospital, podendo representar uma redução do consumo de água e uma redução no impacto ambiental pela emissão de esgoto.

A fachada criada pelos elementos de cultivo na paisagem e no perímetro dos pavilhões favorecerá o conforto acústico, melhorando de certo modo o bem-estar dos pacientes e trabalhadores em geral.

Tanto os fotobiorreatores utilizados nas fachadas como os elementos usados na paisagem, vão favorecer o conforto visual a partir das cores que apresentarão. Entre seus benefícios encontram-se: transmissão de tranquilidade, equilíbrio, aceleração do processo de recuperação dos pacientes, entre outros. Gerar-se-á uma melhor qualidade ambiental e visual para o hospital.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABALDE, J. et al. Microalgas: cultivo e aplicaciones. España: Universidade da Coruña, 1995. 210p. (Monografías n.26).

ALGAE INVESTMENT (2008) Biological utilization of CO₂ via bioreactors, http://algaeinvestment.com/biological_utilization_of_co2_via_bioreactors.htm, Consultado: março de 2014

ANTUNES. R.; SILVA. I. C. Utilização das algas para produção de biocombustíveis. INPI: Instituto nacional da propriedade industrial. Cluster de Conhecimentos Energias Renováveis. Dezembro 2010.

ANVISA. Processamento de roupas em serviços de saúde: prevenção e controle de riscos / Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasil, 2009.

ARANDA, D.; REYES, Y. Utilização de microalgas para sequestro de CO₂, produção de biodiesel e geração de energia elétrica. 2013

ARCEO, A. A. Exame de Qualificação submetido ao Corpo Docente da Coordenação do Programa de Pós-graduação da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Produção de biodiesel mediante o processo de Hidroesterificação do óleo de microalgas. Ángel Almarales Arceo. Escola de Química. UFRJ. Rio de Janeiro. 2010

BARBOSA, M.J.G.V. (2003) Microalgal photobioreactors: scale-up and optimization. Tese de doutoramento, Universidade de Wageningen, Holanda.

BARTLETT, A.A. Reflexiones sobre sostenibilidad, crecimiento de la población y medio ambiente en Focus, Vol. 9, nº 1, 1999. Disponível em: <http://www.jlbarba.com/energia/sostenibilidad>
Consultado: setembro de 2013

BERG-NILSEN, J. (2006) Production of Micro algae based products, Nordic Innovation Centre & Algetech Produkter A.S.

BENEMAN, J. R. Microalgae products and production: an overview. Journal of Industrial Microbiology, v. 31, n. 5, p. 247-256, 1990.

BINS ELY, V. H. M. et al. Percepção Ambiental e Avaliação Técnico-Funcional em Unidade de Internação Hospitalar. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído - A Construção do Futuro. Anais ENTAC. Florianópolis: UFSC, 2006.

BIOPRODUKTE PROF. STEINBERG (2008) <http://www.algomed.de/> Consultado em fevereiro, 2014

BITENCOURT, F.; COSTEIRA, E. Arquitetura e Engenharia Hospitalar - Planejamento, Projetos e Perspectivas. 2014

BORGES, F. C. Proposta de um modelo Conceitual de biorrefinaria com estrutura descentralizada. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre. 2010.

BOROWITZKA, M. A. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. Journal of Biotechnology, v. 70, p.313-321, 1999.

BOROWITZKA, M.A. Products from microalgae. Infofish International, v.5, p.21-26, 1993.

BOURNE JR, J.K., (2007) Sonhos Verdes. National Geographic Portugal, Vol.7, Nº80, pp.8-31

BRAGA, P. Os ambientes de sangue e a humanização. Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, UFRJ/FAU, 2013

BRENNAN, L. OWENDE, P. Biofuels from microalgae-A review of Technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. In Press, Corrected Proof. 2010

BRUNO, J.J. Edible microalgae: a review of the health research. Pacifica: Center for Nutritional Psychology, 2001. V.3, 56p.

