



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

POR UMA INDÚSTRIA MAIS SUSTENTÁVEL: DA ECOLOGIA À ARQUITETURA

Thalita dos Santos Dalbello

Campinas - SP | 4 de Julho de 2012



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Thalita dos Santos Dalbelo

POR UMA INDÚSTRIA MAIS SUSTENTÁVEL: DA ECOLOGIA À ARQUITETURA

Orientador: Professor Doutor Evandro Ziggiatti Monteiro

Co-orientadora: Professora Doutora Emília Wanda Rutkowski

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de
Arquitetura e Construção.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO OU TESE DEFENDIDA PELA ALUNA THALITA
DOS SANTOS DALBELO E ORIENTADA PELO PROF. DR.
EVANDRO ZIGGIATTI MONTEIRO

CAMPINAS
2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

D15p Dalbello, Thalita dos Santos
Por uma indústria mais sustentável: da ecologia à
arquitetura / Thalita dos Santos Dalbello. --Campinas, SP:
[s.n.], 2012.

Orientador: Evandro Ziggiatti Monteiro
Coorientador: Emília Wanda Rutkowski.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Edifícios Industriais. 2. Ecologia Industrial. 3.
Arquitetura Sustentável. I. Monteiro, Evandro Ziggiatti. II.
Rutkowski, Emília Wanda. III. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. IV. Título.

Título em Inglês: For a more sustainable industry: from ecology to architecture

Palavras-chave em Inglês: Industrial Buildings, Industrial Ecology, Sustainable Architecture

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Graziella Cristina Demantova, Ricardo Siloto da Silva

Data da defesa: 04-07-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**POR UMA INDÚSTRIA MAIS SUSTENTÁVEL:
da ecologia à arquitetura**

Thalita dos Santos Dalbello

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

A handwritten signature in blue ink, reading "Evandro Zigiatti Monteiro".

**Prof. Dr. Evandro Zigiatti Monteiro
Presidente e Orientador | FEC – Universidade Estadual de Campinas**

A handwritten signature in blue ink, reading "Graziella C. Demantova".

**Prof.^a. Dr.^a. Graziella Cristina Demantova
FEC | Universidade Estadual de Campinas**

A handwritten signature in blue ink, reading "Ricardo Siloto da Silva".

**Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Universidade Federal de São Carlos**

Campinas, 04 de julho de 2012

À minha mãe Carmen e ao meu pai Antônio (*in memoriam*)

Agradecimentos

Sinto-me agradecida pelo fluxo de energias que me relaciona à rede de pessoas aqui citadas...

Agradeço, primeiramente, ao professor doutor Evandro Ziggiatti Monteiro, não apenas pela orientação, mas também pelas conversas de laboratório, de sala e de almoços, pelas oportunidades de desenvolvimento de projetos de pesquisas; pela amizade e pelo apoio; sem suas ideias e fluxogramas não seria possível esta pesquisa.

Agradeço imensamente a professora doutora Emília Wanda Rutkowski pelas grandes oportunidades de desenvolvimento de projetos e pesquisas, pelas conversas que abriram meu horizonte, pelas risadas, pelos sustos, pelos intensos momentos de reflexão e discussão, pela amizade e pela apresentação ao conceito de ecologia industrial.

Agradeço a minha família, minha mãe Carmen e meu pai Antônio – Beleza – (*in memoriam*), que sem seu amor, eu não estaria presente e tampouco conseguiria esta realização, meu irmão Leandro e meu avô Chico (*in memoriam*) pelos valores de vida que me ensinaram; meus tios, tias, primos e primas, pelo apoio e pelo entendimento das minhas ausências em datas importantes...

Agradeço ao meu companheiro de todas as aventuras Raphael Abreu – Panda –, pelo amor incondicional, apoio, carinho e dedicação em todos os momentos.

Agradeço a minha cachorrinha linda, Ika, pelo companheirismo nas madrugadas adentro e pelos momentos de distração e ócio criativo.

Agradeço aos membros do laboratório Fluxus, pelo acolhimento e pelos quatro anos dos mais diversos momentos, pelo apoio, pelo compartilhamento, pelas discussões multi trans mega disciplinares, pelos almoços e picnics e pela imensa amizade, principalmente, Ana Elisa, Graziella, Juliana, Rodrigo, Alessandro, Gaudêncio, Elson, Dmitri, André, Fernanda...

Agradeço aos professores da FAU|FEC – UNICAMP, em especial, Silvia Mikami, Ana Góes e Dóris Kowaltowski, que contribuíram muito para minha formação e também para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço aos amigos de infância, de vida e de faculdade, especialmente, Eduardo Corradi, Daniel Turczyn, Nara Sbrissa, Marcos Fantini, Thaís Azevedo, Anáí Vieira, Eber Oliveira e Paulo Bachel, com os quais passei momentos inesquecíveis, momentos intelectuais, momentos projetuais, momentos lúdicos, momentos tristes e momentos muito felizes e com os quais compartilhei boa parte da minha vida.

Agradeço à Ilse Erda Dudeck, grande amiga e disseminadora do conhecimento do tempo e da sincronicidade e ao grupo Lamat – Sabrina, Rebeca, Val, Egle e Gisela – pela amizade e pelos momentos de elevação espiritual e dança.

Agradeço, finalmente, à empresa H2MK, pelo financiamento desta pesquisa, especialmente Marco e Henrique e à equipe do SAE-Empresa, pelo apoio.

“An industrial society need not obliterate the environment, but should work with it to create meaningful landscapes”

(COTÈ et al, 1994).

Resumo

Esta pesquisa analisa a aplicação das diretrizes de ecologia industrial e de arquitetura dos edifícios industriais através de sua certificação ambiental. A revisão teórico-conceitual aborda a evolução dessa arquitetura ao longo das revoluções industriais, principalmente no que se refere ao processo de projeto, às tecnologias construtivas e à relação do edifício com seu entorno. Expõe também o conceito de ecologia industrial, seus princípios, diretrizes e aplicações no meio urbano, culminando com os indicadores de desempenho de edifícios presentes no processo de certificação ambiental de edifícios industriais - *Building Establishment Environmental (BREEAM)*. Partindo da hipótese de que a ecologia industrial é um conceito mais amplo, em termos de sustentabilidade, o método de análise baseia-se na construção de um quadro de correlação entre suas diretrizes, as diretrizes de arquitetura e a certificação pelo BREEAM. O objetivo principal desta pesquisa é traçar diretrizes que agregam mais ecologia à arquitetura dos edifícios industriais, contribuindo para o aumento da sustentabilidade.

Palavras-chave: Edifícios Industriais, Ecologia Industrial, Arquitetura Sustentável

Abstract

This research analyses the application of the guidelines of industrial ecology and architecture of industrial buildings through its environmental certification. The theoretical-conceptual review focuses on the evolution of this architecture over the industrial revolutions, especially with regard to the design process, to building technologies and the relationship of the building with its surroundings. It also exposes the concept of industrial ecology, its principles, guidelines and application in urban areas, culminating in the performance indicators of buildings present in the process of environmental certification of industrial buildings - Environmental Building Establishment (BREEAM). On the assumption that industrial ecology is a broader concept of sustainability, the method of analysis is based on preparing correlation table between their guidelines, the architectural guidelines and the BREEAM certification. The main objective of this research is to establish guidelines that add the most ecology to industrial building's architecture, contributing to increase sustainability.

Keywords: Industrial Buildings, Industrial Ecology, Sustainable Architecture.

Lista de Figuras

Figura 1: Fábrica do século XVIII.....	6
Figura 2: Soho Factory, 1766.....	7
Figura 3 - <i>Ditherington Flax Mill (1797)</i>	8
Figura 4: Palácio de Cristal, Sede da Grande Exposição – 1851	9
Figura 5: Projeto da fachada do Palácio de Cristal – 1851.....	10
Figura 6: Grande Exposição Universal de 1889, Torre Eiffel – Paris, 1889	11
Figura 7: Implantação da Cidade-Jardim de Howard.....	12
Figura 8: Packard Motor Company, Louis Kahn – 1903	14
Figura 9 - Ford Highland Park, Detroit – 1910.....	17
Figura 10: Interior da fábrica da Ford em Highland Park, Detroit – 1910.....	17
Figura 11: The AEG Turbine Factory, Berlin – 1909	18
Figura 12: Fagus Factory – Leine, Alemanha – 1911.....	19
Figura 13: Bauhaus em Dessau – projeto de Walter Gropius - 1925.....	21
Figura 14: Fábrica Van Nelle, Roterdã, Holanda – 1927	22
Figura 15: Cummins Diesel Factory – 1966	24
Figura 16: Construção da primeira fábrica VW do Brasil	25
Figura 17: Fachada da fábrica Fleetguard, Quimper – 1979	26
Figura 18: Encaixe da estrutura de aço da fábrica Fleetguard, Quimper – 1979	26
Figura 19: Edifício Hering 1977-1984 – unidade malharia	28
Figura 20: Edifício Hering 1968-1975 – unidade costura	28
Figura 21: Representação da evolução de uma cidade industrial.....	30
Figura 22: Igus Plastics Factory – 1992	31
Figura 23: Motorola Factory, Swindon – 1998	31
Figura 24: Volkswagen Transparent Factory, Dresden – 1999/2000.....	32
Figura 25: Dyson Malmesbury Factory, Wiltshire - 1998.....	33
Figura 26: Dyson Malmesbury Factory, Wiltshire – 1998 – vista noturna	33
Figura 27: David Mellor Factory, Parque Nacional Peak – 2000	33
Figura 28: Fábrica da Rolls Royce, West Sussex – 2003.....	35
Figura 29: Implantação esquemática da Fábrica Natura, Cajamar – 1996	36
Figura 30: Fachada principal Fábrica Natura, Cajamar - 1996.....	37
Figura 31: Fachada lateral Fábrica Natura, Cajamar - 1996	37
Figura 32: Fábrica Fator 5 - 2005.....	38
Figura 33: Fábrica Mahle - 2006	38
Figura 34: Fábrica da Ferrari, Maranello – 2009	39
Figura 35: Fábrica da Toyota, Burnaston – 2010.....	39
Figura 36: Fábrica Sears, Stokton, 2009.....	40
Figura 37: Distrito de Kalundborg, Dinamarca - 2009	42
Figura 38: Imagem aérea do município de Kalundborg.....	59
Figura 39: Imagem aérea do Synergy Park.....	64
Figura 40: Imagem aérea do Londonderry EPI.....	65
Figura 41: Imagem aérea do Cape Charles Sustainable Technologies Industrial Park	66

Figura 42: Ilustração de diretriz de orientação solar de um EPI.....	72
Figura 43: Ilustração de diretriz de energia eficiente para o edifício de um EPI.....	72
Figura 44: Ilustração de diretriz de densidade de um EPI.....	72
Figura 45: Exemplo de detalhamento de um assunto BREEAM I.....	121
Figura 46: Exemplo de detalhamento de um assunto BREEAM II.....	122

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Interação sistema natural e industrial	47
Gráfico 2: Ecologia Urbana e Sistemas industriais.....	49
Gráfico 3: Três níveis de aplicação da ecologia industrial.....	54
Gráfico 4: Evolução da SI em Kalundborg – 1961 a 1979.....	60
Gráfico 5: Evolução da SI em Kalundborg – 1980 a 1989.....	60
Gráfico 6: Evolução da SI em Kalundborg – 1990 a 1999.....	61
Gráfico 7: Evolução da SI em Kalundborg – 2000 a 2010.....	62

Lista de Tabelas

Tabela 1: Ecopolos – Programa Rio Ecopolo – 2002.....	68
Tabela 2: Diretrizes para projeto urbano e construção de um EPI.....	69
Tabela 3: Diretrizes de design ecológico para um EPI	70
Tabela 4: Tipologias construtivas nos sistemas de certificação ambiental de edifícios	78
Tabela 5: Resumo das Categorias e Detalhamentos – BREEAM.....	79
Tabela 6: Créditos ambientais – BREEAM	81
Tabela 7: Níveis de Classificação BREEAM	81
Tabela 8: Padrões mínimos – BREEAM Industrial.....	82
Tabela 9: Áreas cobertas pelo BREEAM Industrial	82
Tabela 10: Edifícios industriais com certificação BREEAM Industrial	83
Tabela 11: Cronograma da pesquisa.....	86
Tabela 12: Matriz de Ponderação de diretrizes de arquitetura industrial.....	88
Tabela 13: Matriz de ponderação de diretrizes de ecologia industrial.....	89
Tabela 14: Diretrizes que agregam mais ecologia à arquitetura industrial e que não estão (parcialmente/integralmente) no sistema BREEAM.....	108

Lista de Quadros

Quadro 1: Sinopse da evolução da arquitetura industrial	43
Quadro 2: Simplificando a Ecologia Industrial.....	74
Quadro 3: Sistema de certificação ambiental de edifícios BREEAM Industrial	85
Quadro 4: Mapa Conceitual de Arquitetura Industrial	92
Quadro 5: Mapa Conceitual de Ecologia Industrial	93
Quadro 6: Mapa Conceitual de Cert. Ambiental de Edifícios Industriais - BREEAM	94
Quadro 7: Quadro Comparativo Final.....	95

Sumário

1.	Introdução	1
2.	Fundamentação Teórica	5
2.1.	Arquitetura de Edifícios Industriais	5
2.1.1.	Primeira Revolução Industrial	5
2.1.2.	Segunda Revolução Industrial	10
2.1.3.	Terceira Revolução Industrial	22
2.1.4.	Quarta Revolução Industrial	34
2.2.	Ecologia Industrial	44
2.2.1.	Ferramentas de aplicação da Ecologia Industrial	51
2.2.2.	Aplicação da Ecologia Industrial	54
2.2.3.	Diretrizes de projeto de um Eco Parque Industrial	68
2.3.	Certificação Ambiental de Edifícios Industriais	75
2.3.1.	BREEAM	78
3.	Materiais e Métodos	86
3.1.	Fases da pesquisa	86
3.2.	Fundamentos metodológicos	87
3.3.	Mapas conceituais	92
4.	Resultado	95
5.	Discussão	96
6.	Conclusões	111
7.	Referências	113
8.	Bibliografia consultada	118
	Anexo I	121

1. Introdução

A passagem da cidade pré-industrial para a cidade industrial, no século XVIII, foi marcada por uma ruptura na morfologia e nas dinâmicas do tecido urbano devido à necessidade de grandes lotes para implantação do edifício e do acesso e circulação de grandes veículos de carga. Nessa fase, a indústria representou um grande impacto para o meio devido a mudanças bruscas na paisagem, à poluição agregada aos processos industriais e às péssimas condições de salubridade.

As primeiras preocupações com as relações entre os homens e o meio ambiente surgiram no século XIX, quando estudiosos constataram que a pesquisa na área da biologia nunca se completava quando o organismo era estudado isoladamente. Em 1869, o biólogo Ernst Haeckel criou o termo *ecologia* para designar o estudo das relações integradas entre seres vivos e o ambiente em que vivem (ODUM, 1985).

A preocupação da comunidade internacional com os problemas relacionados ao crescimento da humanidade em termos de degradação do meio ambiente iniciou-se formalmente na década de 70 – já no século XX - com a realização do Clube de Roma (1968) e seu Relatório (1972), quando se detectou que o grande desafio para os anos seguintes seria a pressão do crescimento populacional sobre a exploração dos recursos naturais. Posteriormente, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano (1972), também conhecida como Conferência de Estocolmo, criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, projeto que visava o controle populacional e a redução do crescimento econômico, que resultou, em 1983, na Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Essa Comissão preparou o Relatório Brundtland, em 1987, que definiu estratégias ambientais para longo prazo – ano 2000 – entre elas, a cooperação entre países em prol do meio ambiente e conceitos de sustentabilidade, criando, enfim, uma definição:

“Desenvolvimento Sustentável não é um estado permanente de harmonia, mas um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, a orientação dos investimentos, os rumos do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional estão de acordo com as necessidades atuais e futuras” (BRUNDTLAND, 1987).

A partir desse conceito de Desenvolvimento Sustentável, efetivado através da Agenda 21 (UNCED, 1992) e dos indicadores de sustentabilidade, o planejamento urbano e a arquitetura adaptaram-se às exigências através da elaboração de certificações ambientais de edifícios e de indicadores de

sustentabilidade aplicados nessas áreas. Eles surgiram na década de 90, na Europa, EUA e Canadá, a partir das necessidades de cumprimento de metas de desempenho ambiental local da UNCED (*United Nations Conference on Environment and Development*), para criar instrumentos que avaliassem o nível de sustentabilidade de um edifício.

As certificações ambientais e os indicadores de desempenho dos edifícios exigem tecnologias construtivas que possam tornar o edifício mais sustentável, fato que, seja por questões mercadológicas, sociais ou ambientais, tornou-se um importante quesito para a construção. As tecnologias passaram a ser implantadas desde a fase de projeto do edifício, passando pela obra e instalações e chegando, inclusive, em sua avaliação pós-ocupação (SILVA, 2003).

Quando se fala em empreendimentos industriais, tradicionalmente, o edifício industrial não era mais do que quatro paredes e um telhado que abrigava algum tipo de produção. Atualmente, para alcançar as metas do desenvolvimento sustentável, os edifícios industriais precisam de um projeto que focalize o processo de produção para o qual é construído (LOMBERA E ROJO, 2010), de forma a considerar a atividade industrial em todo o ciclo de vida do edifício: projeto, execução, ar, água, ruído, temperatura, resíduos e reciclagem.

Estes conceitos convergem, mais recentemente, para a ciência da *Ecologia Industrial*, termo cunhado por Frosh e Gallopoulos, em 1989, que propõe a otimização do consumo de energia e materiais e a troca de efluentes por matérias primas em processos industriais (FROSH e GALLOPOULUS, 1989). Em termos de aplicação, a ecologia industrial se propõe a avaliar as possibilidades de inter-relações de uma planta industrial e seu território de modo a permitir intercâmbios de benefícios mútuos entre empreendimentos variados (CHERTOW, 2002).

Ela surgiu como um mecanismo que torna possível a reutilização de energia, de água e de materiais que seriam desperdiçados no processo comum de produção. Embora a ecologia industrial avalie e proponha inovações na interligação das cadeias produtivas, iniciativas de arquitetura e de desenho urbano que poderiam contribuir nesse processo ainda são minimamente citadas nos exemplos ou nas diretrizes de implantação.

Considerando a hipótese de que a forma mais usada atualmente para quantificar a sustentabilidade de um edifício industrial é por meio da certificação ambiental e que esta, por sua vez, apresenta indicadores limitados ao campo construtivo do edifício industrial tradicional, a ecologia industrial apresenta-se como um campo mais holístico – social, econômico e ambiental – para contribuição no ferramental da quantificação da sustentabilidade na arquitetura industrial. Para isso, a presente pesquisa objetiva traçar diretrizes que agregam mais sustentabilidade à arquitetura industrial através de um estudo comparativo entre os indicadores de sustentabilidade usados na certificação ambiental e as diretrizes propostas para a concretização da ecologia industrial.

Inicialmente foi construída uma linha do tempo com a história e o desenvolvimento da arquitetura industrial através das revoluções industriais que o mundo sofreu e está sofrendo. Em seguida, foi feita uma revisão do conceito de ecologia industrial, desde sua origem até sua aplicação, com o objetivo de delimitar as diretrizes de ecologia industrial vinculadas à aplicação em arquitetura industrial. E, por fim, é apresentado o sistema de certificação ambiental de edifícios industrial – *BREEAM Industrial* - que possui os indicadores de desempenho do edifício industrial por ele utilizados, com o objetivo de ancorar a discussão entre as diretrizes selecionadas de arquitetura industrial e ecologia industrial.

Os objetivos específicos da pesquisa são: selecionar as principais diretrizes de arquitetura industrial relacionadas ao tempo presente; selecionar as diretrizes de ecologia industrial que estão vinculadas à arquitetura e ao processo de projeto, implantação e manutenção de parques industriais e selecionar os indicadores ambientais de construção industrial presentes na certificação mais pertinente para esta temática. As seleções são feitas através da metodologia de análise qualitativa e exposta através de mapas conceituais.

Como resultado, é elaborado um quadro comparativo entre os mapas conceituais de *Arquitetura Industrial*, *Ecologia Industrial* e *Certificação Ambiental de Edifícios*. Sua análise leva à confirmação da hipótese e ao estabelecimento de novas diretrizes de construção que contribuam para o aumento da sustentabilidade na arquitetura industrial. Espera-se, a partir dos resultados da pesquisa, a ampliação do debate sobre o ferramental que auxilia no projeto, obra, execução de um ambiente urbano-industrial mais sustentável.

Esta pesquisa está inserida no Projeto de Pesquisa Plataforma Logística Sustentável de Campinas – PLC - desenvolvido em parceria pelos laboratórios FLUXUS - Laboratório de Estudos em Sustentabilidade Socioambiental e Redes Técnicas - e LALT - Laboratório de Aprendizado em Logística e Transporte - ambos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC/Unicamp), para o qual foi desenvolvida a

pesquisa de iniciação científica “Tecnologias Ambientais de Construção aplicadas em Plataformas Logísticas”, utilizada como base de informação para esta dissertação de mestrado, representando uma continuidade ao projeto. Parte deste projeto é financiada pela empresa H2MK – Logística Aeroportuária, empresa que está implantando uma plataforma logística no município de Campinas, empreendimento que visa à sustentabilidade na área logística, contando com zonas de logística e de logística urbana, terminais de carga, áreas institucionais e de serviços, armazéns e indústrias não incômodas. .

Foram realizadas visitas técnicas auxiliares para o processo de pesquisa, entre as quais, a visita ao município de Kalundborg, na Dinamarca, local onde o grupo de pesquisa participou do 6º Simpósio de Simbiose Industrial, realizado entre 18 e 20 de junho de 2009 (http://is4ie.org/resources/Documents/6th_ISRS_Brochure_and_Agenda.pdf). Essa visita técnica, realizada em uma fase anterior ao levantamento bibliográfico, foi o início da elaboração dos problemas e da hipótese dessa pesquisa.

O Simpósio foi organizado em colaboração com o Centro de Ecologia Industrial na Universidade de Yale e com a Sociedade Internacional de Ecologia Industrial de Kalundborg. Pesquisadores de todo o mundo discutiram e trocaram experiências sobre a contribuição da simbiose industrial para a redução dos gases de efeito de estufa e para o aumento da sustentabilidade ambiental. Durante o simpósio foram realizadas visitas técnicas guiadas a todas as indústrias que fazem parte da simbiose industrial e a todo o município de Kalundborg.

Visualmente, o espaço não parece diferente de um distrito industrial comum, mas foi possível perceber, ao longo da visita, a interação entre os edifícios industriais e os demais edifícios, institucionais, comerciais e residenciais. A tubulação de água quente residual que sai da estação de energia Dong Asnæs percorre toda a cidade, adentrando pelos edifícios e aquecendo os ambientes. O paisagismo é outro elemento que integra a indústria a paisagem local, através de caminhos verdes e arborização de jardins e calçadas.

2. Fundamentação Teórica

A contextualização dessa pesquisa envolve três temáticas de áreas diferentes, mas que se cruzam e se complementam na atualidade. Para conseguir traçar diretrizes que agregam mais sustentabilidade aos edifícios industriais, faz-se necessária uma explanação histórica e conceitual que abrange a evolução da arquitetura industrial ao longo dos séculos XIX, XX e XXI, em termos dos processos de projeto, implantação e construção, principalmente quando relacionados às diretrizes de sustentabilidade.

Seguindo a cronologia, é feita a conceituação da ciência da ecologia industrial, seus princípios, ferramentas e diretrizes de aplicações. E, por fim, a fundamentação teórica expõe as certificações ambientais, ferramentas que agregam mais sustentabilidade à arquitetura industrial e que se centram como eixo da comparação.

2.1.Arquitetura de Edifícios Industriais

As indústrias, tal como são vistas atualmente nas cidades, representam a evolução de processos de fabricação, de tecnologias de construção e de diretrizes de projeto representativos de períodos históricos e contextos sociais, culturais, ambientais e econômicos. Para entendê-los, este item do capítulo traz uma linha do tempo da arquitetura industrial.

2.1.1. Primeira Revolução Industrial

Até o século XVII, a atividade de produção era destinada ao consumo familiar ou local, exercida por artesãos em suas próprias residências e localizada em países que possuíam conhecimento para geração de energia eólica, auxiliar nos processos de produção, principalmente na Europa. O processo de mercantilização ampliou a produção, que passou de familiar para regional e, com isso, aumentou o tamanho das instalações e a necessidade de energia para o processo produtivo (CAMAROTTO, 1998). Nesta fase, o edifício industrial era projetado e construído pelos próprios artesãos proprietários:

“Os construtores - artífices - é que projetavam e construíaam as fábricas, para tecelagem de algodão, a partir de métodos empíricos e baseados na experiência, sem padrões e sem ajuda de projetistas. Estes edifícios eram de paredes de alvenaria com estruturas de madeiras e uma grande extensão de aberturas de janelas”. (CAMAROTTO, 1998, p.22)

As atividades produtivas se expandiram, gerando necessidade de aumento na velocidade, na quantidade de produção e no tamanho da fábrica, relacionados diretamente com a qualidade e a eficiência das matérias primas utilizadas. A energia eólica foi substituída pela mecânica, a madeira das construções foi substituída pelo ferro e a lenha foi substituída pelo carvão no processo de fundição de metais, com o surgimento da máquina a vapor. Caracterizado como a *Primeira Revolução Industrial*, esse período que ficou conhecido como a “Era do Carvão e do Ferro”, intensificou as atividades de produção da Alemanha, França e Inglaterra entre 1760 e 1860. (CAMAROTTO, 1998; MILLS, 1951)

De acordo com Phillips (1993), o desenvolvimento industrial que ocorreu no século XVIII na Europa fez com que fossem desenvolvidas técnicas construtivas com ferro e vidro, que eram considerados os únicos materiais que satisfaziam as exigências estruturais de edifícios que abrigassem processos mecanizados de fabricação e grandes máquinas. Nessa fase, o seguimento que mais se destacava na produção era o têxtil, devido ao advento das máquinas a vapor, do tear mecânico e da máquina de fiar (MILLS, 1951).

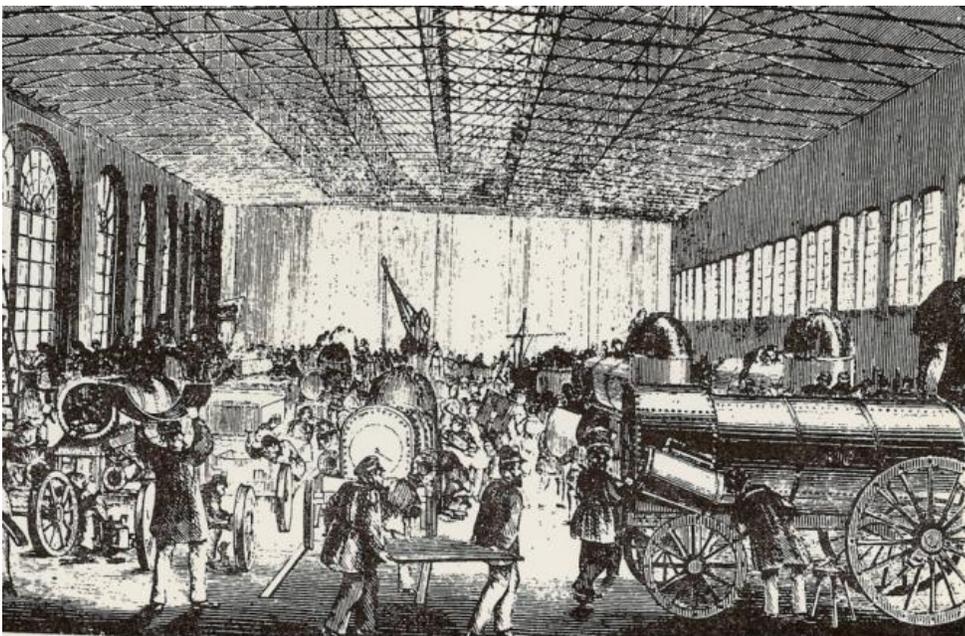


Figura 1: Fábrica do século XVIII
(fonte: GRUBE, 1936)

Nesta fábrica, a estrutura é feita em ferro; a vedação, em alvenaria; a cobertura possui abertura central que facilita a troca de calor e a iluminação. Além disso, as séries de janelas alinhadas em estrutura de ferro e vidro também contribuem para a melhoria do conforto ambiente. As máquinas movidas a vapor demonstram a transição dos períodos, por contarem com a ajuda manual dos trabalhadores.

A introdução da máquina a vapor com um disco rotatório e um condensador, inventada por Matthew Boulton e James Watt, em 1784, fez com que as fábricas pudessem ser instaladas longe de cursos de água. Assim, iniciou-se o processo de implantação de indústrias ao longo de estradas férreas e

canais de circulação de pessoas e mercadorias com o objetivo de melhorar a comercialização dos produtos e a eficiência no transporte (MUNCE, 1960).

Boulton e Watt foram responsáveis pelo projeto e a construção da *Soho Factory*: uma fábrica e depósito de sete pavimentos para a produção de artefatos de metal, como fivelas e correntes – figura 02. Localizada em uma região afastada do centro denominada Soho, próxima a Birmingham, no Reino Unido, a construção data de 1766 e levou ferro fundido na estrutura e vidros na fachada. Ainda sem características fabris, com tipologia de edifícios institucionais, como prefeituras e escolas, esta fábrica tornou-se modelo de planta industrial da metade do século XVIII.

Apesar de estar cronologicamente distante do conceito de sustentabilidade na arquitetura, pode-se notar a presença de características que remetem aos indicadores de sustentabilidade usados nos dias de hoje. Um exemplo é o uso de vidros na fachada, que contribui para o aumento da iluminação natural do ambiente.



Figura 2: Soho Factory, 1766
(fonte: J. Bissett's Magnificent Directory, 1800)

Nesta imagem é possível observar o uso de vidro na fachada, os sete pavimentos do galpão e o arranjo linear da fábrica, que exprime o padrão linear de produção. A fábrica Soho foi demolida na metade do século XIX e foram construídas pequenas unidades habitacionais para abrigar os trabalhadores de outras indústrias que se instalaram na região.
(<http://industryinform.co.uk>)

As cidades abrigaram as instalações industriais e, como estas precisam de mão de obra, muitas pessoas migraram da área rural para a urbana. Isso acarretou o aumento dos bens e serviços produzidos, a redistribuição da população no território e o desenvolvimento de meios de transporte e comunicação, como canais navegáveis e estradas de ferro, necessários para a comercialização das matérias primas e dos produtos (MILLS, 1951; BENEVOLO, 2009).

Essa fase também foi responsável pela formação da classe operária e suas primeiras reivindicações (MELLO e COSTA, 1999). Como ainda existiam muitas fábricas que funcionavam em edifícios inadequados

para o processo de produção – relação entre trabalhadores, matérias primas e produtos – surgiram as primeiras preocupações com a segurança e as condições de trabalho nas instalações. De acordo com Cardoso (2006), o Parlamento Inglês criou, em 1802, a lei denominada Lei de Saúde e Moral dos Aprendizes, que recomendava que todas as paredes e superfícies das fábricas fossem pintadas com pintura de cal duas vezes ao ano e que as áreas de janelas permitissem ventilação adequada (CARDOSO, 2006).

O maior problema que existia nas instalações industriais do século XVIII era o risco de incêndio. Independente de ser alimentada por moinho de água ou por queima de carvão, havia grande quantidade de material inflamável nos produtos ou na própria estrutura do edifício e a proximidade com velas, óleos ou gás foi responsável por incêndios em muitas fábricas dessa época (MILLS, 1951). Com isto, surgiu a necessidade de projetar uma fábrica à prova de fogo, com o uso de ferro ou tijolos cobertos com gesso na cobertura, além de pilares e vigas de ferro. O primeiro edifício com essas características foi o *Fireproof*, em Ditherington, um subúrbio de Shrewsbury, Shropshire, Reino Unido, também conhecido como *Ditherington Flax Mill*, projetado pelo arquiteto Charles Bage e construído em 1797 (MILLS, 1951).



Figura 3 - *Ditherington Flax Mill* (1797)
(fonte: www.industryinform.co.uk)

O edifício industrial *Ditherington Flax Mill* foi o primeiro edifício a utilizar ferro fundido nas treliças do telhado e tijolos cerâmicos na vedação. Depois de recordes de produção de linho no século XIX, a fábrica declinou e fechou em 1870. Para conter o vandalismo e revitalizar o edifício, o governo inglês o adquiriu em 2005, quando iniciou um processo de valorização cultural. (<http://www.english-heritage.org.uk>)

O início do século XIX foi marcado pelo avanço dos sistemas de transporte nas cidades, através da construção de novas estradas do ferro. O rápido crescimento das fábricas fez com que as ruas dos antigos centros se tornassem obsoletas para o necessário transporte de mercadorias, assim, as indústrias

passaram a se instalar nas proximidades das estradas de ferro (BENEVOLO, 2009). O desenvolvimento do sistema ferroviário promoveu a interligação entre as cidades através das instalações de pontes, estações de trem e armazéns.

“A fase inicial da Estética Maquinista ou Fabril se caracterizou pelo uso do ferro fundido, material que Abraham Darby usou em 1777 para construir uma ponte metálica em Coalbrookdale (Inglaterra) e alcançou seu apogeu no Palácio de Cristal de Sir Joseph Paxton, construído devido a Grande Exposição Londrinense de 1851.” (PHILLIPS, 1993 p.17)

O progresso da indústria no cenário das grandes potências mundiais era tão grande que, em 1851, foi realizada a Primeira Grande Exposição – A Grande Exposição dos Trabalhos da Indústria de Todas as Nações -, no Hyde Park, em Londres. Essa exposição foi organizada pelos membros da *Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce*, como uma celebração da tecnologia e do design industrial modernos, fruto da necessidade de troca de tecnologias e de produtos surgida com a Revolução Industrial. Para a realização desta exposição foi construído o Palácio de Cristal, projetado pelo arquiteto Joseph Paxton e pelo engenheiro estrutural Charles Fox (MILLS, 1951), que também trouxe inovações e tecnologias da arquitetura industrial nas suas instalações: o uso da estrutura pré-fabricada e dos vidros nas fachadas trás características que hoje estão entre os indicadores de sustentabilidade de edifícios.

A Primeira Grande Exposição marcou o auge da Primeira Revolução Industrial e, com isso, o avanço em termos de materiais, tecnologias e economia que iria culminar na Segunda Revolução Industrial.

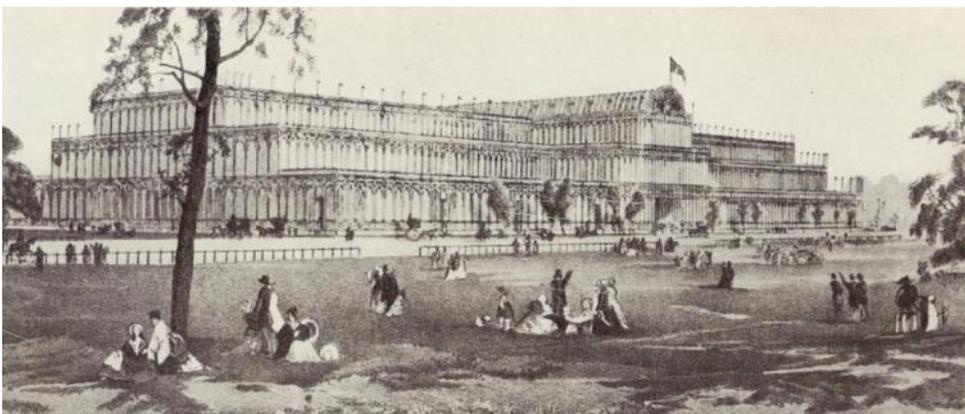


Figura 4: Palácio de Cristal, Sede da Grande Exposição – 1851
(fonte: GRUBE, 1936)

O arquiteto e paisagista Joseph Paxton inspirou-se nas estruturas de estufas para o projeto do palácio de Cristal de 1851. Devido à necessidade de rapidez na construção, Paxton aderiu ao método de pré-fabricação. O edifício totalizou 75 mil m² de construção em ferro fundido e vidro.

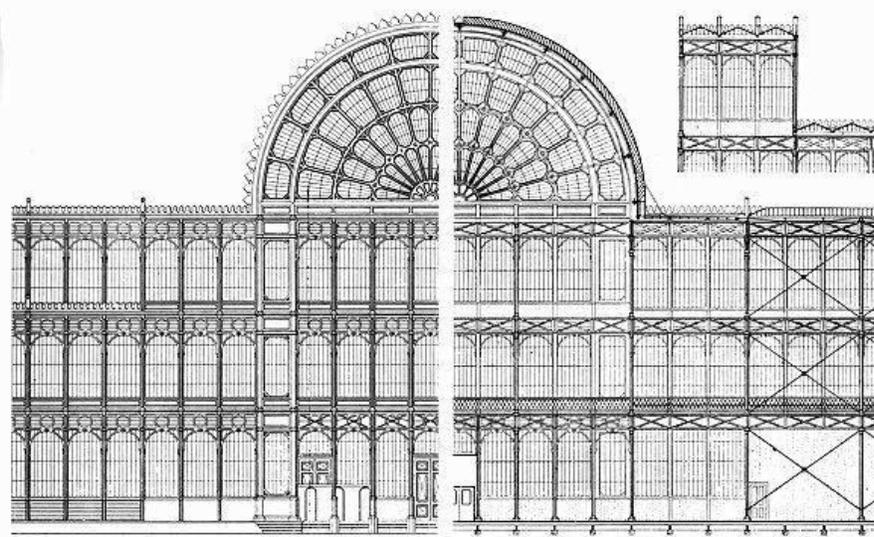


Figura 5: Projeto da fachada do Palácio de Cristal – 1851
(Fonte: HAWKES, 1993)

O projeto do Palácio de Cristal foi elaborado tendo como base um conjunto de nervuras transversais que se apoiava em vigas longitudinais suportadas por pilares. Barras de contraventamento faziam o travamento da estrutura. Foram usadas 4.500 ton. de ferro fundido, 18 m³ de madeira de construção e 300.000 placas de vidro.

2.1.2. Segunda Revolução Industrial

De acordo com Mello e Costa (1999) a partir de 1860, novas transformações técnicas e econômicas produziram mudanças no processo de industrialização que desencadearam a segunda Revolução Industrial, conhecida como “Era do Aço e da Eletricidade”. Essa fase foi marcada pela descoberta do processo Bessemer¹ de transformação do ferro em aço, do dínamo, que possibilitou a substituição da energia mecânica das máquinas a vapor pela eletricidade e do motor a combustão interna, que iniciou a utilização do petróleo em larga escala. Nessa fase o processo de industrialização expandiu-se para Alemanha, Itália, Rússia, Estados Unidos e Japão.

As descobertas dessa fase contribuíram para a evolução das fábricas e seus processos, acarretando na Segunda Grande Exposição, que ocorreu em Paris, em 1889 – marcando uma arquitetura mais leve por conta do uso do aço e mais transparente devido ao aumento da utilização do vidro nas fachadas (MILLS, 1951). O principal símbolo dessa exposição, por onde passaram mais de 28 milhões de pessoas, foi a Torre Eiffel, construída especificamente para celebrar o centenário da Revolução Francesa e o progresso do país. Essa exposição já possuía um pavilhão do Brasil, que inclusive ganhou um prêmio por um dos seus produtos.

¹ Descoberto pelo engenheiro de metalurgia inglês Henry Bessemer, a descoberta do processo data de 1856 e tinha como principal objetivo a remoção de impurezas do ferro através da oxidação com ar soprado durante a fundição.



Figura 6: Grande Exposição Universal de 1889, Torre Eiffel – Paris, 1889
(Fonte: <http://www.nga.gov/resources/dpa/.htm>)

Projetada pelo designer Gustave Eiffel, pelo arquiteto Stephen Sauvestre, e pelos engenheiros Maurice Koechlin e Emile Nouguier, a Torre Eiffel é a única construção da Grande Exposição Universal de 1889. Foto selecionada pela *National Gallery of Arts*, dos EUA, da seleção do *Photographic Archives Gramstorff Collection of glass plate negatives*, feita pela *French Photographic Firms N.D. (Neurdein Freres)*, M.F., ou J.D.

Os projetos de edifícios industriais eram realizados por engenheiros civis, pois, diferente dos arquitetos formados nessa fase, os engenheiros possuíam estudos sobre materiais e estruturas (MILLS, 1951). De acordo com Frigério (1985), o arquiteto, quando solicitado, projetava apenas a fachada da edificação. As técnicas construtivas com estruturas feitas em ferro fundido e aço ficavam restritas a construções industriais e comerciais, abrindo uma grande separação entre a arquitetura e a engenharia.

“A engenharia descobria e utilizava as potencialidades dos novos materiais e estruturas, porém, não desenvolvia as capacidades de relacionamentos espaciais e estéticos. Enquanto o arquiteto se mantinha distante deste problema, fruto do imediatismo capitalista a partir da revolução industrial” (MILLS, 1951 p.54).

Estas características influenciaram as tipologias dos edifícios industriais dessa época:

“Na indústria de confecção e tecelagem, os edifícios de vários pavimentos eram mais adequados ao processo de transformação, enquanto que nas indústrias pesadas da construção e reparos de máquinas, os edifícios planos eram mais apropriados em função

fábrica próximas, porém independentes das suas instalações. A primeira cidade-jardim implantada foi Letchworth, na Inglaterra, em 1904. Imaginada por Howard e projetada por Unwin e Parker, esta cidade seguiu a sequencia esquemática dos raios concêntricos e reservou uma grande área fabril próxima à estrada férrea e aos campos esportivos (DARLEY, 2010).

Tony Garnier, arquiteto francês, idealizou a *Cittè Industrielle*: semelhante aos ideais da cidade jardim de Howard, era projetada para um número limite de habitantes, com as funções governamentais, residenciais, de agricultura e de produção relacionadas, porém separadas de acordo com a função e o padrão. Paris aderiu a esses ideais através da expansão industrial, da zonificação e das construções com ferro e concreto (DARLEY, 2010).

Nos Estados Unidos, as construções industriais do século XIX começaram a ser implantadas em cidades pequenas, próximas de córregos que forneciam energia hidráulica, ao longo de canais, perto de fontes de matérias primas e ao lado de portos comerciais. Com o início das instalações ferroviárias, as indústrias se estenderam ao longo de seus trajetos e dominaram áreas de grandes cidades. Primeiramente, houve a necessidade de um local onde fosse possível gerar energia hidráulica, por isso, em Lowell, Lawrence, Massachusetts e New Jersey, inúmeras indústrias se instalaram ao longo dos rios. A necessidade de água limpa ditou a localização de indústrias de tingimento e impressão textil, fábricas de papel e curtumes. Em oposição, as operações de fabricação que processavam produtos agrícolas e matérias-primas extraídas, tais como argila, foram localizados ou perto das suas fontes ou próximas a vias de transporte (BRADLEY, 1998).

Segundo Bradley (1998), a localização industrial próxima a vias de transporte fez com que cidades e vilas que possuíam portos fossem considerados bons locais para a fabricação por conta das oportunidades de marketing e transporte. Por isso, as áreas costeiras tornaram-se zonas de produção. Além disso, as indústrias tendem a se concentrar nas cidades e regiões a fim de aproveitar a força de trabalho qualificada do local.

No Brasil, a industrialização teve início no final do século XIX, quando o país deixou de ser colônia portuguesa e passou a ter o direito de importação de maquinários. Foram os lucros obtidos com a exportação do café que possibilitaram o desenvolvimento industrial, principalmente nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. O primeiro grande avanço da indústria no Brasil deu-se na era Vargas, 1930 a 1945, quando surgiram as leis para regulamentação do mercado de trabalho; para proteção das indústrias nacionais e investimento em infraestrutura. A criação da Petrobrás, em 1953, impulsionou a indústria de derivados de petróleo, como borracha sintética, tinta, plástico e fertilizante (MELLO e COSTA, 1999).

A Segunda Revolução Industrial durante o século XX, acompanhada pelos Estados Unidos e, em parte, pelo Brasil, foi marcada pela adequação dos edifícios fabris à indústria automobilística. Nessa fase, o concreto armado substituiu o ferro fundido e, em combinação com o vidro, foi responsável pela mudança na tipologia do edifício industrial (MUNCE, 1960).

A necessidade de flexibilidade de layout acarretada pelo desenvolvimento de tecnologias que substituíam rapidamente as máquinas fez com que os edifícios das fábricas do século XX fossem marcados pela construção de grandes espaços livres com redução no número de pilares. Nessa fase, os arquitetos passaram a ser solicitados para o projeto dos edifícios industriais e o escritório norte americano de Albert Kahn se tornou referência no projeto de fábricas automobilísticas, com a construção da fábrica Packard Motor Company, em Detroit (CAMAROTTO, 1998).

O escritório de arquitetura *Albert Kahn Associates* foi fundado em 1895 e desde então passou a desenvolver a tecnologia de construção com concreto armado, aumentando a resistência dos elementos estruturais a cargas e ao fogo e permitindo maiores vãos livres. De acordo com Bucci (2002), a fábrica Packard Motor Car Company, construída em 1903 foi o primeiro empreendimento em que foi utilizado o concreto armado – figura 08.



Figura 8: Packard Motor Company, Louis Kahn – 1903
(fonte: HALLSWORTH, 2005)

A fábrica Packard foi a primeira fábrica de automóveis em grande escala e o primeiro edifício de 9 pavimentos erguido com caixaria de madeira e concreto armado. No arranjo interno, esta também foi uma das pioneiras na preocupação com o processo produtivo e a divisão das tarefas.

Segundo Hallsworth, “no início do século XX, a moderna fábrica era vista como a perfeita construção funcional, com melhores materiais, tecnologia de construção e projetada para trabalhar com a organização do processo industrial”² (HALLSWORTH, 2005). A fábrica do século XX tinha por característica construtiva a tecnologia de construção em estrutura metálica ou em concreto armado, o uso de energia elétrica, a vedação em vidro e uma planta com enormes proporções e grandes vãos livres, ainda que tudo isso ficasse atrás de fachadas clássicas e tradicionais.

Nessa fase, apenas a estrutura metálica e os grandes vãos podem ser consideradas características próximas aos que hoje estão na lista de indicadores de sustentabilidade. A primeira por substituir a madeira, e conseqüentemente, o corte de árvores e por ser uma material mais fácil de trabalhar e, portanto, com menos desperdício e a segunda por possibilitar flexibilidade no layout interno, diminuindo possíveis impactantes reformas futuras.

Se até esse século a Europa, principalmente, a Inglaterra, dominava em termos de avanço industrial, a partir de agora, os Estados Unidos iniciam sua fase de desenvolvimento industrial, principalmente com as ideias de Frederich Taylor e Henry Ford. De acordo com Camarotto (1998),

“O aparecimento do automóvel foi um evento de incalculável importância no desenvolvimento da indústria americana e europeia. Pode-se dizer que as plantas para a indústria automobilística revolucionaram completamente a construção das fábricas americanas, e Detroit pode ser realmente chamada de berço da fábrica moderna. Henry Ford estabeleceu seu negócio na produção de um carro viável e exigiu a mesma qualidade conceitual nos projetos de suas fábricas. Ele foi o primeiro a requerer a construção de fábricas térreas e de grande extensão, mas não imaginou que este projeto seria tomado como modelo” (CAMAROTTO, 1998, p.57).

Albert Kahn, dentro de sua formação e seu direcionamento profissional, possuía o conhecimento necessário para desenvolver a estrutura para essa indústria que surgia. Ele desenvolveu nove princípios que norteavam os projetos de edifícios industriais (GRUBE, 1972):

I) Design Funcional – O projeto de uma indústria deve prever acomodação para que os maquinários funcionem com eficiência, facilitando a produção;

² Tradução livre. Texto original: “At the beginning of the twentieth century, the modern factory was seen as the perfect functional building, with improved materials, building technology, and designed to work with the organization of the industrial process” (HALLSWORTH, 2005).

II) Produção linear - O projeto deve atender o sentido único e direto do fluxo de produção, sem cruzamentos e de maneira que o transporte e o manuseio de materiais sejam reduzidos.

III) Flexibilidade – O projeto deve prever a realocação de espaços de acordo com as mudanças nas tecnologias de produção e também deve prever a ampliação de setores e da produção.

IV) Espaços amplos entre colunas – O projetista deve considerar a maior distância economicamente possível entre colunas a fim de permitir maior liberdade para acomodação das máquinas e causar o mínimo de interferências no transporte de materiais.

V) Piso e teto adequados – A altura do pé direito deve ser projetada de acordo com o tipo de produção e o projeto deve prever pisos resistentes à carga exigida pelas máquinas.

VI) Locais de serviços convenientemente situados - elevadores, escadas, rampas colocados onde melhor cumpram suas funções e não interfiram no fluxo da produção.

VII) Boa Iluminação - Iluminação natural e artificial adequadas, uniformemente distribuídas e com intensidade suficiente para a realização das tarefas, sem ofuscamento.

VIII) Ventilação adequada – O projeto deve ser feito para proporcionar o movimento de ar suficiente para as necessidades humanas e equipamentos.

XI) Baixos custos iniciais e de manutenção - Economia resultante de projeto racional e uso eficiente dos materiais, reduzindo os custos iniciais e gastos com manutenção.

Kahn foi então solicitado por Henry Ford para projetar e construir uma nova fábrica, de quatro pavimentos, em Highland Park, Detroit (1910) – figuras 09 e 10 - e três anos mais tarde, foi ele quem projetou e construiu a fábrica para abrigar uma linha de montagem automotiva para o modelo Ford T³. A Ford exigiu um edifício com espaços abertos, adaptabilidade, áreas ininterruptas, adequadas para as linhas de fluxo de produção em que os processos são planejados de forma integrada, desde a chegada de matérias-primas até o produto acabado, tudo em apenas um pavimento (HALLSWORTH, 2005).

Estes edifícios ficaram conhecidos como *Modelo de Fábricas* e seu projeto como o sistema Daylight-Kahn, sendo feito com base em uma grade regular de viga, pilar e laje. Seções de concreto eram totalmente expostas e paredes externas eram de estrutura metálica – aço – e vidro (HALLSWORTH, 2005). Mais tarde, Kahn projetou, em 1917, o maciço Ford River Rouge Plant em Dearborn, Michigan (HALLSWORTH, 2005; GRUBE, 1936).

³ Ford adotou a idéia de se concentrar em um produto produzido em massa com seu Modelo T, lançado em 1908 e apelidado de "Tin Lizzie". Quase 15 milhões de carros foram produzidos nos 20 anos de existência do modelo T (1908-1927), depois da I Guerra Mundial, mais de um carro novo em duas horas era produzido nos Estados Unidos (HALLSWORTH, 2005).



Figura 9 - Ford Highland Park, Detroit – 1910
(fonte: GRUBE, 1936)

O edifício Ford Highland Park foi construído, basicamente, com concreto armado e vidro. Localizado no cruzamento da avenida Woodward com a rua Manchester, periferia da cidade na época em que foi construído, esta foi a fábrica que possibilitou a diminuição de 728 para 93 minutos o tempo de produção do modelo Ford T.

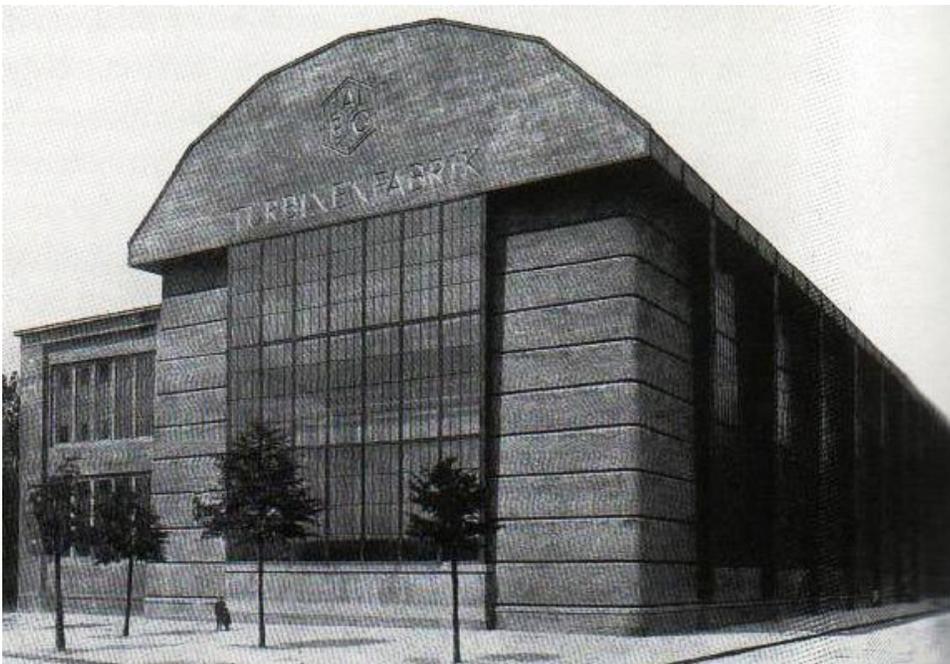


Figura 10: Interior da fábrica da Ford em Highland Park, Detroit – 1910
(fonte: STRATTON, 2000)

A fábrica possuía, em seu interior, uma série de escritórios, uma usina de fundição e uma pequena usina elétrica, além das máquinas do processo de produção. Para ela, Kahn projetou grandes janelas e venezianas que garantiam a ventilação, além de cobertura translúcida que permitia a iluminação natural na área de trabalho.

Enquanto isso, na Europa, era o arquiteto Peter Behrens e sua parceria com a empresa alemã de energia e iluminação AEG⁴ que representavam marcos para arquitetura industrial: a imagem corporativa da empresa, com direito a desenho de produto, embalagem, edifícios e publicidade. O resultado foi a criação do primeiro edifício moderno⁵: The AEG Turbine Factory em Berlin, em 1909 (ANDERSON, 2000).