CANALES, Claudio. Hospitales de Niños en Santiago: de la humanización del hospital pediátrico a la arquitectura sanatoria. Chile, 2008.

CARIOCA, J.O.B.; HILUY FIALHO, J.J.; LEAL, M.R.L.V. et al. The hard choice for alternative biofuels to diesel in Brazil. Biotechnol Adv., v. 27, n. 6, p. 1043-1050, 2009.

CARVALHO, A.P, MEIRELES, L.A, & MALCATA F.X (2006), Microalgal Reactors: A Review of Enclosed System Designs and Performances, *Biotechnol. Prog.* 2006, 22, p. 1490-1506

CERTIK, M.; SHIMIZU, S. Biosynthesis and regulation of microbial polyunsaturated fatty acid production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v.87, n.1, p.1-14, 1999.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental. Rio de Janeiro, 2003.

COSTA, Renato; SANGULARD, Gisele. Patrimônio Cultural da Saúde: uma história possível? Rio de Janeiro, 2008

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25: 294-306, 2007.

CHISTI, Y. "Airlift bioreactors, Elsevier applied biotechnology series". Elsevier Science Publishers Ltd, 1989

DA SILVA GORGÔNIO. C. M. MICROALGAS: CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA RESIDUAL APÓS EXTRAÇÃO LIPÍDICA. Qualificação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010

DERNER. R. B; OHSEII. S; VILLELA. M; DE CARVALHOI. S. M; FETT. R. Microalgas, produtos e aplicações. *Microalgae, products and applications.* Scielo: Revista Cienc. Rural vol.36 no.6 Santa Maria Nov./Dec. 2006

DE LA PEÑA, P. El faro no. 86, Mayo, 2008.

DOUCHA, J. & LÍVANSKÝ, K. (2006) Productivity, CO₂/O₂ exchange and hydraulics in outdoor open high-density microalgal (*Chlorella* sp.) photobioreactors operated in a Middle and Southern European climate. *J Appl Phycol* Vol.18 pp.811–826.

EDUARDES, B.; HYETT, P. "Guía básica de la sostenibilidad" ed. G. Gili. 2004

ENCISO, J. MECKE, M. Utilizando energía renovable para bombear agua. Comunicaciones Agrícolas, El Sistema Universitario Texas A&M. Disponível em: <http://twri.tamu.edu>

Consultado: maio de 2014

ESCALÓN, E. Crea UV pintura ecológica a base de suero de leche. Gaceta universidad veracruzana. No. 94-96 2005. Disponível em: http://www.uv.mx/gaceta/Gaceta%2094-96/94-96/CAMPUS/CAMPUS_004.htm

Consultado: março de 2014

FERNANDEZ, F.G., CAMACHO, F.G., PEREZ, J.A., SEVILLA, J.M. & GRIMA, E, M. (1998) Modeling of biomass productivity in tubular photobioreactors for microalgal cultures: Effects of dilution rate, tube diameter, and solar irradiance. Biotechnol Bioeng. Vol.58 pp.605-616.

FRANCO, JOSÉ TOMÁS. Pabellones portátiles buscan purificar el aire a través de algas. 20 Jun 2012. Plataforma Arquitectura. <[Http://www.plataformaarquitectura.cl/?p=165280](http://www.plataformaarquitectura.cl/?p=165280)> Consultado em maio, 2013.

GAGLIA, A. (2007). Empirical assessment of the Hellenic non-residential building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. Energy Conversion and Management, 48: 1160-1175.

GONÇALVES, J.; DUARTE D. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. São Paulo, 2006

GREEN and CLEAN Hospital, Dr. Twisuk Punpeng, Asesor Principal, Ministerio de Salud, Tailandia. Presentación ante la Conferencia Regional Asiática sobre Cuidado de la Salud sin Mercurio, marzo de 2011, Manila, Filipinas.