Também construído em concreto, aço e vidro, possui pilares de aço que são articulados em vigas e lajes, enquanto as paredes de vedação formam a fachada de vidro. Behrens elaborou um sistema de pilares exteriores, responsável pela estrutura das fachadas e outro sistema de pilares interiores, responsável pela estrutura interna da fábrica, como as vigas e lajes. A figura 11 mostra os cantos de concreto maciço que compõe a fachada do edifício (CORREIA, 2010).



A fábrica de turbinas AEG foi construída entre as ruas Hutten e Berlichingen, podendo ser vista de vários pontos de Berlin. O arquiteto Peter Behrens adotou o estilo formal e com racionalidade estrutural. Também conhecido como “Catedral do Trabalho”, a fábrica possui grandes janelas em aço e vidro que compõem a fachada, uma sala principal com pé direito de 25m coberta por uma estrutura de arcos triangulados.

Figura 11: The AEG Turbine Factory, Berlin – 1909
(fonte: GRUBE, 1936)

Nessa fase da arquitetura industrial, Hans Poelzig, Walter Gropius, Mies van der Rohe e Le Corbusier, também se destacavam como arquitetos precursores do movimento moderno, em que arquitetura e produção em massa deveriam seguir a mesma linguagem. Gropius, que trabalhou com Behrens, foi o responsável pela fachada do edifício da Fagus Factory, uma fábrica de sapatos de 1911, projetada pelo também arquiteto Adolf Meyer (DARLEY, 2010), que pode ser vista na figura 12.

⁴ Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft

⁵ De acordo com John Winter. *Industrial Architecture*, London, 1970.

“Quando Gropius fez sua intervenção no projeto, a indústria possuía a planificação do sítio, já haviam sido feitas até mesmo as fundações pelo arquiteto Eduard Werner. Gropius interveio no projeto devido ao desejo do cliente de fazer uma fachada atraente; para isso, criou uma estrutura de aço revestindo as paredes de panos de vidro e todo o layout fabril foi reconsiderado segundo o processo de produção” (CORREIRA, 2010, p. 95).

A fábrica Fagus possui edifícios interligados em uma implantação norte-sul. O edifício que abriga o processo de produção é interligado à serraria, ao estoque, ao hall de entrada e ao galpão de manutenção das máquinas, além do bloco de escritórios. Em outro conjunto de edifícios estão a loja do serralheiro e o acesso principal à fábrica, com a portaria (PHILLIPS, 1993). Implantada ao lado de uma ferrovia, a fábrica possuía como principal característica, que hoje pode ser associada à sustentabilidade, o fato de ter sido implantada em um terreno paralelo a uma ferrovia, facilitando o transporte de insumos e produtos e, com isso, diminuindo os gastos com transporte e seus impactos.



Figura 12: Fagus Factory – Leine, Alemanha – 1911
(fonte: PHILLIPS, 1993)

A implantação da Fábrica Fagus foi feita em um terreno paralelo ao qual passava uma ferrovia, o que restringia sua expansão e direcionava o eixo funcional para o sentido noroeste-sudeste. O limite noroeste era feito e pela serralheria e pela casa de caldeira e o limite sudeste, pelo armazém e os fornos de secagem. Ao centro ficavam o salão de produção e o edifício da administração, com facilidades de movimentação.

Em 1919, pós I Guerra Mundial, Walter Gropius fundou a escola Bauhaus – figura 13, em Weimar, Alemanha, importante marco na história do século XX como o primeiro modelo de escola de arte moderna. A escola pesquisava e praticava formas de integrar o artista e o artesão com a arte e a indústria,

eixo central do movimento *Arts & Crafts*⁶ idealizado por William Morris. Este movimento lutava por reformas sociais através das artes com um ideal anti-industrial que tinha como princípios “a unidade na composição artística, a valorização do trabalho artesanal e o individualismo e o regionalismo” (TAGLIARI e GALLO, 2007), sendo que seu principal objetivo era o de valorizar o trabalho do artesão e a construção vernacular na era industrial.

A escola Bauhaus buscava a simplicidade das formas e valorizava a natureza circundante, porém, com uma ênfase urbana e tecnológica, enaltecendo a cultura da máquina do século XX. A produção em massa era seu principal objetivo e a simplicidade era construída através da estética da máquina, que exigia uma redução ao essencial, sem espaço para a ornamentação (CARMEL-ARTHUR, 2001).

Faziam parte do seu corpo docente, entre outros, os artistas contemporâneos Wassily Kandinsky, Paul Klee e Oskar Schlemmer e os arquitetos Walter Gropius, seu fundador, e Ludwig Mies van der Rohe, diretor responsável pela dissolução da escola de Weimar em 1933. A escola não era apenas um centro de formação inovador, mas também um local de produção e um centro de debate internacional nas suas áreas, principalmente no que refere à união entre arte e produção industrial, tanto que uma das frases mais conhecidas de Walter Gropius é “simplicidade na multiplicidade” (CARMEL-ARTHUR, 2001).

Em 1925, devido às ameaças de dissolução pela oposição de conservadores alemães, a escola foi transferida para Dessau, onde foi dirigida por Herbert Bayer⁷, na Oficina de Tipografia e Publicidade e Moholy-Nagy⁸, na Oficina de Metal; diretores que trouxeram a geometria para as artes. Em 1928, Hannes Meyer assumiu a direção geral da Bauhaus e trouxe a importância do papel da tecnologia e dos materiais, orientando a política da escola à estética da máquina, aproximando-a ainda mais da indústria (www.bauhaus.de).

⁶ O movimento *Arts & Crafts* ocorreu principalmente na Europa e nos Estados Unidos, no final do século XIX no início do século XX e tinha como líder o pintor William Morris (1834-1896). O movimento defendia o uso de materiais naturais e o trabalho artesanal.

⁷ Herbert Bayer (1900 - 1985) era austríaco, artista gráfico, ilustrador, diretor de arte, fotógrafo, docente e diretor da Oficina de Tipografia e Publicidade na Bauhaus de 1925 a 1933, pioneiro do Modernismo no design europeu e norte-americano

⁸ László Moholy-Nagy (1895 - 1946) era húngaro, pintor, escritor e fotógrafo; interessado na aplicação da geometria a obra de arte, foi diretor da Oficina de Metal na Bauhaus Dessau de 1923 a 1928 e foi o fundador da Nova Bauhaus, em Chicago, em 1937.



Figura 13: Bauhaus em Dessau – projeto de Walter Gropius - 1925
(fonte: <http://www.esfcastro.pt>)

As principais características dos projetos de arquitetura da Bauhaus eram as utilizadas em seu projeto: planta livre, estruturas em concreto e aço, aberturas em vidro, superfícies sem adornos, janelas alinhadas à superfície da parede e coberturas planas.

Em 1932, sob a direção geral de Mies van der Rohe, a escola é transferida para Berlin, onde permanece aberta por apenas um ano. Em 1933, devido a perseguições nazistas, a Bauhaus é fechada. Porém, no final da década de 30, Moholy-Nagy e Gropius encaminham-se para os Estados Unidos, onde fundam a Nova Bauhaus, em Chicago. Porém, sem apoio financeiro, logo a escola é transformada no Instituto de Design de Chicago, local em que lecionaram a maior parte dos ex-docentes da Bauhaus alemã. Hoje em dia a Bauhaus Dessau foi reaberta como uma escola de desenho gráfico e também como um museu (www.bauhaus.de).

A arquitetura industrial do período *Entre Guerras* continuou a ser desenvolvida, embora sofresse a crise no setor industrial causada pela depressão dos anos 20 e 30. A produção em massa, representada pelo setor automobilístico, ganhou ainda mais força e o principal lema na arquitetura era o aumento dos vãos entre os pilares dos galpões industriais, pois este sistema de produção necessitava flexibilidade de arranjo de layout. Isto fez com que os pilares de concreto armado fossem substituídos por estruturas em aço, mais esbeltas e resistentes (CORREIA, 2010; MUNCE, 1960).

O projeto que mais se destacou, nessa fase, foi o da indústria de refino e empacotamento de tabaco, café e chá Van Nelle, projetada e construída em Roterdã, Holanda, entre os anos de 1925 e 1931, pelos arquitetos holandeses Johannes Brinkman e Leendert van der Vlugt, assessorados pelo arquiteto Mart Stam, todos adeptos do movimento *Nieuwe Bouwen*⁹. O edifício monumental, inovador e moderno foi projetado tendo em vista o processo de produção, com espaços flexíveis e o bem estar na indústria,

⁹ *Nieuwe Bouwen* é o nome dado ao ramo holandês do Movimento Moderno Internacional.

com iluminação e ventilação naturais, iniciando as preocupações com o meio ambiente dos usuários, que culminariam em alguns indicadores de sustentabilidade que temos hoje em dia.

Segundo Munce (1960), esta indústria é considerada um ícone arquitetônico do século XX:

“Este edifício é uma das edificações industriais mais importantes de todo o século XX, além de ser um dos mais elegantes... O revestimento é um dos melhores exemplos de um sistema de revestimento em pano de vidro, enquanto a disposição dos blocos, as relações dos sólidos e vazios e a disposição de elementos são magistrais” (MUNCE, 1960).

As plantas da indústria Van Nelle foram elaboradas com o objetivo de seguir a linha de produção desde o pavimento mais alto até o mais baixo. Havia um prédio de escritórios com três pavimentos – bloco com formas curvilíneas, um depósito, uma oficina, uma sala de caldeiras e os edifícios de produção – figura 14, ligados por passarelas diagonais facilitavam o deslocamento dos trabalhadores (CORREIA, 2010). Hoje em dia o edifício é ocupado por escritórios de empresas de comunicação e design através de um retrofit.



Figura 14: Fábrica Van Nelle, Roterdã, Holanda – 1927
(fonte: <http://www.pedrokok.com.br>)

O projeto de retrofit interno foi feito pelo arquiteto Wessel De Jonge nos anos 2000. De acordo com Jonge, as letras grandes no topo do edifício fazem parte da influência do construtivismo russo, assim como a forma redonda do prédio de escritórios. A Fábrica Van Nelle está na lista dos locais considerados para estudo de preservação do Patrimônio Mundial da UNESCO.

2.1.3. Terceira Revolução Industrial

Com o fim da II Guerra Mundial, o padrão de produção foi modificado e as fábricas mudaram sua localização nas cidades: passaram da região central para bolsões periféricos, normalmente localizados

próximos às grandes rodovias, responsáveis pelo transporte dos produtos. De acordo com Villaça, “no Brasil, grandes zonas industriais se desenvolveram ao longo das grandes vias regionais, inicialmente ao longo das ferrovias, depois também ao longo de rodovias”. (VILLAÇA, 2001)

O cenário mundial dos anos 40 mostrava edifícios industriais mais fechados, devido à tendência de retirar as janelas para preservar a identidade do que estava sendo fabricado. Se por um lado, a retirada das janelas ajudava na flexibilidade do layout interno, por outro, restringia o uso da iluminação e da ventilação natural. Por isto, criou-se a necessidade da climatização e da iluminação artificial, o que contribuiu ainda mais para a horizontalidade das indústrias, que já possuíam este padrão de forma devido à facilidade de transporte dos produtos (MUNCE, 1960).

Além disto, o padrão dos galpões fechados criou a necessidade de novas formas de cobertura, como os sheds e as claraboias e de materiais que contribuíssem para o conforto acústico, como as fibras de vidro (MUNCE, 1960). Para a arquitetura, o novo modelo de edifícios industriais separava as atividades da fábrica em blocos de escritórios, setor de produção, setor de embalagem e os demais setores que a produção exigisse. Esses blocos poderiam ser conectados através de passarelas, pontes ou rampas. Grube (1972) ressalta a importância deste novo modelo para o desenvolvimento da arquitetura industrial através de novos estilos arquitetônicos e inovações no campo de projetos e de logística da produção.

“a construção de edifícios industriais, nas décadas de 50 e 60, se encontrava em perigo de converter-se em uma Arquitetura Enlatada: uma multidão de pequenas unidades de revestimento empregadas para cobrir formas amorfas sem estrutura lógica. Nos EUA, a arquitetura dos edifícios de escritórios tem recuperado (na década de 60) um caminho na direção da expressão arquitetônica, marcando novos estilos. Talvez possa ser um desafio para os arquitetos de edifícios industriais em continuar com a tradição da primeira metade deste século, em uma forma lógica, e desenvolvê-la com inovações...”
(GRUBE, 1972).



Figura 15: Cummins Diesel Factory – 1966
(fonte: GRUBE, 1972)

A fábrica Cummins Diesel é um exemplo das inovações da década de 60, marcadas pelo uso constante do vidro e das estruturas de aço nas fachadas. Os novos projetos industriais exigiam técnicas construtivas diferenciadas, marcadas por projetos de unidades menores e edificações separadas (GRUBE, 1972).

Em termos de arquitetura, se até a década de 60 havia uma espécie de protocolo com identidade definida, a partir daí começaram as diversificações: uma corrente que se opõe aos experimentos tecnológicos e outra que é a favor. Nesta década também surgem as primeiras preocupações da arquitetura com o meio ambiente e também os primeiros materiais plásticos e metálicos (MONTANER, 2001).

“Aparecem novos materiais – derivados metálicos e plásticos – e avançadas tecnologias. E será possível a construção de todo tipo de peças pré-fabricadas tridimensionais. A arquitetura pode ser construída como qualquer outro objeto de consumo, integrar-se totalmente às leis da fabricação em série e alcançar a perfeição de encaixe de qualquer peça industrial. Os avanços da tecnologia científica estão transformando o estatuto do saber em geral e a forma da arquitetura, em particular” (MONTANER, 2001, p. 87).

A década de 70 marca definitivamente a terceira revolução industrial, com o declínio do setor secundário – industrial – e o crescimento do setor terciário – de serviços –, quando os países de primeiro mundo, preocupados com a repercussão do Clube de Roma (1968), transferiram suas indústrias mais poluidoras para os países de terceiro mundo, encontrando neles mão de obra barata, pouca preocupação com meio-ambiente e anseio por desenvolvimento econômico; fatores que contribuíam para recuperação

da crise do petróleo desta década. Ao mesmo tempo, a década foi marcada pelo desenvolvimento da alta tecnologia, de sistemas de automação e informatização que as multinacionais exportaram juntamente com seus modelos de edificação industrial. (SANTOS, 2006).

No Brasil, durante o governo de Juscelino Kubitschek, de 1956 a 1960, a economia nacional foi aberta para o capital internacional, atraindo empresas multinacionais, como as montadoras de veículos: Ford, General Motors, Volkswagen e Willys, que passaram a montar seus veículos com mais de 65% dos componentes fabricados nacionalmente. Esse avanço, somado à participação direta do Estado como investidor na indústria de base – siderurgia, mineração e petroquímica – e na infraestrutura econômica – energia e transportes – fez com que as importações de insumos básicos, maquinário, equipamentos e automóveis pudessem ser substituídas por produtos nacionais, estimulando o crescimento da indústria de bens de consumo duráveis e de bens de capital, consolidando a estrutura industrial no Brasil (SUZIGAN, 1988).

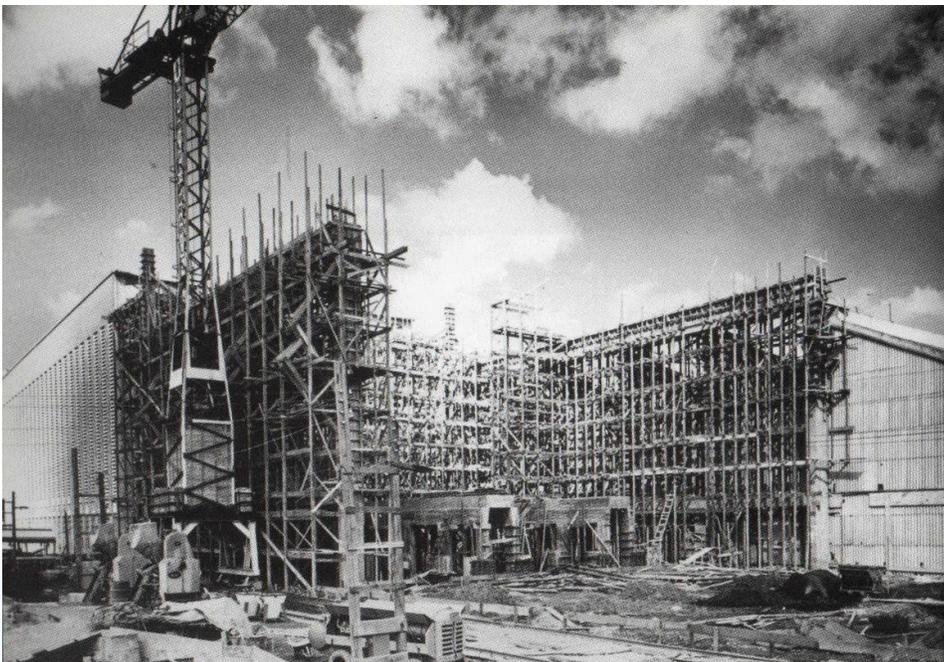


Figura 16: Construção da primeira fábrica VW do Brasil
(fonte: <http://antigosverdeamarelo.blogspot.com.br> – de Lindeberg de Menezes Júnior)

A primeira unidade industrial da Volkswagen no Brasil foi construída nos anos 50, inaugurada oficialmente em 18 de novembro de 1959 com a visita do presidente Juscelino Kubitschek, foi denominada Planta Anchieta da VW. A unidade, que já produziu veículos como o Fusca, a Variant, o TL, o SP1/2, a Brasília e o Passat, implantou os primeiros robôs na linha de montagem em 1984, com o lançamento do Santana e da Quantum (<http://www.volkswagen.com>).

A década de 80 foi marcada pelo início da fase *High Tech* na construção. As fábricas incluíram no projeto a ideia de expor seus elementos estruturais, tanto pelo efeito visual como pelo efeito prático. O edifício Fleetguard Manufacturing Centre em Quimper – Reino Unido, de Richard Rogers –, possui um

mastro e uma sustentação externa ao edifício que cria uma estrutura interna livre, dando a impressão de que o prédio flutua (PHILLIPS, 1993), como pode ser visto nas figuras 17 e 18.

Essa fábrica de filtros de ar, combustível e óleos foi implantada em uma recente zona industrial da cidade francesa de Quimper e possui 8750m² com possibilidade para ampliação até 40000m². De acordo com Rogers, o projeto tinha como objetivo a minimização do impacto do edifício no meio ambiente e, pela primeira vez, se pensava em segregar o tráfego industrial do pessoal para garantir mais segurança (PHILLIPS, 1993).



Figura 17: Fachada da fábrica Fleetguard, Quimper – 1979
(fonte: <http://www.richardrogers.co.uk>)

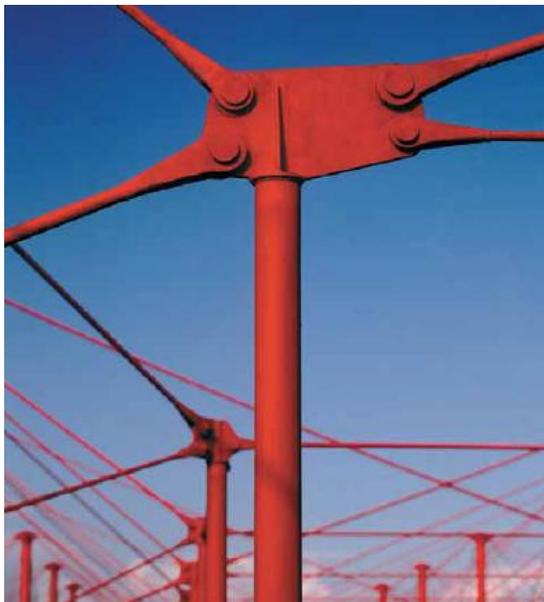


Figura 18: Encaixe da estrutura de aço da fábrica Fleetguard, Quimper – 1979
(fonte: <http://www.richardrogers.co.uk>)

A estrutura suspensa e tensionada de aço fez com que a massa total do edifício fosse reduzida e o espaço interno ficou livre e flexível. Pensando na ampliação, Rogers projetou uma estrutura de aço feita com ligações que permitem novas emendas, sem prejudicar o revestimento do edifício.

O aperfeiçoamento técnico da produção e da administração do trabalho contribuíram para a qualificação da mão de obra, sua redução e o aumento da produção, que resultou na necessidade de

criação de parques industriais com sistema integrado de gestão de transporte de produtos e com plantas controladas automaticamente. Também é a partir da década de 80 que os custos ambientais e sociais passam a fazer parte do balanço da produção industrial (DARLEY, 2010).

Nos anos 90, as fábricas de automóveis continuaram sendo as principais requisitantes, pois era o seguimento industrial que ainda continuava em crescimento. A fábrica da Renault apresentou, nessa época, uma série de edifícios com características arquitetônicas externas que evidenciavam a presença do padrão evolutivo do processo de projeto industrial. Mas outras fábricas também evoluíram e demonstraram isso nas características do próprio edifício (CAMAROTTO, 1998).

No Brasil, o processo de valorização da arquitetura industrial como parte do processo de melhoria na produção e na paisagem urbana estabeleceu-se na década de 90, quando as multinacionais invadiram o mercado e trouxeram as premissas construtivas e qualitativas do mercado externo (CORREIA, 2010). Porém, já na década de 80, o projeto da ampliação da fábrica Hering em Blumenau, Santa Catarina, marcou o uso do concreto armado e das tipologias estrangeiras de construção industrial (DAUFENBACH, 2010).

O arquiteto alemão Hans Broos elaborou todo o projeto de ampliação da fábrica Hering englobando o antigo e histórico edifício, além do plano diretor de urbanização do local. Os novos edifícios foram construídos em concreto aparente e de forma integrada à natureza circundante e ao paisagismo de Burle Marx – figuras 19 e 20. A preocupação do arquiteto com a inserção na paisagem levou a um projeto de macroambiente elaborado por Aziz Ab'Saber¹⁰. O projeto considerou a pequena largura do vale e propôs edifícios pequenos em cidades próximas de forma a constituir um complexo industrial (DAUFENBACH, 2010).

¹⁰ Aziz Ab'Saber (1924) é um conceituado geógrafo brasileira especialista em meio ambiente e impactos ambientais.



Figura 19: Edifício Hering 1977-1984 – unidade malharia
(Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.123/3530>)

“O edifício da Malharia apresenta grande simplicidade volumétrica – planta retangular, com cobertura em cimento amianto em duas águas sobre estrutura metálica, a linearidade e horizontalidade dos volumes”
(DAUFENBACH, 2010).

A estrutura do prédio é externa para aumentar o espaço interno e a flexibilidade do edifício.



Figura 20: Edifício Hering 1968-1975 – unidade costura
(Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.123/3530>)

O edifício de costura da Hering, também projetado pelo arquiteto Broos, apresenta características marcantes do brutalismo: concreto aparente, linguagem pesada, escada corpulenta em forma vertical que contrapõe a horizontalidade do edifício, passarelas externas e brises para proteção solar.

A passagem do século XX para o XXI marcou o ápice da terceira revolução industrial, com o aumento da capacidade produtiva, sua eficiência e competitividade, integrando questões vinculadas à sociedade e ao meio ambiente, fatores que estimularam a liberalização política, econômica e social. E é neste contexto que o fenômeno da globalização culmina (FARAH, 2000). Apesar da oposição de

pensamentos sobre a homogeneização da cultura e da economia mundial (ORTIZ, 1994) e da valorização do regionalismo como forma de fortalecer a dimensão simbólica e material da cultura (SANTOS, 1996), o fato é que, em termos de arquitetura e de indústria, a globalização contribuiu para aumentar as taxas de crescimento da economia mundial, a exportação de manufaturados dos países em desenvolvimento e a chegada das multinacionais neles (SANTOS, 2006), acarretando desenvolvimento científico, tecnológico e, conseqüentemente, contribuindo para a informatização das indústrias, alterando as necessidades de programas arquitetônicos e, conseqüentemente, forma, material de construção e resultado do projeto.

Além disto, a economia e o comércio globalizados fez com que os edifícios industriais pudessem ter seus setores em diferentes localizações. Por exemplo, o setor administrativo pode estar em um lugar, enquanto a produção está em outro, sendo que o principal fator que determina esta localização é o custo da produção e da mão de obra, além da localização do mercado consumidor. Esta rede industrial é chamada de aldeia global por Santos (2006).

A figura 21 relata o processo de crescimento de uma cidade industrial, esquematizado por Jorg Muller (1983). Nela é possível perceber que a última fase desenhada possui um núcleo de indústrias de fabricação em uma região localizada na borda da cidade, enquanto na região central existem edifícios de escritórios e prováveis sedes comerciais destas indústrias.



Figura 21: Representação da evolução de uma cidade industrial
(fonte: Jorg Muller, 1983)

Este desenho de uma cidade industrial mostra sua evolução ao longo do tempo. No início, as indústrias estavam localizadas junto às residências e aos comércios, sem muitas distinções. No terceiro quadro é possível observar indústrias localizadas na região central da cidade e também há um núcleo industrial mais próximo à área rural e ao rio. O último quadro mostra o desenvolvimento de edifícios comerciais ou institucionais no centro da cidade e o núcleo industrial, já menos poluidor, na borda da cidade.

É também nessa fase das revoluções industriais que acontecem os eventos ambientais que mais impactam o setor de construção industrial. A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, de 1992, colocou a tona a transdisciplinaridade e as dimensões de aplicação da sustentabilidade, acarretando preocupações cada vez maiores referentes ao meio ambiente e o impacto ambiental das construções, bem como o conforto térmico, luminoso e acústico das instalações industriais.

Exemplos dessas adaptações feitas em edifícios industriais começam a ser vistos a partir da década de 90, mas principalmente, nos anos 2000. A fábrica de plásticos Igus, de 1992, é composta por um galpão com bloco de escritórios desmontável para contribuir com a flexibilidade do layout e da disposição dos ambientes sem que haja muitas reformas e impactos envolvidos e domos de ventilação sob as torres amarelas para que não seja necessário utilizar condicionamento térmico nos ambientes, como mostra a figura 22; a fábrica da Motorola, em Swindon, de 1998, do escritório Architect Sheppard Robson, de aproximadamente 28.000 m², possui um teto em forma arredondada que cobre uma rua interna, onde os funcionários podem se socializar – figura 23 e a “fábrica transparente” da Volkswagen, em Dresden, feita em 1999/2000 e projetada pelo escritório Henn Architects, possui sistema de ventilação natural,

claraboias para iluminação natural e adaptação para o processo de produção em linha e humanizado, de acordo com Henn (<http://www.henn.com>) – figura 24 (HALLSWORTH, 2005).



Figura 22: Igus Plastics Factory – 1992
(fonte: PHILLIPS, 1993)

Projetada pelo arquiteto Nicholas Grimshaw, a fábrica Igus foi implantada em um terreno de 40 mil m² com interior flexível e adaptável, considerando o bem estar dos funcionários.



Figura 23: Motorola Factory, Swindon – 1998
(fonte: <http://www.motorola.com>)

Esta fábrica da Motorola foi construída em 52 semanas, com estrutura pré-moldada em aço e vedação em vidro. Sedia parte do processo de produção de aparelhos e os escritórios da empresa.



Figura 24: Volkswagen Transparent Factory, Dresden – 1999/2000
(fonte: www.volkswagen.com)

A fábrica transparente da Volkswagen, projetada pelo escritório Henn Architects, possui fachadas em vidro que contribuem para a visão exterior da produção, integrando o edifício à cidade e aumentando a iluminação natural interna. Além do vidro, alumínio, madeira e granito são materiais que também compõem o edifício.

A composição das fábricas com painéis de vidro era vista como uma forma de inserir o edifício na paisagem urbana de forma mais harmoniosa, caracterizando a tendência *High Tech*, que prevaleceu durante a mudança de século, como uma possibilidade de trazer as fábricas cada vez mais próximas dos centros urbanos. A unidade de pesquisas, escritórios e produção da fábrica de limpeza a vácuo Dyson Malmesbury Factory, projetada pelo arquiteto Chris Wilkinson possui a fachada revestida com espelho e o telhado ondulado projetados com o objetivo de impactar o público com o estilo high tech. Esse impacto foi pensado no sentido de trazer para o ambiente urbano a possibilidade da convivência com o ambiente fabril de forma diferenciada do convencional, trazendo surpresa e, talvez, admiração pelo impacto (HALLSWORTH, 2005).

Além do impacto, a fábrica Dyson traz preocupação com o meio ambiente de trabalho e do entorno. Refletindo a paisagem do local, tenta camuflar a fábrica e se integrar com a cidade, além de possuir ventilação natural em todo edifício; características que podem ser associadas aos indicadores de sustentabilidade que são usados atualmente como instrumentos de medida da sustentabilidade de um edifício.



Figura 25: Dyson Malmesbury Factory, Wiltshire - 1998
(fonte: www.wiltshiretimes.co.uk)



Figura 26: Dyson Malmesbury Factory, Wiltshire – 1998 – vista noturna
(fonte: www.heber.co.uk)

A sede da Dyson possui 7 mil m² de área construída, com possibilidade de expansão para 35 mil m². A fachada revestida com espelho faz com que o telhado ondulado pareça flutuar durante a noite. Internamente, a planta é livre para aumentar a flexibilidade do layout determinado pelos diferentes usos.

A tendência pela valorização do meio natural, do conforto térmico e luminoso e da paisagem urbana também influenciou David Mellor com sua fábrica de talheres e utensílios de cozinha instalada no Parque Nacional Peak próximo a Sheffield e desenhada por Michael Hopkins, em que foram utilizados materiais naturais e árvores para manter a paisagem do local harmoniosa mesmo com a instalação da fábrica (HALLSWORTH, 2005).



Figura 27: David Mellor Factory, Parque Nacional Peak – 2000
(fonte: HALLSWORTH, 2005)

O local escolhido para a implantação da fábrica de cutelaria, museu e café do David Mellor é o antigo gasómetro da cidade de Sheffield. Foi utilizado um antigo cilindro de gás para sua fundação e estrutura, justificando sua forma arredondada. O edifício já recebeu vários prêmios de arquitetura e é aberto a visitação.

2.1.4. Quarta Revolução Industrial

Após o fenômeno da globalização e das mudanças referentes ao tratamento com o meio ambiente, as questões referentes à sustentabilidade e os novos processos de produção, incluindo as tecnologias mais avançadas e o desenvolvimento da mídia, o que acontece no mundo atual – pós anos 2000 – está sendo chamado por alguns pesquisadores, principalmente economistas, de quarta revolução industrial. Apesar da preocupação com o meio ambiente, todas as revoluções industriais anteriores contribuíram para a escassez de recursos naturais.

De acordo com Freitas (2005), a nova revolução industrial começa com a falta de recursos naturais, trazendo a necessidade da utilização de produtos reaproveitáveis e biodegradáveis a partir de tecnologia e de informação. As novas fontes de energia são limpas e renováveis; solar, eólica e de alta performance, com o uso de espectro de silício nos capacitores, diminuindo as perdas (FREITAS, 2005). As indústrias se destacam, nesta fase, pelo manuseio da informação, pela equipe altamente qualificada, pela automação dos processos, pela logística eficiente de transportes e armazenamento, pela tecnologia agregada aos produtos e, principalmente, pelo ciclo contínuo de energia. As indústrias da quarta revolução industrial coletam água pluvial, tratam-na e reutilizam-na em processos; reutilizam subprodutos de outras indústrias, são responsáveis pelo destino de seus produtos através da logística reversa e pelo destino de seus subprodutos e representam o mínimo de impacto possível no ambiente em que estão inseridos.

Alguns edifícios industriais já apresentam estas modificações, como a nova sede da Rolls Royce, propriedade da fábrica BMW. O projeto é do arquiteto Nicolas Grimshaw e o local escolhido é uma floresta perto de Goodwood e da aldeia Westhampnett, em uma área de 22.500 m². O edifício possui uma enorme cobertura verde com plantas da região, que impossibilita sua visualização da estrada, integrando-o a paisagem do local, além de oferecer resfriamento evaporativo no verão, isolamento térmico no inverno, retardamento do escoamento da água pluvial e diminuição da impermeabilização do terreno; o edifício também possui iluminação natural através de clarabóias e coleta e reuso de água pluvial com armazenamento em um lago. A luz natural também é considerada lateralmente com fachadas envidraçadas que estão protegidas por brises de madeira certificada com controle automático (HALLSWORTH, 2005).



Figura 28: Fábrica da Rolls Royce, West Sussex – 2003
(fonte: www.rolls-roycemotors.com)

Esta fábrica da Rolls Royce é o primeiro exemplo de arquitetura moderna de reunião do West Sussex. Apesar de grandes proporções, ele foi construído para ser imperceptível à paisagem, compondo uma integração entre meio ambiente e meio industrial. Isto foi possível através da combinação entre paisagismo, cores, espelhos e o eixo horizontal da indústria.

A fábrica da Natura, em Cajamar - SP, deu seguimento à indústria preocupada com os impactos ambientais e a sustentabilidade. O projeto, assinado pelo arquiteto Roberto Loeb, foi iniciado em 1996 e teve como partido a inserção na paisagem através da implantação horizontal em grandes patamares que se assemelham às colinas do vale do rio Juqueri, seu entorno. Nos patamares estão distribuídos os doze edifícios entreabertos que possibilitam maior contato com o espaço externo e são construídos com estrutura metálica, concreto e vidro – figuras 29, 30 e 31. O projeto foi elaborado considerando as seguintes diretrizes do Green Building Challenge¹¹:

- qualidade do serviço: flexibilidade do layout; facilidade de acesso e manutenção dos sistemas; vistas para o exterior; facilidade de serviços para os funcionários, como bancos, centro médico e lanchonete.

- qualidade do ambiente interno: controle de temperatura e umidade; iluminação natural

- cargas ambientais: gestão de resíduos sólidos

- efluentes líquidos: estação de tratamento de efluentes

- consumo de recursos: poço artesiano e estação de tratamento de água; uso de energia solar.

¹¹ Green Building Challenge (GBC) é um esforço de colaboração internacional criado em 1996 para desenvolver uma ferramenta de avaliação ambiental para edifícios que expõe aspectos da sua performance e do qual os países participantes podem extrair idéias para incorporar ou modificar as ferramentas. O GBC desenvolveu o software GBTool, que contém estas ferramentas organizadas de forma a facilitar o desenvolvimento do projeto.

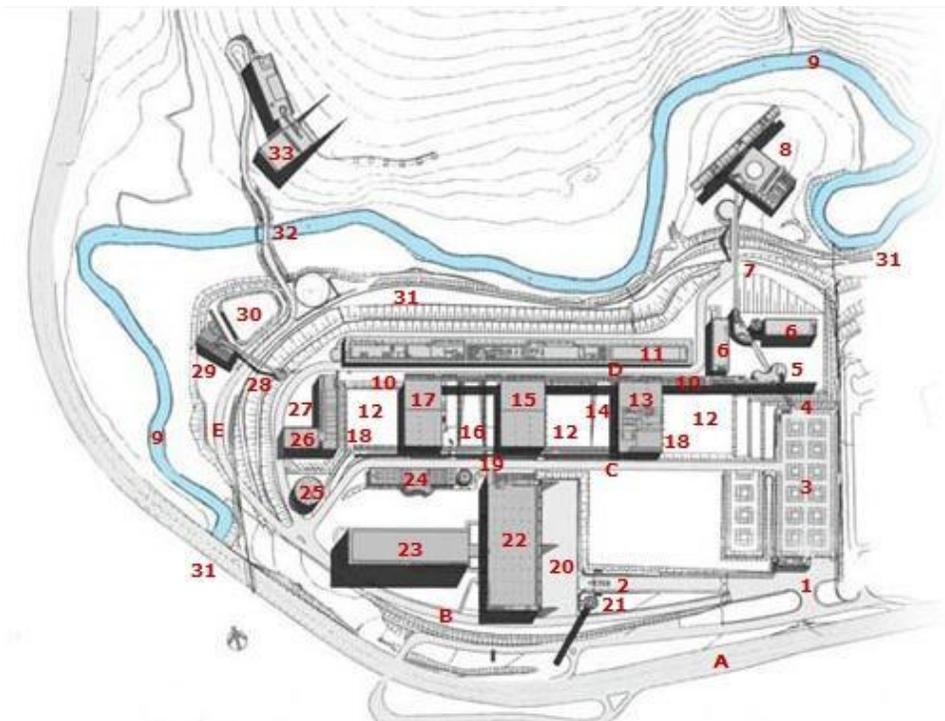


Figura 29: Implantação esquemática da Fábrica Natura, Cajamar – 1996
(fonte: www.loebarquitectura.com.br)

- | | | |
|--|---|---|
| 16 – Praça | 22 – Picking | 29 – ETE |
| 17 – Fábrica 3 | 23 – Almoxarifado | 30 – Clube |
| 18 – Passarela de circulação de produtos e dutos | 24 – Tanques | 31 – Ferrovia Perus-Pirapora (desativada) |
| 19 – Ligação das fábricas ao prédio do Picking | 25 – Edifício de utilidades | 32 – Acesso ao clube |
| 20 – Docas e pátio de manobra de caminhões | 26 – Central de manutenção | 33 – Prédio do clube |
| 21 – Caixa d'água | 27 – Pátio de ônibus de funcionários | |
| | 28 – Ponte de acesso e tubulação da ETE | |

- Legenda:
- 01 – Portaria Social
 - 02 – Portaria de cargas
 - 03 – Estacionamento
 - 04 – Ponte de acesso à recepção
 - 05 – Recepção
 - 06 – Edifícios de Pesquisa e Desenvolvimento
 - 07 – Passarela
 - 08 – Núcleo de Aperfeiçoamento
 - 09 – Rio Juqueri
 - 10 – Passarela de visitação
 - 11 – Apoio de funcionários
 - 12 – Área de expansão
 - 13 – Fábrica 1: cremes e maquiagens
 - 14 – Praça
 - 15 – Fábrica 2: hidroalcoólicos
 - A – Rodovia Anhanguera
 - B – Via de acesso
 - C – Via de acesso às fábricas
 - D – Via de acesso equipamentos internos
 - E – Acesso ao clube e ETE



Figura 30: Fachada principal Fábrica Natura, Cajamar - 1996
(fonte: www.loebarquitectura.com.br)



Figura 31: Fachada lateral Fábrica Natura, Cajamar - 1996
(fonte: www.loebarquitectura.com.br)

A fábrica Natura foi inaugurada em 2001, com o total de 70 mil m², no que Loeb chamou de Campus industrial por integrar todas as unidades de atividades da empresa, desde a administração, centro de pesquisas e desenvolvimento, fabricação, treinamento, clube, creche e serviços sociais para funcionários, até área de estoque, armazenamento e restaurante. Esta fábrica segue a tendência da época, com concreto, aço e vidro na construção. O edifício apresenta alto aproveitamento de iluminação natural, incineração própria de subprodutos industriais, usina de compostagem de orgânicos, sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos, estação de tratamento de efluentes domésticos e industriais e sistema de captação de energia solar.

Além da Natura, o escritório Roberto Loeb Arquitetos Associados também é responsável pelo projeto e obra da fábrica de perfumes Fator 5, em Arujá - SP, construída em 2005, com uso de estrutura metálica, painéis e estrutura pré-moldada de concreto, além de vidro e estruturas para proteção solar, levando em consideração aspecto de sustentabilidade, como conforto térmico e luminoso e energia de fontes renováveis. A fábrica Mahle Metal Leve de Jundiaí - SP, também projetada por Roberto Loeb Arquitetos Associados, possui um incremento além dos já mencionados: uma reserva florestal de Mata Atlântica em seu entorno, com a qual, o projeto foi integrado.

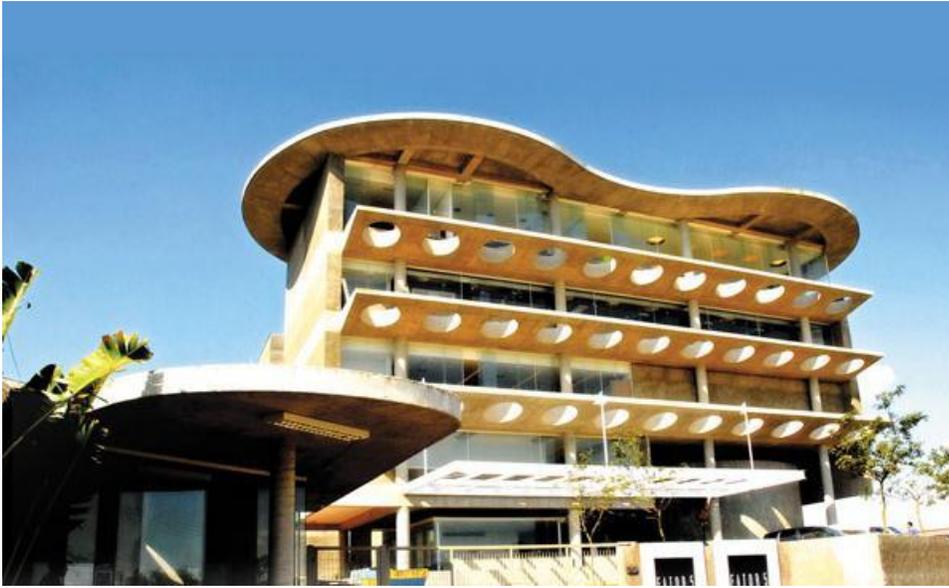


Figura 32: Fábrika Fator 5 - 2005
(fonte: www.loebarquitectura.com.br)

Projetada em 2004 e construída em 2005, a fábrica Fator 5, em Arujá, utiliza estrutura pré-moldada de concreto e fachada em vidro, ligando a empresa à imagem de transparência e conferindo mais iluminação natural ao ambiente interno.



Figura 33: Fábrika Mahle - 2006
(fonte: www.loebarquitectura.com.br)

A fábrica Mahle possui 18 mil m² de área construída, um edifício de anéis semicirculares escalonados, que proporcionam diferentes vistas e sensações, integrando o edifício ao trecho de mata atlântica local. Os espelhos d'água sobre as coberturas contribuem para o conforto térmico.

De acordo com Evans et al (2009), “*nos países industrializados, o próprio sistema industrial pode ser responsável por 30% ou mais da geração de gás estufa nos dias de hoje*” (EVANS et al, 2009). Por isto são necessárias atitudes que visam à diminuição do aquecimento global e ao aumento da qualidade de vida, diminuindo o impacto ao meio ambiente. Algumas indústrias adotam procedimentos para tornar estas atitudes viáveis (EVANS et al, 2009):

- Redução da energia para fabricação do produto;
- Redução da quantidade de resíduos que vão diretamente para o aterro sanitário;
- Redução no consumo de água;
- Adoção de procedimentos de logística reversa;

- Edifícios projetados com maior eficiência energética, principalmente nos sistemas de aquecimento e refrigeração.

Apesar de, não necessariamente, ser preciso alta tecnologia para garantir o cumprimento destes objetivos, esta nova forma de pensar o sistema industrial está na fase inicial, com poucas indústrias representantes (EVANS et al, 2009). Também são exemplos:



Figura 34: Fábrica da Ferrari, Maranello – 2009
(fonte: <http://www.environmentalleader.com>)

A nova fábrica da Ferrari instalou um sistema de painéis fotovoltaicos que diminuiu o consumo de energia anual em 210.000 kWh. Também existe uma planta trigeração, que aproveita a energia das hélices dos motores, reduzindo suas emissões de gás carbônico em até 30%. O túnel do vento foi projetado pelo arquiteto Renzo Piano, com o uso de indicadores do LEED. Além disso, mais de 200 árvores fazem parte de uma extensa área verde de regulação de micro clima local.



Figura 35: Fábrica da Toyota, Burnaston – 2010
(fonte: Google Street View, 2010)

Em 2010 a Fábrica da Toyota em Burnaston adotou uma série de medidas para reduzir seu impacto no meio ambiente. Entre elas:

- Zero emissão de resíduos para aterro;
- Reciclagem de águas residuais (100 mil ton. economizadas por ano)
- Redução de emissão de gás carbônico
- Redução em 25% no consumo de energia por pintura de veículo.



Figura 36: Fábrica Sears, Stokton, 2009
(fonte: CATERINO, 2011)

O centro de distribuição do grupo Sears, localizado no ProLogis Park Duck Creek e desenhado pelo escritório de arquitetura Ware Malcomb, possui certificado LEED Prata por apresentar as seguintes soluções sustentáveis:

- redução em 75% dos resíduos da construção;
- extração e fabricação de 20% dos materiais de construção na própria área da fábrica;
- uso de 50% de madeira certificada;
- Redução de 20% no consumo de água.

Além das modificações na relação do edifício com o meio ambiente, a transição do século XX para o XXI representou mudanças nos materiais usados nas construções, com resinas, fibras, metais e plásticos com maior qualidade e desempenho através do emprego de tecnologia em sua fabricação, com o objetivo de isolar, selar e aumentar a resistência e a durabilidade do edifício. Também foi acrescentada, nas plantas industriais, tecnologia no processo de produção através de robôs, sistemas de ergonomia e métodos de produção mais limpa, com menor impacto ambiental (CORREIA, 2010) que refletiram em alterações na arquitetura do edifício.

Ampliando o foco da abordagem do edifício isolado para a escala da cidade, é no século XX que a questão da sustentabilidade urbana toma dimensões mundiais. As discussões geradas com a Rio 92 evoluíram para a Cúpula Mundial Sobre Desenvolvimento Sustentável – Rio +10 – realizada em Johannesburgo em 2002 e que teve como principal objetivo levantar possibilidades de aplicação das diretrizes propostas na Agenda 21 pelos cidadãos e não apenas pelos governos, reestabelecendo as metas de desempenho ambiental local. Em termos de arquitetura, indústria e cidade, a Agenda 21 (2000) estabelece estratégias para se alcançar a sustentabilidade urbana:

1) “Aperfeiçoar a regulamentação do uso e ocupação do solo urbano e promover o ordenamento do território, contribuindo para a melhoria das condições de vida população, considerando a promoção da equidade, a eficiência e a qualidade ambiental;

2) *Promover o desenvolvimento institucional e o fortalecimento da capacidade de planejamento e gestão democrática da cidade, incorporando no processo a dimensão ambiental urbana e assegurando a efetiva participação da sociedade;*

3) *Promover mudanças nos padrões de produção e consumo da cidade, reduzindo custos e desperdícios e fomentando o desenvolvimento de tecnologias urbanas sustentáveis;*

4) *Desenvolver e estimular a aplicação de instrumentos econômicos no gerenciamento dos recursos naturais visando à sustentabilidade urbana” (MMA, 2000).*

Se a dimensão ambiental urbana for incorporada ao processo de produção industrial, todas as estratégias para a sustentabilidade urbana podem ser repassadas para a indústria, através de mudança no padrão de produção e de consumo, além da consequente redução de custos e de resíduos. Esta mudança nos padrões é acompanhada de valorização econômica da indústria e de aceitação e reconhecimento da população, por gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais (HART e MILSTEIN, 2004).

De acordo com Castells e Hall (2001), as modificações trazidas com a quarta revolução industrial afetam as metrópoles em termos de infraestrutura e de dinâmica de crescimento através das inovações tecnológicas, com a tecnologia da informação, a formação de economia global¹² e a produção informacional. Para os autores, em teoria, esta modernização tecnológica poderia ter sido originada independente do projeto e da produção de equipamentos tecnologicamente avançados, porém, “a evidência empírica indica que o potencial tecnológico dos países e regiões está diretamente relacionado com sua capacidade para produzir, fabricar realmente, os produtos tecnológicos mais avançados” (CASTELLS e HALL, 2001). Isto justifica a aparição de um novo espaço industrial, definido pela localização de novos setores industriais, globalmente independentes.

Estes novos setores industriais resultam em parques tecnológicos, parques industriais ou tecnopolis, cada um com as características do local em que estão inseridos. A cidade de Kalundborg¹³, na Dinamarca, representa não apenas um exemplo padrão de sustentabilidade urbana, mas também de sustentabilidade industrial – figura 37. Ela é considerada a primeira concretização do que é denominado Simbiose Industrial.

Ali são usadas tecnologias construtivas com reutilização de construções já existentes e construção

¹² Economia global é aquela que funciona em tempo real, como uma unidade em um espaço mundial, tanto para o capital como para a gestão, o trabalho, a tecnologia, a informação ou os mercados (CASTELLS e HALL, 2001).

¹³ Kalundborg está localizada na região leste da Dinamarca, a 130km de Copenhagen, possui uma área de aproximadamente 130 km² e uma população de 49 mil habitantes. É vista como um exemplo de sucesso de minimização de poluição e otimização de recursos em um complexo industrial.

de novos espaços de acordo com a arquitetura sustentável: utilização de materiais alternativos ou reciclados, considerando seu ciclo de vida; reutilização de água, com captação e utilização de água pluvial, tratamento de águas residuais e tratamento de efluentes; utilização de fontes alternativas de energia, como solar, eólica e gás natural.

Com diretrizes de ciclagem de energia e matéria, subprodutos de algumas indústrias se transformam em matérias primas para outras ou mesmo para algum serviço da comunidade e toda a infraestrutura física e edifícios são adaptados, de forma sustentável, para possibilitar a realização destas diretrizes. As fábricas integram-se a paisagem da cidade, bem como suas tubulações e paisagismo.



Figura 37: Distrito de Kalundborg, Dinamarca - 2009
(fonte: arquivo pessoal)

A foto foi tirada do porto da cidade, com vista para uma das mais significativas implantações industriais: a indústria Dong. Se à distância é possível diferenciar as indústrias das demais construções, o mesmo não ocorre quando se circula pelas ruas da cidade – como é visto no próximo item desta pesquisa.

Quadro 1: Sinopse da evolução da arquitetura industrial

(fonte: elaborado pela autora)

FASE	PERÍODO	PRINCIPAIS PAÍSES REPRESENTANTES	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS	PRINCIPAIS FONTES DE ENERGIA	CARACTERÍSTICAS DAS TIPOLOGIAS DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS	EDIFÍCIOS MAIS REPRESENTATIVOS	LOCALIZAÇÃO NAS CIDADES
Pré Rev. Industrial	Até 1760	Países europeus mais desenvolvidos: Inglaterra e França	Alvenaria e madeira	Eólica e moinhos d'água	Atividades de produção realizadas nas próprias residências, com produção artesanal – sem maquinários – com grandes aberturas para ventilação. Projeto elaborado e construído pelos próprios artesãos.	Não há	Em áreas centrais, junto à vila residencial e de comércio.
I Rev. Industrial	1760 a 1860	Inglaterra, Alemanha e França	Alvenaria, ferro fundido e vidro	Máquina a vapor	Galpões industriais pavimentados, construídos em alvenaria, com esquadrias em ferro fundido e vidro nas fachadas para iluminação natural.	Soho Factory – 1766 Ditherington Flax Mill – 1797 Palácio de Cristal - 1850	Próximo às estradas férreas.
II Rev. Industrial	1860 a 1945	Inglaterra, Alemanha, França, Itália, Rússia, Estados Unidos e Japão	Primeira fase: alvenaria, aço e vidro Segunda fase: concreto armado, aço e vidro	Elétrica e hidráulica	Edifícios que contribuíam para a produção linear; arquitetos projetavam somente fachadas na primeira fase, mas passaram a projetar todo o edifício a partir da segunda fase da revolução. Uso de grandes vãos livres para flexibilidade do layout interno. Iluminação e ventilação natural pensadas desde o projeto.	Packard Motor Company – 1903 Ford Highland Park – 1910 The AEG Turbine Factory – 1909 Fagus Factory – 1911 Bauhaus - 1925	Próximo às estradas férreas e de rodagem, e a rios, no caso dos EUA. Longe das áreas centrais.
III Rev. Industrial	1945 a 2000	Inglaterra, Alemanha, França, Itália, Rússia, Estados Unidos, Japão, Brasil e China	Concreto armado, aço, vedações metálicas e plásticas e vidro.	Elétrica	Galpões fechados: sigilo de produção. Sheds e claraboias para ventilação e iluminação. Setorização da produção e dos seus edifícios com ligação através de passarelas. Estrutura externa e aparente. Layout interno de acordo com linha de produção seguida. Tendência High Tech. Valorização do meio natural: inserção do edifício no entorno e uso de materiais naturais.	Cummins Diesel Factory – 1966 Fleetguard Factory – 1979 Volkswagen Transparent Factory – 1999/2000	Bolsões periféricos, próximos a grandes rodovias; distritos industriais.
IV Rev. Industrial	2000 até a hoje	Países desenvolvidos e em desenvolvimento	Estruturas metálicas, vidro, materiais de reciclagem e reutilização, componentes de carbono e de madeira, fibras e placas de elementos plásticos.	Solar, eólica e elétrica	Inserção total do edifício no entorno Uso de tecnologias ecológicas de construção: telhado verde e materiais de baixo impacto ambiental Uso de sistemas sustentáveis: captação de água pluvial, tratamento e reuso de água de processos industriais, captação de energia de fontes renováveis, tratamento de esgoto, reciclagem de subprodutos.	Fábrica da Rolls Royce – 2003 Fábrica da Natura – 1996 Fábricas do distrito de Kalundborg Fábrica da Ferrari, Maranello	Unidades industriais nos centros de cidades ou de negócios das cidades; em bolsões industriais e parques industriais, parques tecnológicos ou tecnópolis.

2.2. Ecologia Industrial

O conceito de Ecologia Industrial foi desenvolvido a partir de diferentes áreas que cresciam em significância durante a década de 70, quando a agitação da atividade intelectual, que marcou os primeiros anos do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), levou especialistas da ecologia científica a acreditarem na evolução do sistema industrial para um subsistema da biosfera. As áreas que mais contribuíram para a conceituação foram a Ecologia, a Engenharia e a Economia (ERKMAN, 2001; GRAEDEL e ALLENBY, 2010).