GREENTEC. Relatório projeto COPPETEC / PETROBRÁS. “Otimização de cultivo de microalgas para obtenção de matéria-prima em fotobiorreator para produção de biodiesel”. 2015

GUENTHER, Robin. Paying it back. World Health Design: Essays in Sustainable Healthcare Design. Stockolm: The International Academy for Design and Health, v. 4, n. 2, April 2011

GUÍA SECTORIAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA: HOSPITALES, CLÍNICAS Y CENTROS DE SALUD. Centro Nacional De Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales. Medellín. 2001

HANCOCK, T. (2001). Doing Less Harm: Assessing and Reducing the Environmental Impact of Canada's Health Care System. Canadian Coalition for Green Health Care. (Canadá).

HARHAY, M. O., Halpern, S. D., Harhay, J. S. e& Olliaro, P. L., "Health care waste management: A neglected and growing public health problem worldwide", Tropical Medicine and International Health, 14(11): 1414 -1417, 2009

HARUN, R.; SINGH, M.; FORDE, G.M. et al. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. Renew Sustain Energy, v. 14, n. 3, p. 1037-1047, 2009.

HENRIKSON, Robert; EDWARDS, Mark. Imagine our algae future. USA, 2012
HIGA, J. Resíduos biológicos, La bioseguridad en ambientes hospitalarios. Revista salud, trabajo y ambiente. Vol. 9. no. 33. 2000 Disponível em: <http://clubensayos.com/Temas-Variados/Bioseguridad-Hospitalaria/313504.html>
Consultado: novembro de 2013

HOLANDA, L.R; RAMOS, F.S. Análise da Viabilidade econômica da Energia gerada através das microalgas. Revista Eletrônica Sistemas e Gestão, v.6, n.3, pp. 327-346, 2011.

IPSOM. Hospitales. <http://www.ipsom.com/clientes/eficiencia-energetica-hospitales/> Consultado em maio, 2013

KASPER. Andrea. et all. A influência da iluminação como fator de humanização em ambientes hospitalares: O caso das salas de espera e dos corredores hospitalares. SP, Brasil, 2009.

KARLINER, J.; GUENTHER, R. Agenda global para hospitais verdes e saudáveis. 2011. www.hospitaisverdes.net consultado em abril de 2014.

KIRK, E.A.; BEHRENS, P.W. Commercial developments in microalgal biotechnology. Journal of Phycology, n.35, p.215–226, 1999.

LAVENS, P; SORGELOOS, P. (eds.) (1996) Manual on the production and use

of live food for aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper. Nº361. Rome, FAO.

LEMAN, J. Oleaginous microorganisms: an assessment of the potential. *Advances in Applied Microbiology*, v.51, p.195-243, 1997.

LOPEZ, F.; ROJAS, R. Diseño y montaje de un fotobiorreactor a escala laboratorio para la producción de microalgas. Universidad Industrial de Santander. Colombia, 2010.

MAC KAY, N. "Hospital Verde". Boletín ecológico. No 3. (maio, 2004).
Disponível em: http://www.fhcalahorra.com/boletin_ecologico/Numero3/ecologico_3.htm#1
Consultado: setembro de 2014

MATA, T.M.; MARTINS, A.A.; CAETANO, N.S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 217–232, 2010.

MARIÑELARENA, A. Sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias. 2006. Disponível em: <http://www.ilpla.edu.ar/ilpla/data/ManualSistemasTratamiento2MB.pdf>
Consultado: Fevereiro de 2014

MARTÍNEZ-JERÓNIMO, F & ESPINOSA-CHÁVEZ, F. (1994) A laboratory-scale system for mass culture of freshwater microalgae in polyethylene bags. *Journal of Applied Phycology* Vol. 6 pp.423-425.

MARTINS, V. P. A Humanização e o Ambiente Físico Hospitalar. In: I Congresso Nacional da ABDEH e IV Seminário de Engenharia Clínica. Anais. Salvador. 2004. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/humanizacao_ambiente_fisico.pdf>. Acesso em maio de 2013.