Os autores que iniciaram a discussão sobre a relação entre indústria e ecologia eram economistas do século XIX que pesquisavam sobre economia ecológica, fluxo de energia e viam o sistema econômico como um sistema físico e biológico. A economia ecológica, resumidamente, tem a visão de que o sistema econômico está contido na Terra e que, por isso, depende do capital natural global. Como a Terra e seus recursos naturais possuem capacidade limite, a economia passa também a ser limitada por condicionantes biofísicas e ecológicas. Assim, a indústria pode entrar como gestora do capital natural e, portanto, a ecologia industrial surge como uma alternativa que preserva a capacidade de geração de serviços de suporte e que aumenta a produtividade dos elementos do capital natural (GONZÁLEZ, 2009).

Entre eles, se destacaram os artigos de Patrick Geddes, Frederick Soddy e S.A. Podolinsky, como precursores da economia ecológica. Dando continuidade a estes estudos, os economistas K. Boulding (1966), G. Roegen (1971), W. Kapp (1978), H. Daly (1972, 1980), P. Erlich (1970), R. Noogard (1984) e R. Constanza (1999) pesquisaram as relações entre os ecossistemas naturais e econômicos de forma equitativa e se valeram da insistência de que a “economia deveria ser vista com um sistema aberto à entrada de energia e fechado à entrada de materiais e à saída de resíduos” (GONZÁLEZ, 2009).

Baseados nessas pesquisas e nas publicações de Odum, que levavam em consideração a inclusão de todos os organismos contidos em determinado ambiente e todos os processos funcionais que o tornam habitável em seu ecossistema, somadas a complexidade do funcionamento urbano, autores da década de 70 passaram a ver o sistema industrial como um subsistema da biosfera (GRAEDEL e ALLENBY, 2010). De acordo com a definição de Odum (1985), um ecossistema é “qualquer unidade (biosistema) que abranja todos os organismos que funcionam em conjunto (a comunidade biótica) numa dada área, interagindo com o ambiente físico de tal forma que um fluxo de energia produza estruturas bióticas claramente definidas e uma ciclagem de materiais entre as partes vivas e não vivas” (ODUM, 1985).

Assim, a indústria deixou de ser apenas uma grande consumidora de energia para estabelecer uma relação benéfica com o meio em que está inserida, podendo ser comparada a de um sistema entrópico: *“nenhum processo que implique uma transformação de energia ocorrerá espontaneamente, a menos que*

haja uma degradação de energia de uma forma concentrada para uma forma dispersa” (ODUM, 1985). Na ecologia industrial, a energia deve fluir em apenas um sentido, para se configurar um ciclo, de forma que os produtos resultantes e descartados de um processo e sua energia de baixa entropia podem ser considerados energia de alta entropia e insumo de produção para outro processo (ERKMAN, 1997).

A entrada de energia de qualidade, o seu armazenamento e a existência de um meio de dissipação da entropia afetam diretamente a organização e o funcionamento de determinado ecossistema. De modo que quando se trata de uma competição, ganha quem for mais eficiente na transformação da energia em atividade para si próprio e para o meio circundante com quem estabelece relação de benefício mútuo. A regra da entropia trouxe o termo simbiose para o meio industrial, baseado no conceito de mutualismo em comunidades biológicas, referindo-se “a relações que representam certo benefício para ambos associados, às vezes uma exploração comum”. (MARGALEF, 1974).

Essas pesquisas deram suporte para que a ecologia alcançasse a área da engenharia e para que surgisse o termo Ecologia Industrial, em 1989 (GRAEDEL e ALLEBY, 2010), quando o relatório Brudtland já havia sido publicado – 1987 – e as discussões sobre o meio ambiente e o comportamento humano na Terra estavam começando a ganhar seriedade no contexto internacional. O periódico *Scientific American* publicou, nessa data, uma edição especial chamada Gerenciando o Planeta Terra¹⁴, que apresentou o artigo dos engenheiros e pesquisadores norte americanos: Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos, intitulado Estratégias para a fabricação¹⁵. Nesse artigo, os autores discutiram a hipótese da possibilidade de se desenvolver métodos de produção industrial com menor impacto sobre o meio ambiente, introduzindo a noção de ecossistema industrial (ERKMAN, 2001). Eles escreveram sobre as projeções sobre os recursos naturais e as tendências populacionais em

“conduzirem ao reconhecimento de que o modelo tradicional da atividade industrial - no qual os processos de fabricação individuais extraem matérias-primas e geram produtos para ser vendidos e resíduos eliminados que poderiam ser transformados em um modelo mais integrado, um ecossistema industrial. (...) O ecossistema industrial poderia funcionar como um análogo dos ecossistemas biológicos. (As plantas sintetizam nutrientes que alimentam os herbívoros, que por sua vez alimenta uma cadeia de carnívoros cujos resíduos e corpos eventualmente alimentam novas gerações de plantas). Um ecossistema industrial ideal nunca poderá ser alcançado na prática, mas os fabricantes e consumidores devem mudar seus hábitos para uma abordagem mais

¹⁴ Tradução livre. Texto original: “*Managing Planet Earth*” (ERKMAN, 2001).

¹⁵ Tradução livre. Texto original: “*Strategies for Manufacturing*” (FROSCH e GALLOPOULUS, 1989).

próxima, já que o mundo industrializado é feito para manter seu padrão de vida - e as nações em desenvolvimento estão aumentando o deles a um nível semelhante - sem prejudicar o meio ambiente”¹⁶ (FROSC & GALLOPOULOS, 1989).

Os autores então definiram sua ideia de ecossistema industrial:

“Um ecossistema industrial é a transformação do modelo tradicional de atividade industrial, no qual cada fábrica, individualmente, demanda matérias-primas e gera produtos a serem vendidos e resíduos a serem depositados, para um sistema mais integrado, no qual o consumo de energia e materiais é otimizado e os efluentes de um processo servem como matéria-prima de outro”¹⁷ (FROSH & GALLOPOULOS, 1989).

A partir desse conceito, as indústrias passaram a integrar o ecossistema em que estão inseridas, principalmente através da otimização do uso de recursos naturais, com a reutilização de produtos resultantes de processos industriais que seriam descartados e da ciclagem de produtos (GRAEDEL e ALLEBY, 1995). De acordo com o primeiro livro publicado sobre o tema, o conceito de Ecologia Industrial:

“requer que um sistema industrial não pode ser visto isoladamente de seu entorno, mas em conjunto com ele. É uma visão sistêmica em que se busca otimizar o ciclo total de materiais a partir de materiais virgens, material para terminar, a componente de produto, de produtos obsoletos, e até a eliminação final. Os fatores a serem otimizados incluem recursos, energia e capital” (GRAEDEL E ALLENBY, 1995).

A este conceito global de ecologia industrial, também é possível agregar a tecnologia e a sociologia. Pois, quando aplicado à produção, envolve o design do processo industrial, de produtos e de serviços na

¹⁶ Tradução livre. Texto original: *“lead to the recognition that the traditional model of industrial activity - in which individual manufacturing processes take in raw materials and generate products to be sold plus waste to be disposed of should be transformed into a more integrated model: an industrial ecosystem. (...) The industrial ecosystem would function as an analogue of biological ecosystems. (Plants synthesize nutrients that feed herbivores, which in turn feed a chain of carnivores whose wastes and bodies eventually feed further generations of plants.) An ideal industrial ecosystem may never be attained in practice, but both manufacturers and consumers must change their habits to approach it more closely if the industrialized world is to maintain its standard of living - and the developing nations are to raise theirs to a similar level - without adversely affecting the environment” (FROSC e GALLOPOULUS, 1989).*

¹⁷ Tradução livre. Texto original: *“An industrial ecosystem is transforming the traditional model of industrial activity, in which each plant individually requires raw materials and generate products to be sold and waste to be deposited for a more integrated system, in which the consumption of energy and materials is optimized and the effluent from a process serve as the raw material for other process” (FROSC e GALLOPOULUS, 1989).*

perspectiva da competitividade, do meio ambiente e da sociedade, além de reconhecer a cultura, a escolha individual e a interação sociedade e meio ambiente (GRAEDEL e ALLENBY, 2010).

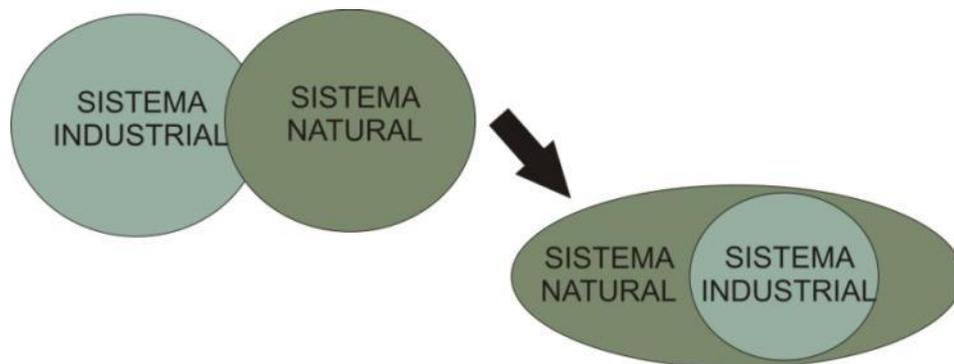


Gráfico 1: Interação sistema natural e industrial
(fonte: GRAEDEL e ALLENBY, 2010, adaptado)

A Ecologia Industrial é vista por Peck (2000) como uma das maneiras mais eficientes de utilização de materiais e de energia no meio industrial, pois sua implantação possibilita um ciclo de resíduos em que não há desperdício. A comparação com o ecossistema natural é a premissa básica que diferencia a Ecologia Industrial das abordagens tradicionais que se concentram em processos industriais de setores específicos da economia e que funcionam de forma isolada; ao contrário, as atividades industriais devem ser consideradas como um ecossistema industrial que funciona dentro do sistema ecológico natural (PECK, 2000; ERKMAN et al, 2005) e que inclui uma série de atividades.

“Assim como o ecossistema natural, o sistema industrial consiste fundamentalmente em fluxos de materiais, energia e informação, além de depender de recursos e serviços fornecidos pela Biosfera. É importante ressaltar logo no início que, no contexto da Ecologia Industrial, a palavra “industrial” alude a todas as atividades humanas que têm lugar na moderna sociedade tecnológica. Daí que turismo, habitação, serviços de saúde, transporte e agricultura também fazem parte do sistema industrial” (ERKMAN et al, 2005).

Assim como o sistema biológico, a Ecologia Industrial rejeita o conceito de resíduo - materiais inúteis ou sem valor. Na natureza, nada é eternamente descartado, são reutilizados, geralmente, com grande eficiência, conforme a regra da entropia. De acordo com Douglas (2011), *“como um ecossistema, as cidades podem ver vistas em termos de fluxos de energia, água e elementos químicos, ou alternativamente, com um habitat para organismos, incluindo os seres humanos”* (DOUGLAS et al, 2011).

Da mesma forma como as atividades industriais em uma determinada área podem ser tidas como um ecossistema industrial, as atividades humanas em uma cidade também podem ser vistas com um ecossistema urbano. Essa comparação permite a aproximação da temática industrial no contexto do urbanismo, uma vez que se a indústria está contida na cidade, o ecossistema industrial está contido no ecossistema urbano e ambos interagem de forma a integrar seus elementos (DOUGLAS et al, 2011).

As cidades dependem das atividades industriais para a fabricação de seus insumos e para a manutenção dos seus serviços, de forma a criar relações espaciais e funcionais com as indústrias, que, por sua vez, também são responsáveis pela poluição e por grande impacto ambiental nos centros urbanos. A relação entre cidade e indústria pode variar de acordo com o grau de desenvolvimento político e econômico da cidade (BAI e SCHANDL, 2011).

De acordo com Xuemei Bai e Heinz Schandl (2011) o interesse na pesquisa sobre ecologia urbana no âmbito da pesquisa em ecologia industrial começou no ano 2000, com a análise do impacto ambiental global e regional nas cidades através de ferramentas da ecologia industrial, da produção e do consumo sustentáveis, da pesquisa sobre o metabolismo urbano e como a forma, a densidade, o transporte e as escolhas de traçado urbano podem interferir no fluxo da cidade. Assim como na indústria, nas cidades também existem os fluxos de entrada e de saída, como são demonstrados no seguinte gráfico:

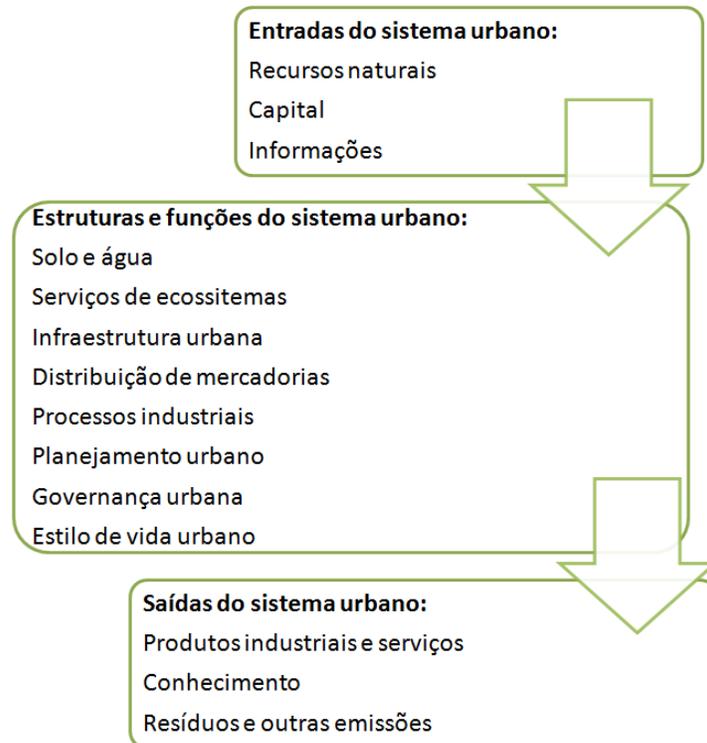


Gráfico 2: Ecologia Urbana e Sistemas industriais
 (fonte: DOUGLAS et al, 2011)

Apesar de muitas diferentes definições de ecologia Industrial, os autores convergem para os pontos que tratam o conceito como integralizado entre a economia industrial e a Biosfera, levando em consideração as relações sociais e seus consequentes padrões de fluxo de materiais e energia e a evolução das tecnologias sustentáveis. Erkman (2001), Graedel e Allenby (2010) e González (2009) materializam esse conceito através de quatro ações:

- 1) Otimização do uso de recursos: ação que usa como ferramenta a produção mais limpa e a prevenção à poluição como análise dos processos de produção para eliminar perdas. Para isto, é preciso realizar um estudo de campo nos setores industriais com o objetivo de mapear fluxos e analisar a possibilidade de (re) utilização de subprodutos industriais;
- 2) Fechamento do ciclo de materiais: para por em prática esta ação é necessário cuidados com o ciclo de vida dos produtos. Para que o ciclo seja fechado se requer energia e, se for considerada a energia proveniente de combustíveis fósseis, até a indústria da reciclagem gera resíduo proveniente do processo de combustão, o que faz com que as decisões estratégicas que visam fechar o ciclo de um produto devem ter a energia como fator de consideração no processo de

recuperação de um subproduto. Nesta ação, a ferramenta usada para dar apoio é a Análise do Ciclo de Vida - ACV;

- 3) Desmaterialização das atividades: para a ecologia industrial, minimizar o fluxo total de materiais e energia de processos industriais é uma importante ação. A tecnologia de materiais auxilia no sentido de obter mais proveito de uma menor quantidade de matéria. A tecnologia da informação também auxilia esta ação, contribuindo para a diminuição do uso de materiais na economia;
- 4) Redução e eliminação da dependência de fontes não renováveis de energia: a ecologia industrial adota como instrumento para esta ação a co-geração de energia e o aproveitamento em cascata, além da substituição dos combustíveis fósseis por fontes de energia mais limpa, como a solar, a eólica ou mesmo a hidráulica.

Assim, pode-se considerar que:

“El apresenta os seguintes pontos-chave: i) visão sistêmica das interações entre sistemas industriais e o meio; ii) estudo do fluxo e transformação da matéria e energia; iii) abordagem multidisciplinar; iv) reorientação do processo industrial; v) mudanças dos processos lineares de produção para processos cíclicos; vi) eficiência industrial; e vii) promoção de sinergias” (PEREIRA et al, 2007a).

A visão sistêmica entre os processos industriais e o meio trata das diretrizes que relacionam a indústria e sua vizinhança, com impactos positivos e negativos, considerando a otimização do uso de recursos e de fontes não renováveis; o estudo do fluxo e a transformação da matéria em energia são diretrizes que remetem aos estudos termodinâmicos do processo de produção e o fluxo de materiais. A abordagem multidisciplinar se configura como uma diretriz para estimular a integração das ciências em prol do desenvolvimento sustentável da indústria e sua vizinhança; já a reorientação do processo industrial é uma diretriz que visa à análise do ciclo de vida dos materiais utilizados no processo ou dos produtos. A mudança dos processos lineares de produção para cíclicos trata do compartilhamento e da reutilização de resíduos, auxiliando em sua redução; a eficiência industrial é uma diretriz presente em qualquer conceito relacionado à indústria. E, por fim, a promoção de sinergias é a principal diretriz da ecologia industrial, pois é a que estimula a cooperação entre indústrias, com a troca de insumos e resíduos entre plantas (TILLEY, 2008; GRAEDEL e ALLENBY, 2010; ERKMAN et al, 2005; PEREIRA et al, 2007b).

Considerando os produtos manufaturados, a Ecologia Industrial pode ser focada no estudo de produtos individuais e seus impactos ambientais nos diferentes estágios de seu ciclo de vida, e as instalações em que os produtos são feitos são focos complementares da aplicação do conceito. Nelas, matérias-primas, materiais processados e, talvez, produtos e componentes finalizados por terceiros são os fluxos de entrada, juntamente com a energia. Os emergentes fluxos são do próprio produto; resíduos de terra, água e ar; e resíduos de energia transformada na forma de calor e ruído (GRAEDEL e ALLENBY, 2010).

Segundo Erkman et al (2005), a ecologia industrial é um conceito elaborado por diversos autores que têm em comum o senso da abordagem prática da sustentabilidade, oferecendo *“soluções concretas que permitam colocar em prática o conceito de desenvolvimento sustentável de maneira economicamente viável”* (ERKMAN et al, 2005) aplicado ao meio industrial e ao meio ambiente. De acordo com Erkman et al (2005), os autores que tratam sobre ecologia industrial admitem a existência de três elementos essenciais ao seu conceito:

“a) Ela é uma visão sistêmica, abrangente e integrada de todos os componentes da economia industrial e sua relação com a Biosfera.

b) Ela ressalta o fundamento biofísico das atividades humanas, isto é, os complexos padrões de fluxos de materiais e energia que existem tanto dentro quanto fora do sistema industrial. Isto contrasta totalmente com os enfoques atuais que tendem a considerar a economia em termos de unidades monetárias abstratas.

c) Para ela, a dinâmica tecnológica — a evolução no longo prazo de conjuntos de tecnologias-chave — é um elemento essencial mas não único para uma transição do insustentável sistema industrial da atualidade para um ecossistema industrial viável” (ERKMAN et al, 2005).

2.2.1. Ferramentas de aplicação da Ecologia Industrial

A viabilização do conceito de ecologia industrial é possível através do uso de ferramentas. Instrumentos que visam soluções técnicas para os impactos ambientais causados pelos processos industriais aliam redução de geração de resíduos, otimização do uso de energia e de matérias-primas e análise dos processos de produção para eliminar perdas desnecessárias (ERKMAN et al 2005). A Análise do Ciclo de Vida do Produto (ACV), a Prevenção da Poluição (PP), criada em 1990 pela Agência de proteção Ambiental Norte-americana (EPA), o Projeto para o Ambiente (PpA) e a Produção mais Limpa (P+L) foram metodologias adicionadas como diretrizes da ecologia industrial para tornar

possível a reestruturação ambiental dos sistemas industriais com o objetivo do desenvolvimento sustentável (LIMA, 2008).

As Análises dos Ciclos de Vida dos Produtos procuram estender os limites dos sistemas industriais rumo ao desenvolvimento sustentável. De acordo com Costa (2002),

“A ACV procura avaliar os diversos estágios de produção de um produto, quantificando os efeitos ambientais de cada estágio. A demanda de um automóvel não proporciona a geração de poluentes somente na fábrica montadora de automóveis, mas também na usina siderúrgica que produz o aço, nas mineradoras de ferro e carvão, na indústria de pneus e assim por diante. Portanto, o inventário do consumo de energia e materiais e da emissão de poluentes deve captar os fluxos diretos e indiretos relativos a cada produto” (COSTA, 2002).

A Análise de Ciclo de Materiais pode ser vista como uma das principais ferramentas de análise e decisão para a Ecologia Industrial. Ela é responsável por caracterizar o metabolismo industrial de cadeias de produção e avaliar como os fluxos de energia e materiais estão organizados entre os componentes do sistema e do ambiente (LIMA, 2008).

Ainda de acordo com Costa (2002), as ACVs *“permitem verificar os efeitos do lançamento de rejeitos através de metodologias que normalizam os poluentes e encontram índices de impacto ambiental”* (COSTA, 2002). As ACVs devem ser realizadas em quatro etapas: definição do objetivo e do escopo; inventário dos fluxos de energia e materiais; análise de impactos ambientais e avaliação dos resultados ambientais. Estas quatro principais etapas da metodologia ACV foram adotadas pelas normas ISO 14040/1/2/3, através das bases da *Life Cycle Assessment* (1990), da *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* - SETAC.

Os resultados de uma ACV são, quase sempre, limitados ao sistema industrial ao qual foi aplicada. As compensações e as medidas positivas e negativas das escolhas tecnológicas do processo industrial se cruzam com a multiplicidade dos limites dos sistemas. Por isso a ACV exige detalhamento dos dados lançados na metodologia (LIMA, 2008).

A Prevenção à Poluição (PP) foi definida como:

“qualquer prática, anterior à reciclagem, tratamento e deposição, que reduza a quantidade de qualquer substância perigosa, poluente ou contaminante entrando em

fluxos de resíduos ou então lançados para o meio ambiente (incluindo emissões fugitivas), de forma a reduzir o perigo para a saúde pública e o ambiente...” (US CONGRESS, 1990).

O programa Prevenção à Poluição foi criado como uma metodologia para controle de emissões e resíduos industriais, visando reduzir a poluição através de cooperação entre as indústrias e incentivos governamentais. O Projeto para o Ambiente (PpA) inclui ações referentes aos projetos dos produtos que incorporam objetivos ambientais com pouca ou nenhuma perda do desempenho, vida útil ou funcionalidade, visando, também, o desenvolvimento sustentável (LIMA, 2008).

Definida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente como a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a eco-eficiência e reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente, a Produção Mais Limpa tem com base o reconhecimento de que o controle de poluentes gerados é mais caro do que a prevenção da poluição. Pois o controle *end-of-pipe* instala equipamentos como filtros, precipitadores, *scrubbers*, para o caso das emissões atmosféricas, mas exige o tratamento dos efluentes líquidos oriundos da limpeza desses equipamentos, o que limita a eficácia do sistema (COSTA, 2002).

Por isso, o combate à poluição, as formas de prevenção ou a minimização da poluição passaram a ser mais importantes. O aumento do custo de insumos materiais e da disposição de rejeitos, o maior rigor das regulamentações ambientais e a maior consciência ambiental dos cidadãos são fatores que levaram os setores industriais a buscar estratégias para a prevenção da poluição. (EPA, 1994)

A produção mais limpa agrega os princípios da PP e do PpA, pois pode ser definida como:

“uma estratégia econômica, ambiental e técnica, integrada aos sistemas de produção e produto, a fim de aumentar a eficiência de uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos” (PEREIRA et al., 2007a).

Existem também outras ferramentas de aplicação da ecologia industrial que são menos utilizadas, mas que também podem avaliar determinado processo de fabricação. A pegada ecológica de uma indústria, por exemplo, mensura o impacto ambiental causado pelo modelo de consumo em função do volume virtual de terra biologicamente produtiva para manutenção da indústria (<http://www.myfootprint.org>). Também existe a Análise do Fluxo de Materiais, que avalia o uso e a movimentação de materiais por meio de um indicador: a exigência de material total (TMR) e vários

indicadores derivados, como o intensidade material (MI) da economia, medida como TMR per capita e por ano, intensidade material por unidade de serviço (MIPS) e a produtividade material da economia, o PIB / TMR. Esta ferramenta foi desenvolvida pelo instituto alemão Wuppertal, em 1992 (FURTADO, 2005).

2.2.2. Aplicação da Ecologia Industrial

De acordo com Chertow (1999), existem três possibilidades de aplicação da ecologia industrial para o intercâmbio industrial de recursos primários:

1) reutilização de produtos: troca de subprodutos entre indústrias - reciclagem industrial.

2) compartilhamento de infraestrutura: a utilização combinada e gestão de recursos comumente utilizados em indústrias, tais como energia, água e esgoto.

3) prestação de serviços comuns: a satisfação das necessidades comuns entre as empresas para atividades auxiliares, tais como combate a incêndios, transporte e fornecimento de alimentos.

Estas possibilidades podem ser realizadas em três diferentes níveis conforme mostra o gráfico a seguir (CHERTOW, 2000):

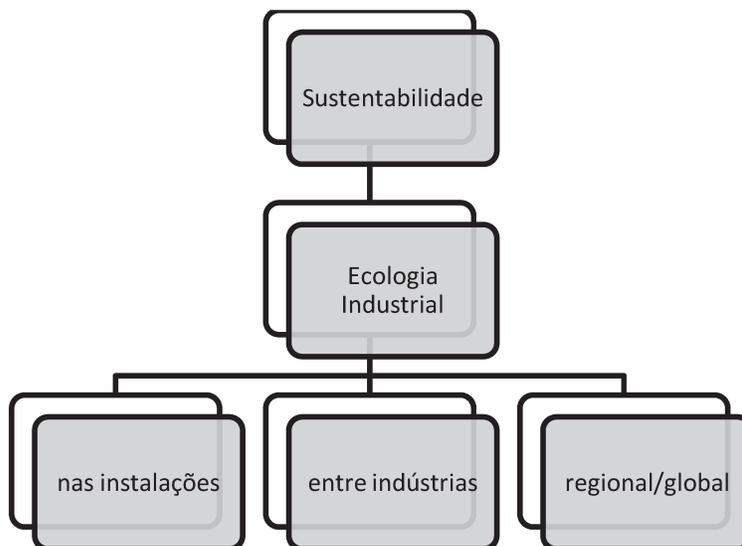


Gráfico 3: Três níveis de aplicação da ecologia industrial
fonte: (adaptado de CHERTOW, 2000)

O nível que ocorre nas instalações industriais é o que usa o desenho para ambiente, prevenção da poluição e contabilidade verde. O nível entre indústrias é o que trabalha com simbiose industrial, com ACV e com intercâmbio industrial. O nível regional/global é o que trabalha com fluxos de materiais e energia (CHERTOW, 2000).

Chertow (2000) afirma que a relação entre indústrias pode ser chamada de simbiose industrial. Para ela,

“A expressão “simbiose” baseia-se na noção de relações biológicas simbióticas na natureza, nas quais pelo menos duas espécies trocam materiais, energia, ou informação em uma solução mutuamente benéfica (...). Assim, também, simbiose industrial consiste

em trocas entre diferentes entidades (...). Este tipo de colaboração pode melhorar as relações sociais entre os participantes, e estendê-las para a vizinhança (...). A simbiose não precisa acontecer dentro dos limites de um parque, apesar do uso popular do termo eco parque industrial para descrever organizações engajadas em trocas” (CHERTOW, 2000).¹⁸

De acordo com Mirata e Pearce (2006), a rede de simbiose industrial (SI), sinônimo de eco parque industrial – EPI - ou ecossistema industrial, é considerada a manifestação dos princípios da ecologia industrial a nível regional. A SI é responsável por melhorias no potencial presente nas indústrias através de interações colaborativas entre suas atividades de produção. Essas melhorias são vistas, principalmente, quando as indústrias estão localizadas nas proximidades umas das outras (MIRATA E PEARCE, 2006).

As relações sinérgicas da simbiose industrial permitem melhorar a eficiência e a eficácia através das diferentes formas de utilização de determinado recurso. Consequentemente, a rede de simbiose industrial oferece um potencial de melhoria para a sustentabilidade das atividades econômicas regionais. Segundo Mirata e Pearce (2006), a rede de simbiose industrial oferece:

- “- Benefícios ambientais ligados a reduções no uso de recursos naturais, dependência nos recursos não renováveis, emissões de poluentes e manejo de resíduos;*
- Benefícios emergentes de reduções nos custos da entrada de recursos, produção e gestão de resíduos e de geração de renda adicional proveniente do valor agregado ao subproduto e ao fluxo de resíduos;*
- Benefícios comerciais devido à melhoria das relações com as partes externas, a imagem verde da indústria, aos novos produtos e seus mercados;*
- Benefícios Sociais através da geração de novos empregos, do aumento da qualidade dos trabalhos existentes e da criação de um ambiente de trabalho limpo e seguro” (MIRATA E PEARCE, 2006) ¹⁹*

¹⁸ Tradução livre. Texto original: *“The expression “symbiosis” builds on the notion of biological symbiotic relationships in nature, in which at least two otherwise unrelated species exchange materials, energy, or information in a mutually beneficial manner—the specific type of symbiosis known as mutualism. So, too, industrial symbiosis consists of place-based exchanges among different entities. By working together, businesses strive for a collective benefit greater than the sum of individual benefits that could be achieved by acting alone. This type of collaboration can advance social relationships among the participants, which can also extend to surrounding neighborhoods. As described below, the symbioses need not occur within the strict boundaries of a “park,” despite the popular usage of the term eco-industrial park to describe organizations engaging in exchanges” (CHERTOW, 2000).*

¹⁹ Tradução livre. Texto original: *“Environmental benefits linked to reductions in resource use, dependence on non-renewable resources, pollutant emissions and waste handling needs; environmental benefits emerging from reductions in the costs of resource inputs, production, and waste management and from generation of additional income due to higher value of by-product and waste streams; business benefits due to improved relationships with external parties, development of green image, new products and their markets; and social benefits by generating new employment and raising the quality of existing jobs, and by creating a cleaner, safer natural and working environment” (MIRATA e PEARCE, 2006 in GREEN e RANGLES, 2006).*

Còte e Cohen-Rosenthal (1998) propõem a inclusão do eco parque industrial como um dos tipos de parques industriais existentes, como “estado industrial, distrito industrial, zona de processamento de exportação, cluster industrial, parques empresariais, parques de escritórios, parques de desenvolvimento e pesquisa e parques de biotecnologia” (COTÈ e COHEN-ROSENTHAL, 1998). Cotè e Hall (1995) trazem uma das definições de eco parque industrial:

“Um eco parque industrial é um sistema industrial que conserva recursos naturais e econômicos; reduz a produção, o material, a energia, o seguro e tratamentos com custos e os passivos; melhora a eficiência da produção, a qualidade, a saúde do trabalhador e a imagem pública; e fornece oportunidades para geração de renda através do uso de material desperdiçado” (COTÈ e HALL, 1995).²⁰

O U. S. President’s Concil on Sustainable Development assim definiu eco parque industrial:

“uma comunidade de empresas que cooperam umas com as outras e com a comunidade local para compartilhar seus recursos de forma eficiente (informação, materiais, energia, infraestrutura e habitat natural), conduzindo ganhos econômicos, melhorias na qualidade ambiental e valorizando os recursos humanos para as empresas e para a comunidade local de forma igualitária” (PCSD, 1997).²¹

O estudo do município de Kalundborg e suas trocas industriais despertou o interesse de um grupo de estudos de ecologia industrial da Universidade de Yale sobre possibilidades de aplicação do conceito. O grupo investigou processos, práticas e potenciais de ocorrência de simbiose industrial em localizações próximas à universidade. Dezoito projetos envolvendo trocas de materiais em diferentes escopos e escalas foram analisados por este grupo em 1997, quando os projetos foram organizados em cinco diferentes tipos de trocas de materiais (CHERTOW, 1999, 2000). Segundo Chertow (1999, 2000), são eles²²:

²⁰ Tradução livre. Texto original: “An eco-industrial park is an industrial system which conserves natural and economic resources; reduces production, material, energy, insurance and treatments costs and liabilities; improves operating efficiency, quality, worker health and public image; and provides opportunities for income generation from use and sale of wasted materials” (COTÈ e HALL, 1996).

²¹ Tradução livre. Texto original: “A community of businesses that cooperate with each other and with the local community to efficiently share resources (information, materials, energy, infrastructure and natural habitat), leading to economic gains, improvements in environmental quality and equitable enhancement of human resources for businesses and the local community” (PCSD, 1997).

²² Tradução livre. Os tipos são originalmente definidos por: 1) through waste exchanges; 2) within a facility, firm or organization; 3) among firms co-located in a defined eco-industrial park; 4) among local firms that are not co-located; 5) among firms organized ‘virtually’ across a broader region (CHERTOW, 1999, 2000).

- 1) Bolsas de resíduos: Ocorre através da organização entre uma instituição, que pode ser municipal ou governamental, e empresas da região com o objetivo de doar ou vender materiais que possam ser recuperados ou reutilizados ou reciclados. Este tipo de troca tem sentido único, pois sai de uma empresa e vai para outra. A escala pode ser local, regional ou global e inclui todo o tipo de produto.
- 2) Dentro de uma instalação, organização ou empresa: as trocas de materiais ocorrem entre os processos da própria empresa. Aqui são considerados ACV, ciclos de processos e serviços e design do produto.
- 3) Entre empresas de uma mesma região ou de um eco parque industrial: Quando ocorre troca de energia, água, materiais, infraestrutura, informações e serviços dentro de uma área.
- 4) Entre empresas que não estão em uma mesma região: é semelhante ao tipo 3, mas com empresas não delimitadas em uma região e as trocas ocorrem no sentido de aproveitar fluxos já gerados. Kalundborg é um exemplo.
- 5) Entre empresas organizadas virtualmente: As empresas são organizadas através de meios virtuais que controlam os produtos disponíveis entre elas (CHERTOW, 1999, 2000).

Tubbs (2006) reúne uma série de definições sobre redes de ecologia industrial, eco parques industriais e simbiose industrial, também trazidas nesta pesquisa, como Chertow (2000) e Cotè e Cohen-Rosenthal (1998), e a apresenta da seguinte forma:

“Eco parques industriais são aglomerações geográficas de empresas industriais que se destinam a identificar e implementar oportunidades de simbiose industrial. Além de facilitar as ligações e o desenvolvimento das relações entre as partes interessadas, as atividades das eco redes industriais devem envolver análises detalhadas de fluxos de materiais e de energia dentro de um eco parque industrial, educação e treinamento em ecologia industrial, compartilhamento de melhores práticas e promoção de oficinas para identificar oportunidades de simbiose industrial” (TUBBS, 2006).²³

Um dos principais exemplos de simbiose industrial está localizado no município de Kalundborg, na Dinamarca, já citado anteriormente. Nele, a primeira troca de insumos entre as indústrias ocorreu em 1961, com um projeto para usar a água da superfície do lago Tissø para o processo de refinaria de

²³ Tradução livre. Texto original: *“Eco-industrial parks (EIP) are geographical clusters of industrial businesses that aim to identify and implement IS opportunities. In addition to facilitating links and developing relationships between stakeholders, EIP activities may involve detailed analysis of material flows and energy use within an EIP, education and training on industrial ecology, best practice sharing and facilitated workshops to identify IS opportunities” (TUBBS, 2006).*

petróleo Statoil, recentemente instalada, a fim de salvar as reservas limitadas de águas subterrâneas. A prefeitura de Kalundborg ficou com a responsabilidade de construir o oleoduto enquanto a refinaria o financiou. A subestação de energia Asnaes Power Station, a fábrica de placas de gesso Gyproc e a indústria farmacêutica Novo Nordisk também participaram das trocas industriais desde o início (CHERTOW, 2000; EHRENFELD e GERTLER, 1997).

Estas indústrias compartilhavam água subterrânea, de superfície e residual, vapor e eletricidade, além das trocas de resíduos industriais. Apesar dos benefícios alcançados, apenas na década de 80 as indústrias participantes reconheceram as implicações ambientais da relação de trocas (CHERTOW, 2000; EHRENFELD e CHERTOW, 2002).

A partir desta iniciativa, o número de projetos colaborativos entre indústrias aumentou gradualmente na região. Ao final dos anos 80, os parceiros perceberam que haviam se organizado no melhor sistema conhecido de eco parque industrial e foi então que designaram o sistema de simbiose industrial (Ehrenfeld e Chertow, 2002). Hoje em dia Kalundborg conta com nove parceiros:

- Estação de Energia Dong Asnæs, parte da SK Power Company, indústria de produção de eletricidade a partir da queima de carvão na Dinamarca;
- Statoil, uma refinaria de petróleo que pertence à companhia Norwegian Statoil;
- Novo Nordisk, uma empresa farmacêutica multinacional de biotecnologia, líder em produção de insulina e enzimas industriais;
- Gyproc, uma indústria sueca de fabricação de gesso para a indústria da construção;
- A prefeitura de Kalundborg, que recebe o excesso de calor da empresa Asnæs para o sistema de aquecimento do município;
- Bioteknisk Jordrens, uma empresa de descontaminação do solo;
- RGS90, empresa que trabalha com resíduos e solo contaminado para reciclagem e valorização;
- Kara/Novoren, empresa de tratamento de resíduos;
- Kalundborg Forsyning A/S é a empresa responsável pelo fornecimento de água potável, destinação de águas residuais e aquecimento urbano (<http://www.symbiosis.dk>).



Figura 38: Imagem aérea do município de Kalundborg
(fonte: Google Earth, 2010)

A imagem aérea mostra a localização das principais indústrias participantes da simbiose industrial em Kalundborg. As áreas de habitação e atividades agropecuárias se misturam aos sítios industriais. É possível perceber a existência de polígonos de áreas verdes.

Além destas companhias, outras participam como receptores de materiais ou de energia e aderiram à simbiose industrial ao longo do tempo, de acordo com os gráficos abaixo.

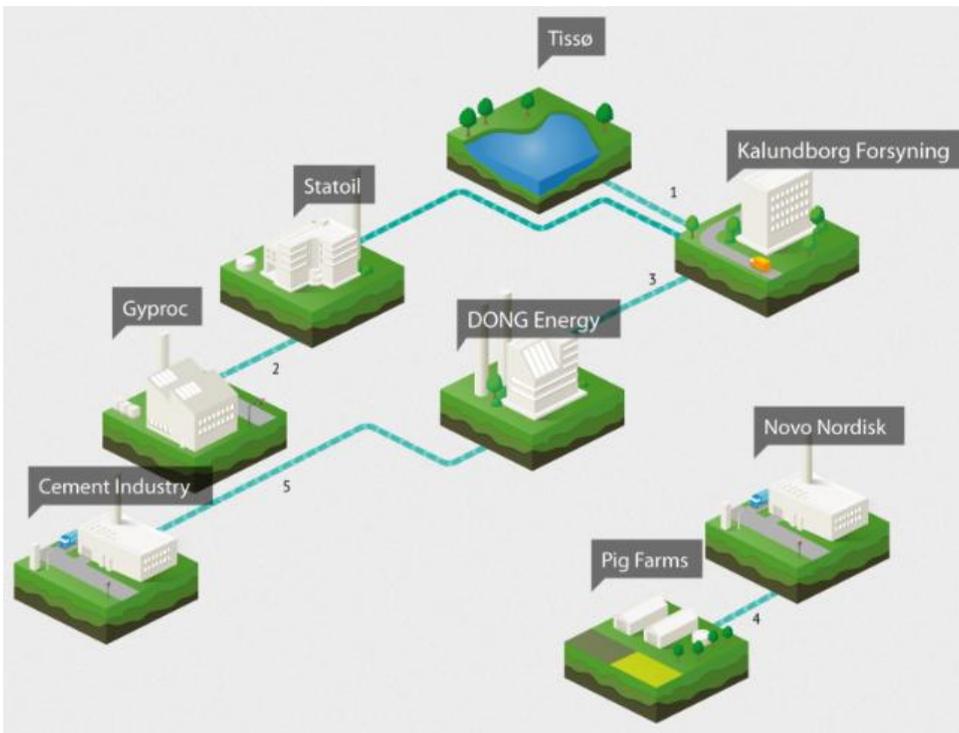


Gráfico 4: Evolução da SI em Kalundborg – 1961 a 1979
(fonte: www.symbiosis.dk)

O esquema mostra a evolução da Symbiose Industrial em Kalundborg entre os anos 1961 e 1979 – cor verde-água. As seguintes trocas faziam parte da rede e foram incorporadas nos seguintes anos:

- 1-Água superf. (1961)
- 2-Gás (1972)
- 3-Água superf. (1973)
- 4-Biomassa (1976)
- 5-Cinzas volantes (1979)

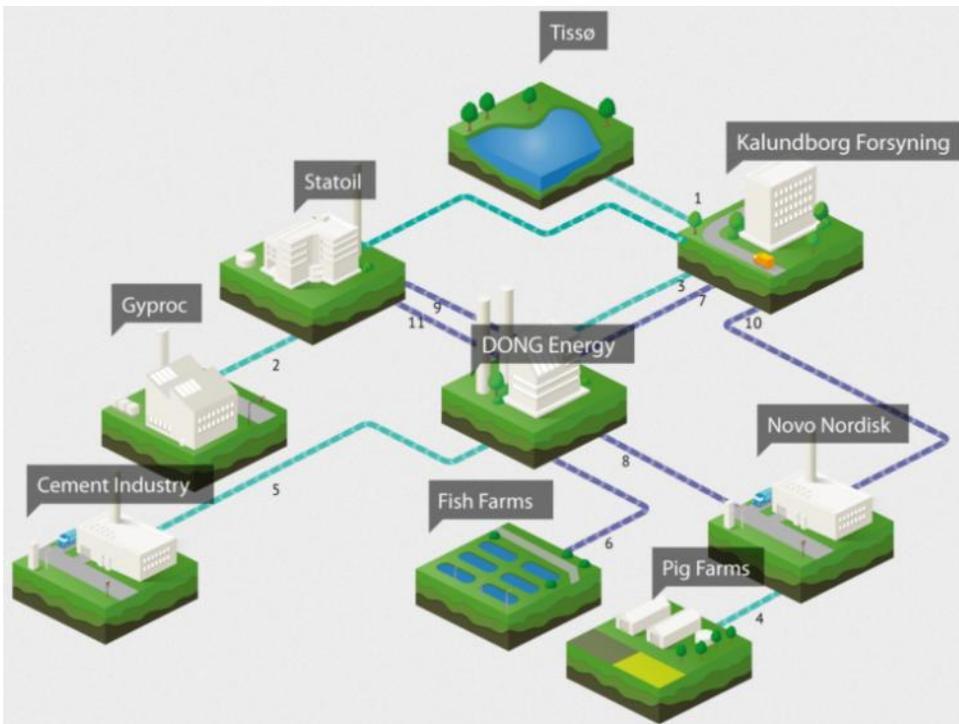


Gráfico 5: Evolução da SI em Kalundborg – 1980 a 1989
(fonte: www.symbiosis.dk)

O esquema mostra a evolução da SI em Kalundborg entre os anos 1980 e 1989 – cor azul. As seguintes trocas faziam parte da rede e foram incorporadas nos seguintes anos:

- 1-Água superf. (1961)
- 2-Gás (1972)
- 3-Água superf. (1973)
- 4-Biomassa (1976)
- 5-Cinzas volantes (1979)
- 6-Calor (1980)
- 7-Calor (1981)
- 8-Vapor (1982)
- 9-Vapor (1982)
- 10-Água superf. (1987)
- 11-Água refrigerada (1987)

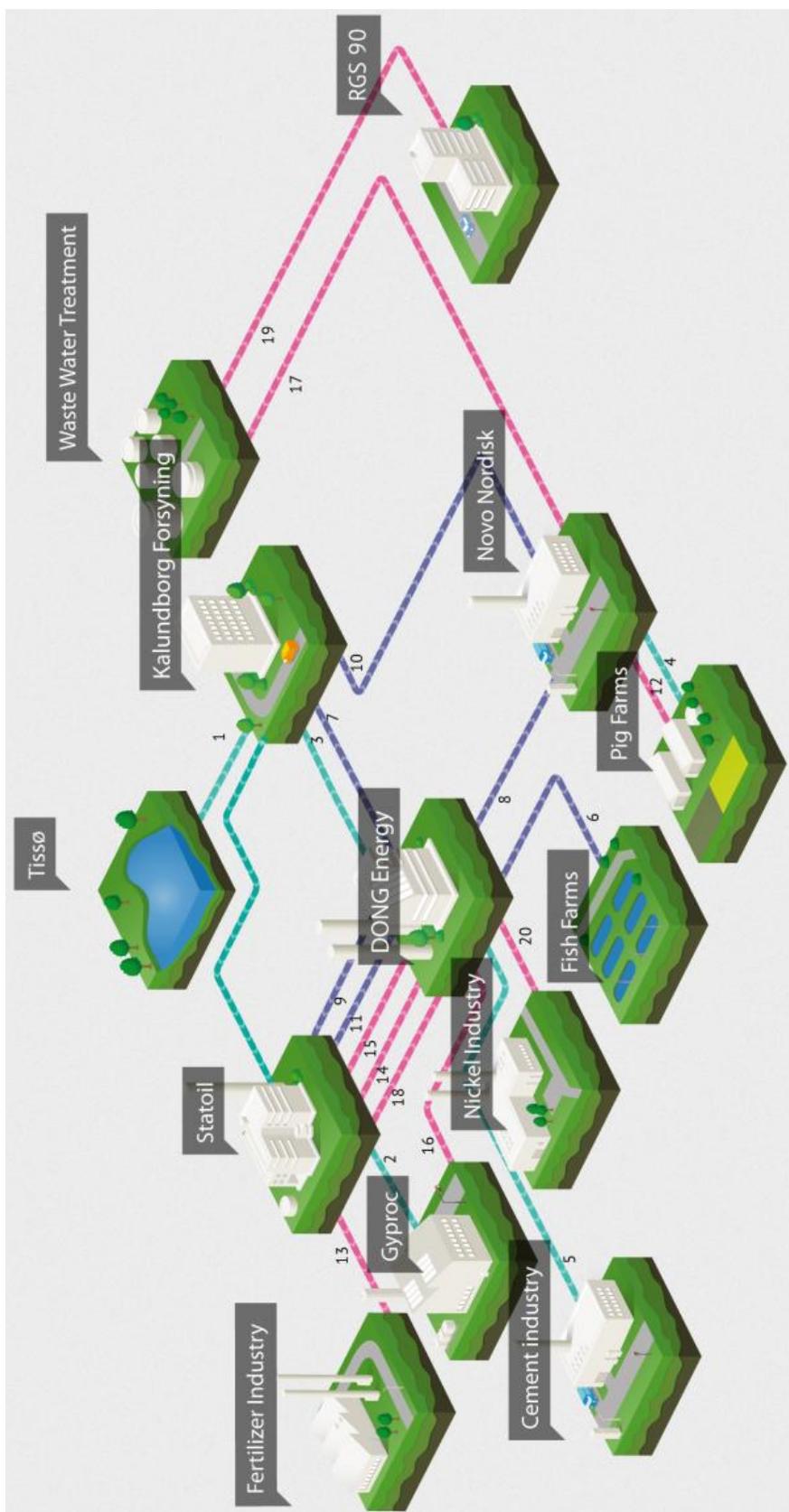
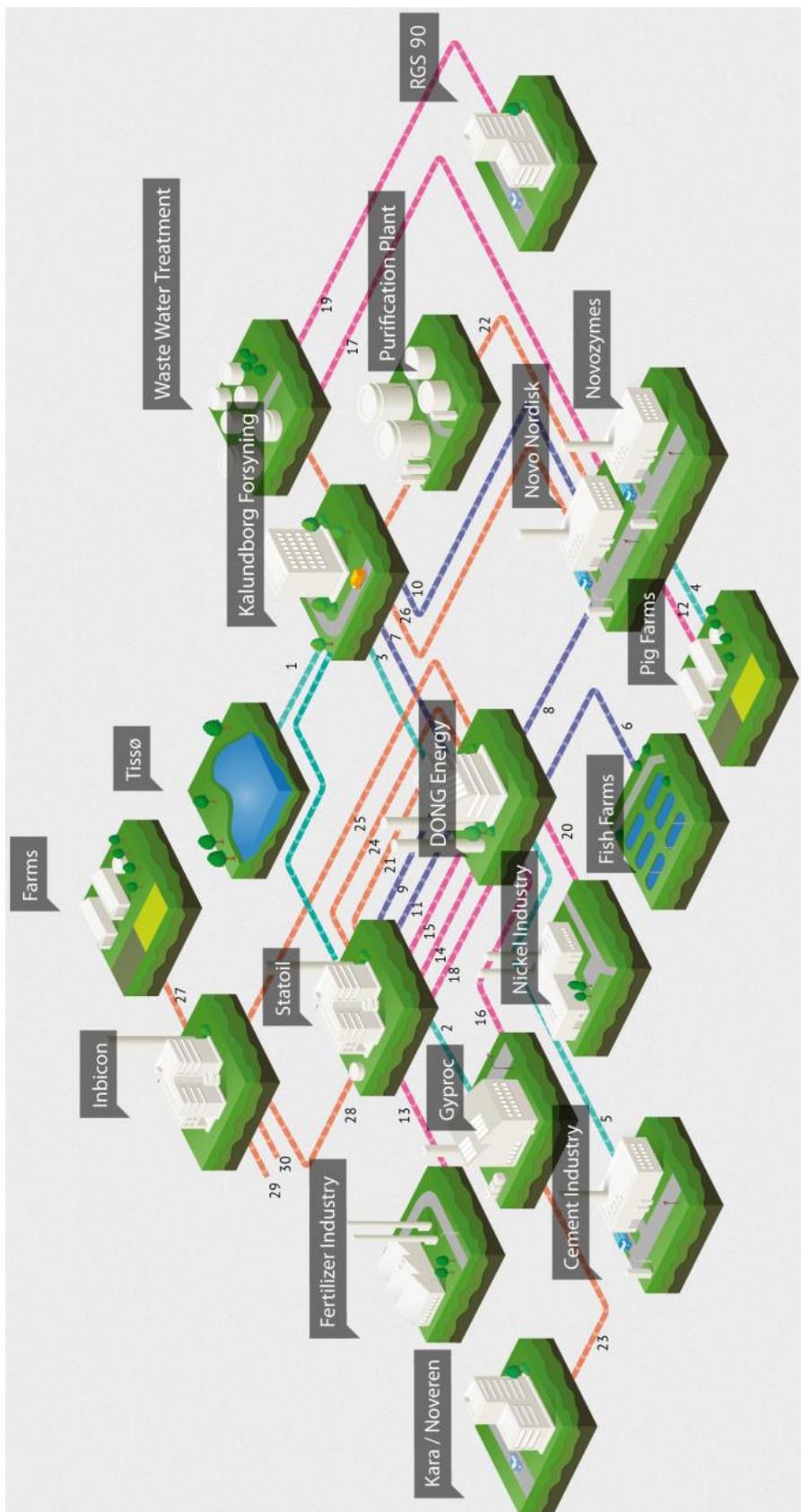


Gráfico 6: Evolução da SI em Kalundborg – 1990 a 1999
 (fonte: www.symbiosis.dk)

O esquema mostra a evolução da SI em Kalundborg entre os anos 1990 e 1999 – cor magenta. As seguintes trocas faziam parte da rede e foram incorporadas nos seguintes anos:

- 1-Água superf. (1961)
- 2-Gás (1972)
- 3-Água superf. (1973)
- 4-Biomassa (1976)
- 5-Cinzas volantes (1979)
- 6-Calor (1980)
- 7-Calor (1981)
- 8-Vapor (1982)
- 9-Vapor (1982)
- 10-Água superf. (1987)
- 11-Água refrigerada (1987)
- 12-Leveduras (1989)
- 13-Fertilizante de enxofre (1990)
- 14-Água de tratamento (1991)
- 15-Gás (1992)
- 16-Gipsita (1993)
- 17-Água residual (1995)
- 18-Água de drenagem (1995)
- 19-Lodo (1998)
- 20-Levedura (1999)



O esquema mostra a evolução da SI em Kalundborg entre os anos 2000 e 2010 – cor laranja. As seguintes trocas faziam parte da rede e foram incorporadas nos seguintes anos:

- 1-Água superf. (1961)
- 2-Gás (1972)
- 3-Água superf. (1973)
- 4-Biomassa (1976)
- 5-Cinzas volantes (1979)
- 6-Calor (1980)
- 7-Calor (1981)
- 8-Vapor (1982)
- 9-Vapor (1982)
- 10-Água superf. (1987)
- 11-Água refrigerada (1987)
- 12-Leveduras (1989)
- 13-Fertilizante de enxofre (1990)
- 14-Água de tratamento (1991)
- 15-Gás (1992)
- 16-Gipsita (1993)
- 17-Água residual (1995)
- 18-Água de drenagem (1995)
- 19-Lodo (1998)
- 20-Levedura (1999)
- 21-Água deionizada (2002)
- 22-Água (2004)
- 23-Resíduos (2004)
- 24-Água do mar (2007)
- 25-Vapor (2009)
- 26-Condensado (2009)
- 27-Palha (2009)
- 28-Bioetanol (2010)
- 29-Lignina (2010)
- 30-Açúcares C5/C6 (2010)

Gráfico 7: Evolução da SI em Kalundborg – 2000 a 2010
(fonte: www.symbiosis.dk)

De acordo com Erkman e Ramaswamy (2006) graças à simbiose industrial, a redução do uso da água subterrânea foi estimada em dois milhões de metros cúbicos por ano. Para reduzir o consumo de água de maneira geral entre os parceiros da simbiose industrial, a refinaria Statoil abastece a estação de energia Dong Asnæs com água tratada e com água gelada usada em processos de resfriamento, de forma que a água seja usada pelo menos duas vezes, economizando um milhão de metros cúbicos de água por ano (ERKMAN e RAMASWAMY, 2006).