MINAMBIENTE. Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. 2010 Disponível em: http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/resolucion/res_2153_021110_proto_fuentes_fijas.pdf
Consultado: julho de 2014

MIQUELIN, L. C. Anatomia dos edifícios hospitalares. São Paulo: Cedas, 1992.

MIYARA, F., La contaminación acústica en los establecimientos hospitalarios de Rosario, Argentina, 2010

MOLINAA, G. E.; MEDINA, R. A.; GIMÉNEZ, G. A. Recovery of algal PUFAs. In: Cohen, Z. Chemicals from microalgae, London: Taylor & Francis, 1999.

MOLINAB G. E, ACIÉN F. FG., GARCÍA C. F., CHISTI Y. Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scaleup. J Biotechnol 1999; 70:231–47.

MORETTI, A., PEDINI FERNANDEZ-CRIADO, M., CITTOLIN, G. & GUIDASTRI, R. (1999) Manual on hatchery production of seabass and gilthead seabream. Volume 1. Rome, FAO.

MUÑOZ, R. e GUIEYSSE, B. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. Water Research, v.40, p.2799-2815, 2006.

Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency. (2005) Commercial and Institutional Consumption of Energy Survey (CICES). Natural Resources Canada. Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency. (Canadá).

NICHOLS, B. W. - Light induced changes in the lipids of *Chlorella vulgaris*. Biochimica Biophysica Acta (BBA) - Lipids and Lipid Metabolism, 106, n.2, 274-9, 1965.

OILGAE. Biodiesel from Algae. <http://www.oilgae.com/algae/oil/biod/biod.html>. Consultado em julho, 2013

OMS. "Core Principles for achieving safe and sustainable management of health-care waste" (Princípios básicos para a gestão segura e sustentável de resíduos sanitários), Organização Mundial da Saúde, Genebra, 2007 http://www.who.int/water_sanitation_health/medi-calwaste/hcwprinciples.pdf

PEREIRA, K. Projeto de pesquisa ruídos hospitalares. Universidade do oeste de Santa Catarina, 2012.

PÉREZ, T.I. et al. Hospitales Sustentables. 2012

PÉREZ, Víctor. Novedoso fotobiorreactor para el cultivo masivo de microalgas. Universidad de Alicante. 2012

PULZ O. Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. Appl Microbiol Biotechnol 2001;57:287 – 93.

RAMÍREZ, E. et al. Caracterización físico-química y biológica de un lecho de macrófitas con retratamiento anaerobio. Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/069.pdf>

REED, C., “Saving Water Counts in Energy Efficiency.”, Inside ASHE, setembro/outubro de 2005,
[http://www.energestar.gov/index.cfm?c=healthcare.ashe_sept_oct_2005](http://www.energostar.gov/index.cfm?c=healthcare.ashe_sept_oct_2005)
Consultado: agosto de 2014

RICHMOND, A. Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. Oxford: Blackwell Science, 2004.

Route Map for Sustainable Health, National Health Service, Sustainable Development Unit, Cambridge, fevereiro de 2011.

SALIH. F. M.; HAASE. R. A. Potentials of microalgal biofuel production. ClearValue Companies, Sugar Land, Texas, U.S.A. Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels Vol. 3(1), pp. 1-4, January 2012.

SÁNCHEZ MIRÓN A, CONTRERAS GÓMEZ A, GARCÍA CAMACHO F, MOLINA GRIMA E, CHISTI Y. Comparative evaluation of compact photobioreactors for large-scale monoculture of microalgae. J Biotechnol, 2000

SAMPAIO, A.; CHAGAS, S. Avaliação de Conforto e Qualidade de Ambientes Hospitalares. Universidade de São Paulo, 2009.

SANTOS, Mauro; BURSZTYN, Ivani. Saúde e Arquitetura: caminhos para a humanização dos ambientes hospitalares. Rio de Janeiro: Senac, 2004.

SANTOS, M. Anais do congresso ABDEH, Florianópolis, 2014.