A estação de energia Dong Asnæs, por sua vez, abastece a refinaria Statoil e a empresa Novo Nordisk com vapor proveniente do seu processo industrial para o aquecimento em determinados processos nas empresas, trabalhando de forma conjunta para melhorar a eficiência dos processos. Além disso, o município de Kalundborg usa o calor residual dos processos desta indústria para seu sistema de aquecimento (ERKMAN e RAMASWAMY, 2006).

O excesso de gás dos processos da refinaria Statoil é tratado para remover o enxofre, que é usado como insumo para a fabricação de ácido sulfúrico e o gás limpo é fornecido para a estação de energia Dong Asnæs e para a Gyproc como fonte de energia. A empresa Novo Nordisk cria uma grande quantidade de biomassa proveniente dos seus processos sintéticos e que pode servir como fertilizante, uma vez que contem nitrogênio, fósforo e potássio. Por isso, as fazendas da região usam cerca de 800000 metros cúbicos deste líquido para fertilizar seu solo (ERKMAN e RAMASWAMY, 2006).

Seguindo o exemplo de Kalundborg, outras cidades iniciaram suas experiências com simbiose industrial. Eco parques industriais surgiram nos Estados Unidos, no Reino Unido, no Japão, na China, na Alemanha, na Austrália, na Índia, na França, na África do Sul, no Canadá, na Holanda e no Brasil.

O Synergy Park, localizado a 20 km de Brisbane, Queensland, Austrália, teve suas atividades iniciadas em 1994, quando o departamento de comércio, indústria e desenvolvimento regional do Estado estabeleceu diretrizes para melhorar o foco no território industrial, promovendo um planejamento industrial mais proativo. Entre as diretrizes de implantação estavam o compartilhamento de infraestruturas e o agrupamento de indústrias para a criação de sinergias (ROBERTS, 2004).

Implantado dentro do Parque Industrial Carole, o Synergy Park foi o primeiro investimento em ecologia industrial feito na Austrália. A região tinha potencial para a indústria alimentícia e de bebidas, além de mão de obra disponível, sistemas de água e esgoto e proximidade de vias de transporte, além de apresentar bons indicadores de desenvolvimento econômico e planejamento estratégico do território (ROBERTS, 2004).



Figura 39: Imagem aérea do Synergy Park
(fonte: Google Earth, 2010)

O Plano Diretor do Synergy Park direciona as indústrias para o uso compartilhado de: instalações de segurança, estações de tratamento de água e de esgoto, central de geração de energia, edifício de serviços gerais; além da interação entre indústrias para compartilhamento de resíduos, matérias-primas e transporte.

Em Londonderry, uma comunidade de 27 mil habitantes, localizada ao sul de New Hampshire, nos Estados Unidos, as atividades de simbiose industrial se iniciaram em 1996, quando uma empresa de reciclagem de plásticos se instalou ao lado da indústria de iogurtes Farms Stonyfield e passou a utilizar sua água cinza para lavar os plásticos. O estatuto do eco parque de Londonderry inclui sistema de gestão ambiental integrada entre os inquilinos (CHERTOW, 2000).

A presença do aeroporto Manchester-Boston nas proximidades do eco parque fez com que nove grandes indústrias se instalassem em sua área e mais quinze empresas contribuíssem como associadas. Entre elas, uma usina de energia e indústrias de suprimentos médicos (<http://www.usc.edu/>).

Dentre as principais características do parque, a proximidade à via de acesso principal à Boston e ao aeroporto são os principais atrativos para novas indústrias. Além disso, o incentivo à arquitetura industrial sustentável, o tratamento compartilhado de águas residuais e a utilização de convênios que garantem a prática da ecologia industrial também são atrativos para as indústrias que visam à sustentabilidade (CHERTOW, 2000).



Figura 40: Imagem aérea do Londonderry EPI
(fonte: Google Earth, 2010)

O rápido crescimento da cidade fez com que os moradores se mobilizassem para preservar o patrimônio agrícola, cultural e ambiental. O EPI foi a concretização desta mobilização, resultando em 100 hectares de simbiose industrial, com supervisão de um comitê formado pelos próprios cidadãos. Existe também um sistema de auditoria para avaliar o desempenho do EPI (CHERTOW, 2000).

O *Port of Cape Charles Sustainable Technologies Industrial Park*, localizado em Eastville, Estado Unidos, foi a primeira área de simbiose industrial do país. Projetado pelo arquiteto William McDonough, foi incorporado em uma área de população de baixa renda e sem empregos e tinha como objetivo criar mão de obra qualificada, proteger e melhorar os recursos naturais e culturais da região, além de apoiar o desenvolvimento comercial e industrial, aumentando a receita sem aumentar os impostos (GIBBS e DEUTZ, 2007).

Este EPI faz parte do patrimônio nacional histórico da cidade de Cape Charles e possui 579 acres de área total, sendo 260 acres de área industrial, dos quais 50 estão ocupados e o restante de reserva natural. Além disso, possui toda a infraestrutura para estabelecimento de simbiose industrial, com sistema de distribuição de água reciclada entre os lotes industriais e análise do potencial dos subprodutos das indústrias (COHEN-ROSENTHAL et al, 2001).



Figura 41: Imagem aérea do Cape Charles Sustainable Technologies Industrial Park
(fonte: Google Earth, 2010)

O Cape Charles Sustainable Technologies Industrial Park está na primeira fase de construção e tem o objetivo de atrair empresas com taxas mínimas de emissão de gás carbônico e, principalmente, referente aos setores: de agricultura, frutos do mar e aquicultura, turismo, artes e artesanato e desenvolvimento e pesquisa (COHEN-ROSENTHAL et al, 2001).

No Japão, o EPI Fujisawa - EBARA Corporation – é um dos primeiros a desenvolver a simbiose industrial. Com tecnologias e recursos de conservação de energia e fontes de energia renovável, tratamentos de águas residuais e sua reutilização e reutilização e reciclagem de subprodutos, o parque é apoiado por um centro de emissão zero, por um escritório ambiental e por um centro de logística (COTÈ e COHEN-ROSENTHAL, 1998).

Os EPI chineses são em grande quantidade, pois estão diretamente associados à sustentabilidade nas cidades – eco-towns. De acordo com Geng et al (2008), as diretrizes de um EPI para ser estabelecido na China são: transporte público para população; fontes alternativas de energia, arquitetura sustentável – LEED ou outras certificações, valorização econômica do local; diversidade de setores representados pelas indústrias, conexão entre as indústrias, coleta seletiva e sistemas de decomposição de orgânicos, tratamento de resíduos sólidos e tratamento e armazenamento de água pluvial e de água residual (GENG et al, 2008).

No Brasil, a primeira iniciativa à implantação da ecologia industrial se deu através do Programa Rio Ecopolo, em 2002, liderado pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA. Foi feita uma seleção de indústrias que estavam localizadas próximas umas às outras e que se dispunham a realizar

a experiência com a ajuda da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Estas indústrias deveriam seguir as diretrizes do programa (FEEMA, 2002):

- “- Participar do projeto Ecopolo;*
 - Buscar a excelência ambiental;*
 - Desenvolver um Sistema de Gerenciamento Ambiental – SGA;*
 - Praticar a produção mais limpa;*
 - Buscar melhorias contínuas: ambientais, sociais e econômicas;*
 - Contribuir para a conservação e melhoria do meio ambiente local;*
 - Apoiar e participar em ações e projetos comunitários, na sua área de influência”*
- (FEEMA, 2002).

Assim foram criados quatro Ecopolos, formalizados através de termo de compromisso entre a FEEMA e as indústrias integrantes, certificando-as como pertencentes. Cada uma das indústrias apresentou seu plano de gestão e a implantação das propostas, que caberia às próprias indústrias, adequando suas características (FEEMA, 2002). De acordo com Fragomeni, (2005)

“Não foi estipulado pelo órgão ambiental um modelo padronizado, ou critérios específicos a serem seguidos para sua formulação. O intuito era que objetivos e metas conjuntas fossem definidas a partir do mapeamento e da priorização de interações potenciais a serem estabelecidas entre as empresas” (FRAGOMENI, 2005).

De acordo com a FEEMA (2002), são características do Programa Rio Ecopolo:

- “- Materialização das práticas do desenvolvimento sustentável.*
- Criar condições para as indústrias se associarem ao Estado do Rio de Janeiro.*
- Integrar a gestão ambiental ao processo produtivo.*
- Adesão voluntária.*
- Presença do Estado dando o suporte necessário às indústrias.*
- Incentivo financeiro e fiscal.*
- Assistência técnica do órgão ambiental (FEEMA) no processo de licenciamento.*
- Estimulo a participação de empresas locais e internacionais*
- Conformidade com leis e regulamentos ambientais*
- Parceria entre setor público e privado (FEEMA, FIRJAN, comunidade, indústrias, prefeituras).*
- Integrar o meio-ambiente, o desenvolvimento econômico e o social”* (FEEMA, 2002).

Os quatro Ecopolos criados em 2002 são (FEEMA, 2002):

Tabela 1: Ecopolos – Programa Rio Ecopolo – 2002

(fonte: adaptada de VEIGA, 2007)

Nome	Qtd. de indústrias	Município
Distrito Industrial de Santa Cruz	14	Rio de Janeiro
Distrito Industrial de Campos Elíseos	12	Duque de Caxias
Fazenda Botafogo	13	Rio de Janeiro
Paracambi	03	Paracambi

Os três primeiros Ecopolos são distritos industriais em operação e que estão sendo transformados em eco parques industriais. Paracambi, além de se diferenciar pela parceria Estado – Município, ao contrário dos demais que têm parceria Estado – Empresas, é o único que é planejado desde o início como um eco parque (VEIGA, 2007).

De acordo com Veiga (2007), o governo do Estado não deu continuidade do desenvolvimento do programa devido a mudanças políticas na liderança do Estado. Porém, nos ecopolos Santa Cruz, Campos Elíseos e Fazenda Botafogo, as próprias indústrias conduzem as características do programa. Em Paracambi, a Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro atua em parceria com o setor privado para cumprir as diretrizes do programa (VEIGA, 2007).

Todos os EPI descritos nesta pesquisa possuem em comum a referência do município de Kalundborg e a simbiose industrial ali realizada. Muitos autores traçaram diretrizes de implantação de EPI de acordo com as diretrizes sugeridas pelo conceito de ecologia industrial. Para finalizar o capítulo, são apresentadas as diretrizes mais voltadas para a arquitetura e para o urbanismo que envolvem os processos de um EPI e seus respectivos autores.

2.2.3. Diretrizes de projeto de um Eco Parque Industrial

Schlarb (2001) apresenta algumas diretrizes que devem ser consideradas no projeto, nas instalações, na seleção dos materiais e dos equipamentos para a construção de um EPI, além de premissas urbanistas. São elas:

Tabela 2: Diretrizes para projeto urbano e construção de um EPI

(fonte: SCHLARB, 2001)

PROJETO DAS INSTALAÇÕES	Orientação das instalações considerando o micro clima local, como a direção dos ventos, a temperatura e o nível de precipitações
	Planejamento das instalações considerando a direção de maior incidência de luz natural
	Planejamentos das instalações considerando as melhores opções de conforto ambiental: insolação, ventilação, acústica do entorno e materiais de construção
	Avaliação do desempenho ambiental da construção através de ACV
	Consideração sobre a possibilidade de co-geração de energia ou adaptação do sistema de energia em cascata
	Consideração sobre a possibilidade de reuso de água e captação de água pluvial
	Consideração sobre ACV dos materiais de construção no momento da sua escolha
SELEÇÃO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	Utilização de materiais de baixo impacto
	Utilização de materiais recicláveis
	Utilização de sistemas flexíveis de ventilação, aquecimento e condicionamento
PROJETO URBANO	Preservação os ecossistemas locais
	Incorporação do ecossistema ao projeto urbano e de infraestrutura
	Preservação de espécies nativas
	Consideração da orientação solar do terreno e do micro clima
	Utilização de espécies vegetais que possam apresentar melhorias climáticas para o ambiente

Cotè et al (1994) estabelece 38 diretrizes para o projeto e a construção de um EPI, considerando todos os aspectos que possam ser envolvidos. Os autores expõem as diretrizes como relevantes para o processo de design ecológico de um eco parque industrial novo ou também para um retrofit de um parque industrial existente (COTÈ et al, 1994). São elas:

Tabela 3: Diretrizes de design ecológico para um EPI

(fonte: COTÈ et al, 1994)

1	Designers, arquitetos e engenheiros devem levar em consideração as funções e atribuições do ecossistema, principalmente os relacionados ao fluxo de água;
2	Manter as zonas alagadiças para fortalecer o habitat, filtrar as águas de superfície e, quando possível, tratar a água residual;
3	Replantar vegetação natural para agregar valor à paisagem, proteção contra os ventos e sombras.
4	Todas as estruturas deverão ter acesso à exposição ao Sul para ganho solar passivo ²⁴ ;
5	O desenho das ruas deve facilitar a orientação dos edifícios a fim de maximizar o acesso solar de um lado e a proteção contra o vento de outro lado;
6	Locar edifícios e negócios para fazer um uso mais efetivo do calor residual, água e outros recursos;
7	Incentivar a flexibilidade do local de planejamento para considerar como o uso do local pode variar ao longo do tempo;
8	Manter as formas e características da paisagem que dão o suporte ecológico às funções e a eficiência energética;
9	Manter algumas áreas selvagens como parque ou corredores ecológicos para manter a fauna;
10	Diminuir a quantidade de território interrompido para o desenvolvimento local, como a instalação de edifícios, infraestrutura e áreas de estacionamento;
11	Designar locais para vegetação em parques, que podem ser usados por funcionários, restaurantes ou atividades de comércio;
12	Quando as áreas alagáveis não existirem no local, construir ecossistemas aquáticos com o uso de luz solar, bactérias e plantas para quebrar tóxicos e concentrações de metais e tratar o material orgânico de esgoto;
13	Fazer biotratamento de água cinza proveniente de restaurantes e processos alimentícios com filtragem e sistema solar aquático de purificação;
14	Considerar a natureza e a composição dos materiais de construção para reduzir as emissões de gás carbônico no ambiente de trabalho;
15	Isolar os edifícios das condições de calor utilizando tecnologias e práticas não prejudiciais ao edifício;
16	Desenhar os edifícios para reduzir as perdas de calor, como grandes áreas envidraçadas com marquises ou longe de ventos de inverno ²⁵ ;
17	Usar calor residual de processos para aquecimento de ambientes;
18	Pequenos edifícios devem considerar o uso de painéis solares fotovoltaicos para aquecer a água;
19	Usar calor geotérmico e ventiladores de recuperação de calor para aquecimento e troca de ar;
20	Coletar água de chuva para combate a incêndios, irrigação, descargas e outros processos;
21	Instalar torneiras e válvulas de descarga com baixo fluxo de água;
22	Padronizar materiais de construção o quanto for possível para reduzir o desperdício durante a construção e estimular o reuso dos materiais;
23	Construir com produtos pré-fabricados e técnicas que não utilizem pregos para facilitar a flexibilidade do layout e o reuso dos materiais;
24	Incentivar o reuso de materiais de construção, estabelecendo normas no EPI que exijam materiais duráveis que possam ser reutilizados;
25	Usar veículos e máquinas elétricas o máximo possível;
26	Incentivar a recuperação, o reuso e a reciclagem de resíduos químicos e metálicos;
27	Evitar o máximo possível o uso de substâncias perigosas, caso contrário, reduzir os volumes

²⁴ Neste caso, deve-se considerar que para o hemisfério Norte, a orientação Sul é a que possui maior incidência de luz solar, enquanto para o hemisfério Sul, a orientação Norte é a que possui maior incidência de luz solar.

²⁵ A redução de perda de calor é condicionada ao clima local da implantação.

	estocados;
28	Reduzir o uso de substâncias tóxicas e produtos químicos persistentes;
29	Incentivar o uso de substâncias não tóxicas, não perigosas, limpas e de abastecimento no EPI;
30	Incentivar o uso de materiais que possam ser facilmente reciclados, no EPI e no meio urbano;
31	Incentivar a criação de empresas de reparação, manutenção e acondicionamento de produtos;
32	Requerer a separação do lixo para incentivar a reparação, o reuso e a reciclagem;
33	Incentivar a compostagem e outros usos para os resíduos orgânicos;
34	Instalar centros de reciclagem nos edifícios para facilitar a coleta e a transferência de materiais;
35	Adotar instrumentos de economia que incentivem a produção mais limpa, penalizando a geração de resíduos;
36	Montar um sistema de informação e incentivo à atração de empresas que podem usar materiais residuais;
37	Apoiar cooperativas de aquisição e gerenciamento de resíduos;
38	Desenvolver estações de produção de vapor de água, eletricidade para aquecimento ou resfriamento, no EPI.

Segundo Cotè et al (1994),

“Um parque industrial planejado com os princípios da ecologia industrial requer um planejamento aberto do espaço. As amenidades naturais e as vantagens de lazer do local oferecem atributos exclusivos que os planejadores de parques industriais devem reconhecer e confirmar. Uma sociedade industrial não precisa destruir o meio ambiente, mas deve trabalhar para criar paisagens significativas”²⁶ (COTÈ et al, 1994).

Para este autor, planejadores de parques industriais devem reconsiderar a ideia que possuem de desenvolvimento do território. Devem considerar a aplicação de princípios ecossistêmicos e planejar pelo todo e não apenas pelo lote industrial, de forma a incentivar a troca de subprodutos, serviços e sistemas entre as indústrias (COTÈ et al, 1994). Cotè et al (1994) estabelece diretrizes que aplicam os princípios da ecologia industrial à arquitetura e ao urbanismo: acesso solar em um EPI; orientação solar de um EPI; fontes alternativas de energia; energia eficiente para o território e para o edifício; densidade; orientação de pedestres; reciclagem e reuso; paisagem; áreas selvagens e áreas alagáveis. Para cada uma das diretrizes, o autor faz um croqui e uma breve explicação, como nos exemplos a seguir.

²⁶ Tradução livre. Texto original: *“An industrial park planned on the principles of industrial ecology requires an open space plan. The natural amenities and recreational advantages of the site offer unique attributes which industrial park planners should acknowledge and affirm. An industrial society need not obliterate the environment, but should work it to create meaningful landscapes”* (COTÈ et al, 1995).

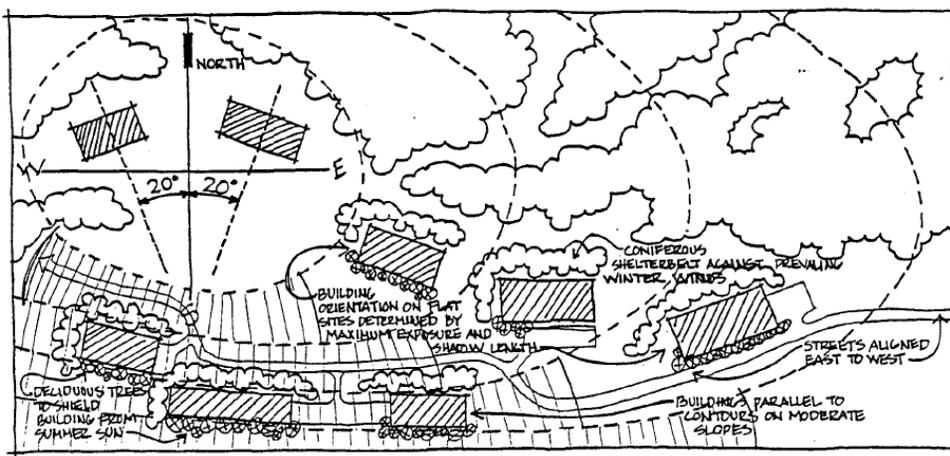
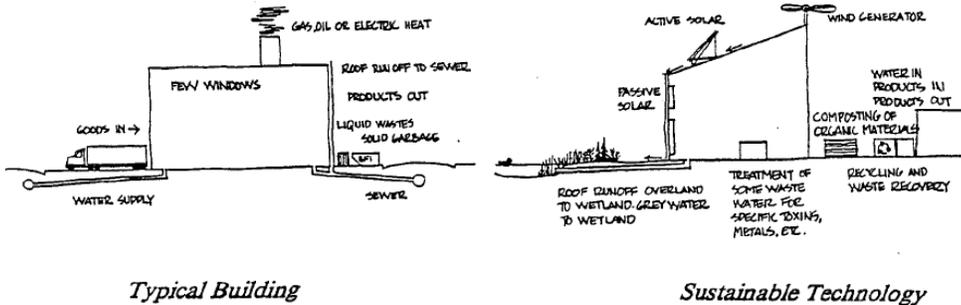


Figura 42: Ilustração de diretriz de orientação solar de um EPI

(fonte: COTÈ et al, 1994)

As ruas devem seguir orientação leste-oeste, implicando na orientação norte-sul dos edifícios. A angulação ideal para a implantação dos edifícios é entre 10° e 20°. Deve-se usar vegetação para sombrear as fachadas com alta incidência solar.



Typical Building

Sustainable Technology

Figura 43: Ilustração de diretriz de energia eficiente para o edifício de um EPI

(fonte: COTÈ et al, 1994)

Os edifícios devem ser adaptados para as condições climáticas com janelas posicionadas de acordo com a melhor orientação solar, de forma a melhorar a ventilação e a iluminação natural sem prejudicar o conforto térmico ambiente.

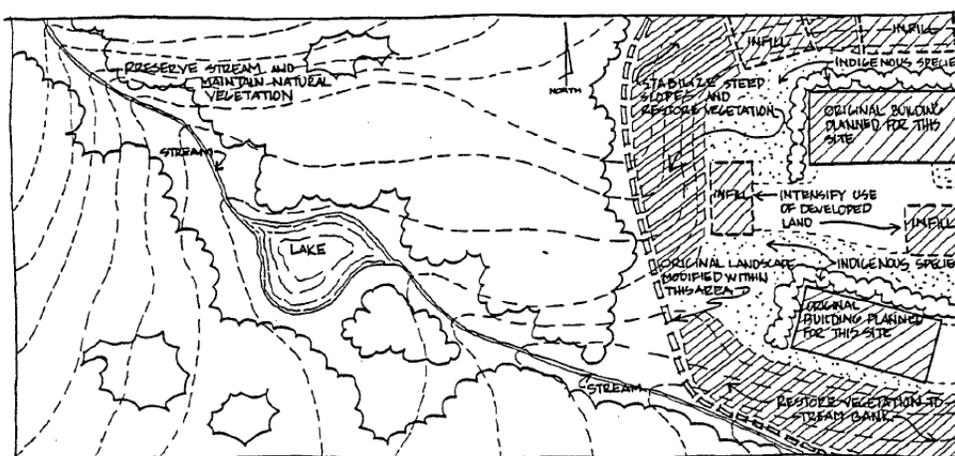


Figura 44: Ilustração de diretriz de densidade de um EPI

(fonte: COTÈ et al, 1994)

A densidade de um EPI melhora quando se reduz a quantidade de terra interrompida para o desenvolvimento, se compartilha as áreas de armazenamento e estacionamento nas proximidades, quando se otimiza o uso das infraestruturas existentes e quando se maximiza o uso do transporte coletivo.

A maioria das diretrizes apresentadas pelo autor está relacionada a um sistema de gestão ambiental. Existem muitas indústrias que utilizam este sistema como ferramenta auxiliar para o processo de gerenciamento ambientalmente correto. A norma ISO 14000 define o Sistema de Gerenciamento Ambiental – SGA -, como *“parte do Sistema de Gerenciamento Global que inclui a estrutura organizacional, o planejamento de atividades, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para o desenvolvimento, implementação, alcance, revisão e manutenção da política ambiental”* (ISO 14000, 2002).

A Norma ISO 14001 é o próprio SGA, suas especificação e diretrizes para uso. Esta norma é uma certificação que apresenta os requisitos necessários para implementar o sistema de gestão ambiental. Existem outras certificações para processos industriais, mas esta pesquisa se limita a apresentar as certificações que envolvem os edifícios industriais durante o processo de projeto, execução e operação, como é apresentado no próximo item.

Quadro 2: Simplificando a Ecologia Industrial

(fonte: elaborado pela autora)

DIRETRIZES DE ECOLOGIA INDUSTRIAL: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES			
	ECONOMIA	MEIO AMBIENTE	SOCIEDADE
PLANEJAMENTO/PROJETO	Seleção de formas de financiamento: público, privado ou parceria público/privado	Fatores locais: fontes de energia, fontes de água, situações climáticas; oferta de serviços ambientais; existência de fauna local; existência de vegetação natural; existência de áreas alagadiças	Fatores locais: presença de mão de obra; qualificação da mão de obra
	Seleção das categorias de indústrias	Estética da Paisagem	Classificação da comunidade: faixa etária e classe social
	Análise das questões legais e incentivos fiscais	Análise e planejamento da infraestrutura viária e mobilidade	Articulação dos atores envolvidos: comunidade local, investidores, indústrias e empresas, pesquisadores e gestores.
	Previsão de custos e orçamento de obras	Planejamento para o uso de ferramentas de EI: ACV, P+L, PP, PpA, Análise de Ciclos de Materiais	
	Planejamento de Bolsa de Resíduos		
	Planejamento de infraestrutura considerando: troca de materiais e compartilhamento entre indústrias		
	Projeto de unidades industriais considerando: energia de fontes renováveis, reuso de água e captação de água pluvial		
Orientação das instalações considerando: topografia, incidência solar, direção dos ventos, fontes de ruídos e presença de vegetação natural.			
Planejamento de instalações e edifícios de uso coletivo			
CONSTRUÇÃO	Uso de materiais de construção recicláveis, reciclados e de baixo impacto ambiental		Acompanhar impacto de vizinhança
	Usar veículos e máquina elétricas		
	Separação e destinação correta de resíduos		
OPERAÇÃO	Compartilhamento de sistema de segurança e monitoramento	Preservação de vegetação natural e corredores ecológicos	Qualidade no ambiente de trabalho: conforto térmico, luminoso e acústico, segurança.
	Implantação de Sistema de Gestão Ambiental com sistema de informações gerenciais de forma coletiva		Promoção de qualificação profissional e empregos
	Estudo do fluxo e da transformação da matéria em energia		
	Uso de processos cíclicos de produção		Desenvolvimento regional
	Certificação e Licenciamento Ambiental		Treinamento e capacitação de pessoal
	Logística integrada		
Transporte coletivo de funcionários			

2.3. Certificação Ambiental de Edifícios Industriais

A partir das necessidades de cumprimento de metas de desempenho ambiental local da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), seja por questões mercadológicas, sociais ou ambientais, e com o objetivo de avaliar os edifícios e auxiliar no processo de projeto, surgiram os indicadores de performance ambiental (COLE, 2003) e sistemas de certificação ambiental de edifícios. Eles surgem no início da década de 90, na Europa através do *Building Establishment Environmental* (BREEAM) (COLE, 2003), sendo seguido por outros sistemas, como nos EUA, com a criação do *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) em 1999 (SILVA et al, 2003), na França e no Canadá com o *Haute Qualité Environnementale* (HQE) em 2005.