SCHINITMAN, N. I. Normas ISO 14000, Gestión Ambiental (2002). Disponível em: www.insituh.com/bajadas/Normas_ISO_14000.pdf

SHANER, H.; MCRAEPP, G. 11 Recomendaciones para mejorar el manejo de los Residuos Hospitalarios. 2002. Disponível em: <http://www.noalaincineracion.org/uploadfiles/11reccorr.pdf>

STRINGER, R. et al., Medical Waste and Human Rights. Apresentação ao Relator Especial da Comissão de Direitos Humanos das Nações Unidas, Saúde Sem Dano, maio de 2011

SZKLO, J. et al. "Energy Consumption Indicators and CHP Technical Potential in the Brazilian Hospital Sector," Energy Conversion and Management, Vol. 45, No. 13-14, 2004,

TERRY KL, RAYMOND LP. System design for the autotrophic production of Microalgae. Enzyme Microb Technol 1985;7:474–87.

TEIXEIRA, C. e outros. Um Novo Sistema de Cultivo de Microalgas para a Produção de Biodiesel. INT. Rio de Janeiro, 2007

TNRELACIONES. Contaminación hospitalaria. <http://www.tnrelaciones.com>. Consultado maio, 2013

TOLEDO, A.; DEMAJOROVIC, J. Atividade hospitalar: Impactos ambientais e estratégias de ecoeficiência. Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente. 2006

TREDICI, MR. Bioreactors, photo. In: Flickinger MC, Drew SW, editors. Encyclopedia of bioprocess technology: fermentation, biocatalysis and bioseparation Wiley; 1999. p. 395–419.

UNIVERSIDADE DE ALICANTE (2007) El futuro de la energía está en el mar, <http://www.ua.es/dossierprensa/2007/09/26/10.html>, Consultado: março de 2014.

UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA (2014) Microalgae - The Next Biofuel Producer, <http://hulab.ucf.edu/microalgae/introduction/history-of-microalgae> Consultado: Fevereiro de 2014.

VOLTIMUM. Eficiencia energética en hospitales. <http://www.voltimum.es/articulo/eficiencia-energetica-hospitales>, consultado em maio 2013.

WALTER L. ET AL. Eficiencia energética en hospitales públicos, Santiago de Chile, 2009

XU, H.; MIAO, X.; e WU, Q. High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters. *Journal of Biotechnology*, v.126, p.499-507, 2006.

ZAMBRANO, Letícia Maria de Araújo. A Avaliação do Desempenho Ambiental da Edificação: um Instrumento de Gestão Ambiental - Estudo de Caso em Indústria Farmacêutica. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

ZAPICO, D. Reflexiones sobre el impacto ambiental del sector salud. Conama 10. Congreso Nacional de medioambiente. Madrid (España), 2010.

Sites visitados:

http://www.who.int/hia/green_economy/en/ consultado em janeiro, 2014.

www.healthierhospitals.org consultado em abril, 2014.

<http://biofuels.asu.edu> consultado em setembro, 2013

<http://chlorelle.wordpress.com> consultado em setembro, 2013

<http://produkcja.ipan.lublin.pl> consultado em setembro, 2013

Google Maps. Consultado em janeiro, 2014

ABNT-NBR10151/ 2000

<http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2012/01/Avalia%C3%A7%C3%A3o+do+Ru%C3%ADdo+em+%C3%81reas+Habitadas.pdf> Consultado em outubro, 2013

ABNT-NBR10152/ 1987

http://www.vilavelha.es.gov.br/midia/paginas/NBR_10152-1987.pdf Consultado em outubro, 2013

<http://www.biodieselbr.com/noticias/materia-prima/algas/biocombustiveis-algas-10-anos-mercado-130613.htm> Consultado em abril de 2014

<http://www.ibdn.org.br> Consultado em janeiro de 2015

<http://www.semarh.goias.gov.br> Consultado em janeiro de 2015

<http://www.idesam.org.br> Consultado em janeiro de 2015

<http://www.iniciativaverde.org.br> Consultado em janeiro de 2015