De acordo com Worldwatch Institute of Washington (2005), o setor de construção civil consome até 60% de todas as matérias-primas extraídas da Terra. Além disso, a transformação dessas matérias-primas em materiais de construção gera cerca de 50% de todas as emissões de CO₂ na atmosfera. Iniciativas têm surgido, em vários países, para a construção de edifícios que estão cada vez mais alinhados ao meio ambiente em todo seu ciclo de vida: desde a extração das matérias-primas até a sua demolição.

Assim, é possível contar, agora, com a construção de eficiência energética, bioclimatismo, arquitetura passiva e outros princípios que têm como alvo novas formas de limitar o impacto ambiental da atividade da construção. Os sistemas existentes para avaliar o impacto ambiental de um edifício são baseados em análise de valor e podem ser listados nos seguintes métodos, de acordo com Lombera e Rojo (2010):

“I) Coeficientes de Indicadores de critérios de impacto para a Análise do Ciclo de Vida: GBC-GBTool, Promise (Finlândia), BREEAM (Inglaterra), ESCALE (França), Eco/Quantum (Países Baixos), EcoEffect (Suécia), Linx (Canadá) e Cabo Verde (Espanha);

I) Ação de avaliação (check-list), como o LEED (EUA);

II) Avaliação de impacto usando "eco-pontos" (utilizada para fazer comparações e para melhorar o design do ambiente), como ENVEST (BRE-UK) ou o conceito de eco-eficiência utilizado em CASBEE (Japão). Análise de Custo do Ciclo de Vida Ambiental (LCECA) metodologias, que se referem ao equilíbrio entre a economia, despesas e benefícios ecológicos” (LOMBERA E ROJO, 2010).

Cada sistema de certificação usa seus indicadores para avaliar um edifício, por isto, não há um padrão universal de edifício sustentável. O que as certificações têm em comum é a existência de fatores que devem ser considerados para assegurar que os edifícios sejam ecologicamente corretos. Para

Lombera e Rojo (2010), o projeto, a construção, a vida útil e a reintegração do edifício no meio são os estágios do ciclo de vida do edifício industrial, enquanto o entorno, a economia, a sociedade, a segurança e a prevenção de risco industrial, a funcionalidade e a estética são níveis que podem tornar os estágios mais sustentáveis (LOMBERA e ROJO, 2010).

O entorno do edifício industrial tem influência no uso do solo e na urbanização, sendo que oferece um impacto negativo no sistema ecológico natural da região. A economia deve ser considerada em todos os estágios do ciclo do edifício, uma vez que é parte integrante da maximização de lucros do empreendimento. Os custos da terra, dos materiais e do seu ciclo de vida são importantes economias para o funcionamento da indústria (LOMBERA e ROJO, 2010; SAN-JOSE et al, 2006).

O nível social é um dos mais importantes para a manutenção de um empreendimento sustentável, uma vez que indiretamente gera emprego através do mercado de construção e diretamente gera mão de obra para o processo industrial, além de ser parte integrante do entorno do edifício e sofrer os impactos de sua construção e produção. A segurança e a prevenção de risco industrial são níveis que devem ser pensados desde a elaboração do projeto com o objetivo de reduzir ou eliminar os índices de acidentes durante a construção, o uso e reutilização do edifício (LOMBERA e ROJO, 2010; SAN-JOSE et al, 2006).

A funcionalidade de um edifício é garantida quando é possível exercer todas as atividades que lhe são designadas de forma a garantir a eficiência do processo, além disso, o uso de materiais construtivos duradouros e a prevenção de áreas de ampliação no projeto tornam o edifício mais funcional também a longo prazo. É no nível da funcionalidade que se discutem as questões relacionadas ao fluxo de insumo e de resíduos do edifício. A estética do edifício está diretamente ligada ao impacto na paisagem urbana que ele possa causar, além de promover a imagem corporativa da indústria, conferindo-lhe identidade e valor (LOMBERA e ROJO, 2010; SAN-JOSE et al, 2006). O desafio para um edifício industrial mais sustentável é reunir todos os níveis de sustentabilidade de forma a existirem em todos os estágios do empreendimento.

Hoje em dia, de acordo com o levantamento realizado pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – CSTB* -, através do projeto *City-related Sustainability Indicators – CRISP – (2003)*, existem de cerca de 500 indicadores de sustentabilidade distribuídos em 40 sistemas de certificação ambiental. Entretanto, muitos dos indicadores encontrados na literatura são restritivos, não se aplicando em sua totalidade a todos os edifícios. Eles dependem do local de implantação, do uso, do contexto e, principalmente, da tipologia (DALBELO e FREIRE, 2011).

De acordo com SAN-JOSE et al (2006), *uma fábrica ou edifício industrial pode ser definido como um espaço onde a produção industrial e tarefas de armazenamento acontecem* (SAN-JOSE et al, 2006). Estes

autores enfatizam ainda o fato de existirem diferenças claras que permitem a verificação de especificidades de uma construção industrial quando comparada a outras tipologias. São elas:

- Diferentes possibilidades de implantação, forma e tipologia uma vez que sua solução depende do tipo de atividade exercida;

- O sistema estrutural sofre, normalmente, grandes forças devido aos equipamentos necessários para o funcionamento da fábrica ou galpão;

- As indústrias sofrem mudanças tecnológicas que exigem flexibilidade e rápida adaptação de seus espaços físicos;

- Os acessos e fluxos da construção devem levar em conta, além da acessibilidade dos ocupantes, o percurso da matéria-prima até o produto final;

- O consumo de energia depende menos do tipo ou tamanho da construção, como no setor residencial, e mais no tipo de equipamento utilizado;

- Do ponto de vista social, uma indústria gera riqueza, empregos, atividades comerciais e desenvolvimento regional;

- Em alguns casos, uma construção industrial deve possuir uma grande qualidade estética de forma a representar a imagem da empresa e melhorar o seu entorno próximo (SAN-JOSE et al, 2006).

Ao selecionar os sistemas de certificações para servirem de base para o desenvolvimento desta pesquisa, foram considerados seus indicadores e referências, além das tipologias que cada um deles abarca. De acordo com a pesquisa de Pardini (2009), entre dezesseis países selecionados, sete usam o sistema adotado pelo *Green Building Council, Leadership in Energy and Environmental Design* – LEED. Segundo Silva (2007), o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* – BREEAM, foi o primeiro sistema de certificação ambiental de edifícios e foi usado como base para todos os subsequentes. Hoje em dia ele é usado, além do Reino Unido, seu país de origem, em pelo menos outros 8 países (<http://www.breeam.org>). O sistema de certificação Alta Qualidade Ambiental – AQUA, foi desenvolvido tendo como base do *Haute Qualité Environnementale* – HQE -, e é o primeiro sistema de certificação ambiental de edifícios brasileiro.

Estas características contribuíram para a seleção das certificações que serviriam de base para esta pesquisa, mas, também, foram levantadas as tipologias de edifícios que cada um desses três sistemas abarca. Como pode ser visto na Tabela 4, entre LEED, BREEAM e AQUA, o único que possui a indústria como tipologia de construção atendida é o BREEAM e, assim, ele foi o selecionado para servir de base para esta pesquisa.

Tabela 4: Tipologias construtivas nos sistemas de certificação ambiental de edifícios

Fonte (adaptado de VIEIRA e BARRROS, 2009 e AQUA, 2007)

SISTEMA DE CERTIFICAÇÃO	TIPOLOGIAS DE CONSTRUÇÃO ATENDIDAS
LEED	Novas construções e grandes reformas: projetos de edifícios comerciais e institucionais, incluindo edifícios de escritório, centros recreativos, plantas industriais, laboratórios, escolas, hospitais e armazéns.
	Edifícios existentes
	Interior de edifícios comerciais
	Fachada e núcleo, incluindo fachada, estrutura e sistema de condicionamento
	Residências
BREEAM	Desenvolvimento de bairro (em fase de teste)
	Edifícios de escritórios – novos ou em uso
	Tribunais ou edificações similares
	Prisões ou edificações
	Novas unidades industriais
	Residências novas ou reformadas
	Magazines novos
	Instituições de ensino
Residenciais multi familiares	
AQUA	Tipos não usuais de edificações que não estejam contempladas em outros grupos
	Residenciais uni e multi familiar
	Escritório e edifícios escolares
	Hotéis

2.3.1. BREEAM

O sistema de avaliação ambiental de edifícios BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* – possui mais de 115 mil edifícios certificados e cerca de 700 mil cadastrados no mundo todo (BRE, 2009). Criado por pesquisadores do órgão inglês *Building Research Establishment* – BRE -, da *Stanhope Properties plc.* e da *ECD Energy and Environment*, foi lançado no Reino Unido em 1990 e é atualizado a cada três ou cinco anos (SILVA, 2007; VIEIRA e BARROS, 2009), sendo que a última atualização ocorreu em 2010. Atualmente, esta certificação possui referenciais específicos para o

Reino Unido, a Alemanha, a Nova Zelândia, Suécia, Noruega e Espanha, além do referencial internacional (<http://www.breeam.org>). Algumas versões do sistema foram adaptadas às condições do Canadá, Hong Kong e China (SILVA, 2007).

Segundo Silva (2007a),

“O BREEAM fornece um processo formal de avaliação embasado em uma auditoria externa. O edifício é avaliado independentemente por avaliadores treinados e indicados pelo BRE, que, por sua vez, é responsável por especificar os critérios e métodos de avaliação e pela garantia da qualidade do processo de avaliação utilizado” (SILVA, 2007).

O BREEAM visa mitigar os impactos das construções no meio ambiente, habilitar os edifícios a serem reconhecidos de acordo com seus benefícios ambientais, fornecer um rótulo de créditos ambientais para edifícios e estimular a demanda por edifícios sustentáveis (BRE, 2009). Seus objetivos específicos são:

- estimular o reconhecimento do mercado para os edifícios sustentáveis;
- assegurar a melhor prática ambiental incorporada a edifícios;
- estabelecer critérios e padrões que superem os exigidos pelos regulamentos e desafiem o mercado a fornecer soluções inovadoras para a minimização de impactos ambientais causados por edifícios;
- aumentar a conscientização dos proprietários, usuários, arquitetos e operadores sobre as vantagens de edifícios com pequeno impacto ambiental;
- permitir que organizações possam demonstrar os progressos das corporações que se preocupam com o meio ambiente (BRE, 2009).

Cada um dos nove manuais de orientação técnica para os certificadores que o BREEAM oferece para tipologias de construção – edifícios de escritório, tribunais, prisões, indústrias, residências, magazines, instituições de ensino, residências multi familiares e os tipos não usuais – tem sua avaliação pautada em dez categorias ou critérios de desempenho, com seus respectivos assuntos, conforme pode ser visto na tabela 5:

Tabela 5: Resumo das Categorias e Detalhamentos – BREEAM

(fonte: BRE, 2009)

Categorias	Assunto
Gestão	Comissionamento Impactos no local Segurança
Saúde e bem estar	Iluminação natural

	Conforto térmico Qualidade do ar e da água Iluminação artificial
Energia	Emissão de CO ₂ Tecnologias de baixo ou zero carbono Sistemas de medição de energia Sistemas de construção com energia eficiente
Transporte	Rede de transporte público Instalações para pedestres e ciclistas Acesso às amenidades Plano de viagem e informação
Água	Consumo de água Detecção de vazamento Reutilização, reciclagem e tratamento
Materiais	Impacto do ciclo de vida Materiais reutilizados Terceirização de materiais de construção Robustez
Resíduos	Resíduos da construção Agregados recicláveis Instalações para sistema de reciclagem
Uso do solo e ecologia	Seleção do local Proteção das características ecológicas existentes Mitigação ou valorização da ecologia
Poluição	Uso de refrigeração e seus resíduos Risco de inundação Emissões de NO _x Poluição de cursos d'água Luz externa e poluição sonora
Inovação	Níveis de desempenho do edifício Profissionais credenciados BREEAM Novas tecnologias e processos de construção

Cada assunto está estruturado da seguinte forma:

- Informação do assunto: identificação da emissão, título, número de créditos disponíveis para garantir a meta de desempenho e se é pré-requisito para a certificação ou não;
- Objetivo: o impacto que o assunto tem objetivo de mitigar;
- Critérios: descreve a meta de desempenho e quantifica o crédito;
- agenda de provas: descreve os tipos de informação que devem ser colhidas pelo certificador BREEAM para avaliação do edifício;
- informações adicionais: detalhes e informações relevantes para apoio à avaliação (BRE, 2009) ²⁷.

²⁷ Ver exemplo de estruturação de um assunto no Anexo 1

O sistema BREEAM está apto para avaliar os estágios: edifícios novos, grande reforma de edifícios existentes, ampliação de edifícios existentes, uma combinação de edifícios novos e existentes e retrofit, sendo que o BREEAM Industrial certifica apenas edifícios novos (BRE, 2009).

A ponderação do BREEAM começa com os diferentes pesos dados às categorias ou critérios de desempenho, de acordo com a tabela 6:

Tabela 6: Créditos ambientais – BREEAM

(fonte: BRE, 2009)

Categorias BREEAM	Ponderação (%)
Gestão	12
Saúde e bem estar	15
Energia	19
Transporte	8
Água	6
Materiais	12.5
Resíduos	7.5
Uso do solo e ecologia	10
Poluição	10
Inovação²⁸	10

A ponderação das categorias cria o Índice de Desempenho Ambiental – EPI -, com valores entre 0 e 10. De acordo com o resultado do EPI são atribuídos quatro níveis de classificação, divididos em duas etapas, de acordo com a tabela 7:

Tabela 7: Níveis de Classificação BREEAM

(fonte: BRE, 2009)

Nível de Classificação	Etapas	
	Projeto e execução	Gestão e Operação
Aprovado	>200 pontos – 25%	<160 pontos – 21,1%
Bom	>300 pontos – 37,5%	>280 pontos – 36,9%
Muito bom	>380 pontos – 47,5%	>400 pontos – 52,8%
Excelente	>490 pontos – 61,3%	>520 pontos – 68,6%

Padrões mínimos são exigidos em alguns assuntos da certificação, de acordo com a tabela 8:

²⁸ O item de inovação promovem apenas um maior reconhecimento do edifício.

Tabela 8: Padrões mínimos – BREEAM Industrial

(fonte: BRE, 2009)

Categorias	Assuntos	Mínimo nº de créditos				
		licenciado	bom	Muito bom	excelente	extraordinário
Gestão	Comissionamento	1	1	1	1	2
	Construtores atenciosos	0	0	0	1	2
	Uso do guia de construção	0	0	0	1	1
Saúde	Iluminação de alta frequência	1	1	1	1	1
	Contaminação microbiana	1	1	1	1	1
Energia	Redução das emissões de CO ₂	0	0	0	6	10
	Sub medição do uso de energia	0	0	1	1	1
	Tecnologias de baixo ou zero carbono	0	0	0	1	1
Água	Consumo de água	0	1	1	1	2
	Medidor de água	0	1	1	1	1
Resíduos	Armazenamento de recicláveis	0	0	0	1	1
Uso solo	Mitigação de impacto ecológico	0	0	1	1	1

Os créditos da categoria de inovação são responsáveis por proporcionar um reconhecimento adicional para o edifício em termos de desempenho sustentável. Permitem o aumento do desempenho do edifício, dando suporte às novas tecnologias no mercado. Eles podem ser dados através de uma superação dos próprios assuntos ou através da superação de um grande problema no edifício. Outra forma de inovação é ter uma equipe de certificadores BREEAM assessorando em todas as etapas do projeto à construção do edifício (SILVA, 2007).

O BREEAM Industrial está apto para certificar os seguintes edifícios novos (BRE, 2009):

- Armazéns e centros de distribuição;
- Unidades de fabricação;
- Oficinas de trabalho.

Dentro destas tipologias são áreas cobertas pelo BREEAM Industrial (BRE, 2009):

Tabela 9: Áreas cobertas pelo BREEAM Industrial

(fonte: adaptado de BRE, 2009)

Áreas	Detalhamento
-------	--------------

Áreas operacionais	Armazenamento
	Área de produção
	Oficina e armazenamento frio
	Área de entrada e saída de cargas
	Áreas de gestão de resíduos
Áreas de escritório	Células ou áreas abertas de escritórios
	Salas de reunião
	Salas de apresentação ou treinamento
Outras áreas associadas	Recepção e sala de espera
	Restaurante de funcionários e instalações de cozinha
	Sanitários e Vestiários
	Salas de servidores
	Academia de funcionários
	Creche para filhos de funcionários
	Áreas auxiliares e de circulação

Outro requisito para aplicação do BREEAM Industrial é que a área de produção do edifício deve ter mais de 50% da sua área bruta total. A certificação de áreas de escritórios dentro de indústrias varia de acordo com o tamanho. Se forem maiores do que 3000 m², devem ser certificadas separadamente, através do BREEAM de Escritórios.

No Brasil ainda não existe edifício industrial com certificação BREEAM, mas no Reino Unido, na Suécia e na Romênia existem os seguintes:

Tabela 10: Edifícios industriais com certificação BREEAM Industrial

(fonte: adaptado de BRE, 2009)

Indústrias	Local
Costco Warehouse	Croydon, UK
VLA Stores Building	Weybridge, UK
Vrangelstro	Halmstad, Suécia
Western Power Distribution Unit	Llandrindod Wells Powys, UK
Cowi Performs	Halmstad, Suécia

Viridor Waste Management

Avonmouth, UK

Alinso Group

Ploiesti West Park, Romênia

Quadro 3: Sistema de certificação ambiental de edifícios BREEAM Industrial

(fonte: adaptado de BRE, 2009)

Categorias	Assunto	Nº mínimo de créditos	Ponderação
Gestão	Comissionamento	1 a 2	12
	Construtores atenciosos	1 a 2	
	Impactos no local	0	
	Uso do guia de construção	1	
	Segurança	0	
Saúde e bem estar	Iluminação natural	0	15
	Visão do exterior	0	
	Controle de luminosidade	0	
	Iluminação de alta eficiência	1	
	Índice de iluminação interna e externa	0	
	Zonas e controles de iluminação	0	
	Potencial de ventilação natural	0	
	Qualidade do ar interno	0	
	Compostos orgânicos voláteis	0	
	Conforto térmico	0	
	Zonas térmicas	0	
	Contaminação Microbiana	1	
	Desempenho acústico	0	
	Espaço de escritório	0	
Energia	Diminuição das Emissões de CO ₂	6 a 10	19
	Submedição do uso de energia	1	
	Submedição de energia de alta tensão e arrendamento	0	
	Iluminação externa	0	
	Tecnologias de baixo ou zero carbono	0	
	Desempenho do edifício e infiltração de ar	0	
	Armazenamento refrigerado	0	
	Elevadores	0	
Transporte	Rede de transporte público	0	8
	Acesso às amenidades	0	
	Instalações cicloviárias	0	
	Segurança de pedestres e ciclistas	0	
	Plano de viagem e informação	0	
	Capacidade máxima de vagas no estacionamento de veículos	0	
	Áreas de entrega e manobra	0	
Água	Consumo de água	1 a 2	6
	Medidor de água	1	
	Detecção de vazamento	0	
	Válvulas automáticas nos sanitários	0	
Materiais	Especificação de materiais	0	12,5
	Paisagismo e materiais de cercas	0	
	Reutilização de fachadas existentes	0	
	Reutilização de materiais de estruturas existentes	0	
	Fornecimento responsável de materiais	0	
	Isolamento	0	
	Desenho para robustez	0	
Resíduos	Gestão de resíduos da construção	0	7,5
	Agregados reciclados	0	
	Armazenamento de resíduos recicláveis	1	
	Compactador	0	
Uso do solo e ecologia	Reutilização de terrenos	0	10
	Contaminação de solo	0	
	Valor ecológico e proteção de recursos ambientais	0	
	Mitigação de impacto ecológico	1	
	Reforço da ecologia local	0	
	Impacto em longo prazo sob a biodiversidade	0	
Poluição	Uso de refrigeração e seus resíduos	0	10
	Prevenção de vazamento de gases de refrigeração	0	
	Armazenamento de gases de refrigeração	0	
	Emissões de NO _x de sistemas de aquecimento	0	
	Risco de inundação	0	
	Minimização da poluição de cursos d'água	0	
	Redução do ofuscamento de luzes externas noturnas	0	
	Atenuação de ruídos	0	
Inovação	Níveis de desempenho do edifício	0	10
	Profissionais credenciados BREEAM	0	
	Novas tecnologias e processos de construção	0	

3. Materiais e Métodos

3.1. Fases da pesquisa

A pesquisa foi dividida em três fases:

1ª | Levantamento bibliográfico

2ª | Elaboração de mapas conceituais

3ª | Elaboração e análise do quadro comparativo entre diretrizes de aplicação

O levantamento bibliográfico engloba a fundamentação teórica, com os conceitos, a história, as diretrizes, as ferramentas, as atualizações e tecnologias no Brasil e no mundo, referentes ao projeto, execução e manutenção de edifícios industriais; à ecologia industrial e à certificação ambiental de edifícios industriais. Em cada item da fundamentação teórica é feito de quadro de síntese referente ao tema tratado.

A partir de cada quadro síntese foi feita uma matriz de ponderação que determinou as principais diretrizes de aplicação dos conceitos envolvidos, para que estas constassem nos respectivos mapas conceituais. Essa fase corresponde ao destaque dos objetivos específicos desta pesquisa.

E, por fim, os mapas conceituais são unidos através do quadro comparativo. Sua análise é a concretização do objetivo principal desta pesquisa, que envolve todas as fases anteriores. Essa fase deve confirmar a hipótese de que a ecologia industrial apresenta-se como um campo mais holístico – social, econômico e ambiental – para contribuição no ferramental da quantificação da sustentabilidade na arquitetura industrial do que a certificação ambiental de edifícios pode abranger.

Tabela 11: Cronograma da pesquisa

FASES	ATIVIDADES	PERÍODO
Levantamento Bibliográfico	Arquitetura Industrial	Março a Março – 2010 a 2011
	Ecologia industrial	
	Certificação ambiental de edifícios	
Elaboração de mapas conceituais	Elaboração dos quadros de síntese	Abril a Novembro - 2011
	Elaboração dos mapas conceituais	Novembro a Fevereiro – 2011 a 2012
Elaboração e análise do quadro comparativo	Elaboração e análise do resultado obtido com o quadro comparativo	Fevereiro a Abril - 2012

3.2.Fundamentos metodológicos

Quando o conceito de ecologia industrial passou a ser investigado, surgiram as primeiras diretrizes para nortear sua implantação nos eco parques industriais. Paralelamente a isso, porém, alguns anos depois, começaram a surgir os primeiros indicadores de sustentabilidade para edifícios, reunidos em diferentes certificações ambientais, utilizadas para direcionar o projeto, a implantação, a execução, a manutenção, o uso e a demolição ou reutilização de edifícios.

Como pode ser verificado pela fundamentação teórica, muitas diretrizes de implantação de um eco parque industrial são muito semelhantes aos indicadores das certificações ambientais de edifícios industriais, nesta pesquisa, representadas pelo sistema BREEAM. Porém, ainda não existem registros bibliográficos sobre um possível cruzamento entre eles.

Somando a isto o fato de ambos estarem diretamente vinculados ao processo de desenvolvimento sustentável, cruzá-los e complementá-los é uma forma de buscar mais sustentabilidade ao desenvolvimento da arquitetura industrial. Considerando a hipótese de que a ecologia industrial, por buscar compreender a indústria em seu contexto econômico, social e ambiental, é um conceito mais amplo, em termos de sustentabilidade, do que os específicos indicadores usados no BREEAM, agregar diretrizes daquela no sistema deste, significaria um ganho no sistema de certificação que permitiria tornar a arquitetura industrial mais sustentável, especialmente na sua dimensão urbana.

Para chegar às diretrizes que agregam mais sustentabilidade à arquitetura industrial e que não estão (parcialmente/integralmente) no sistema BREEAM, foi necessário comparar às diretrizes de arquitetura industrial, as de ecologia industrial e os indicadores BREEAM. Para as diretrizes serem comparadas com os indicadores, foi necessário realizar uma sequência de sínteses e mensurações.

Inicialmente, ainda na fundamentação teórica, foram feitos quadros de síntese de cada campo. Esses quadros foram transformados em diretrizes mensuráveis através de uma matriz de ponderação de valores, em que a variação numérica se deu de acordo com níveis de facilidade e dificuldade em se implantar cada uma das diretrizes em comparação às demais.

Esses níveis foram estabelecidos seguindo a teoria de Norbert Lechner. De acordo com Lechner (2010), existem três categorias de sistemas sustentáveis: os básicos; os passivos e os mecânicos, indo dos mais fáceis aos mais difíceis de alcançar. Os básicos são os sistemas que não necessitam uso de energia para funcionarem, complexidade de projeto e grandes investimentos na implantação, sendo mais fáceis de serem implantados, como orientação solar; os passivos são os sistemas que, apesar de não usarem energia no funcionamento, são mais complexos e necessitam maiores investimentos do que os básicos, com o uso de tecnologias que não usam energia para o funcionamento, como dispositivos de proteção

solar; os mecânicos são os sistemas que funcionam através do uso de energia, sendo mais complexos e de custo mais elevado, como os painéis fotovoltaicos (LECHNER, 2010).

Dessa forma, foi estabelecida a seguinte escala de mensuração das diretrizes:

Muito difícil = 4

Difícil = 2

Igual = 1

Fácil = 0,5

Muito fácil = 0,25

Tabela 12: Matriz de Ponderação de diretrizes de arquitetura industrial
(Fonte: elaborada pela autora)

	Uso de ferro nas estruturas	Uso de aço nas estruturas	Uso de alvenaria estrutural	Uso de vidro nas fachadas	Iluminação Natural – orientação solar	Iluminação Natural – sheds, claraboias e brises	Ventilação Natural	Layout flexível	Vãos livres internos/ estrutura externa	Projeto de acordo com processo de produção	Setorização da produção	Uso de materiais de baixo impacto	Uso de telhado verde	Uso de sistema de captação de água pluvial	Uso de sistema de tratamento e reuso de água	Uso de sistemas de energia de fontes renováveis	Uso de sistema próprio de tratamento de esgoto industrial	Reciclagem de subprodutos	Valorização do meio natural	Inserção do edifício no entorno	TOTAL
Uso de ferro nas estruturas	1	1	1	1	1	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	10
Uso de aço nas estruturas	1	1	1	1	1	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	11
Uso de alvenaria estrutural	1	1	1	1	1	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	10
Uso de vidro nas fachadas	1	1	1	1	1/2	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	10
Iluminação Natural – orientação solar	1	1	1	2	1	1/2	1	1/2	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	14,25
Iluminação Natural – sheds, claraboias e brises	4	4	4	4	2	1	2	2	1	1/2	1/4	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	22,75
Ventilação Natural	2	2	2	2	1	1/2	1	1	2	1/2	1/4	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	20,25
Layout flexível	4	4	4	2	2	1/2	1	1	1	1/2	1/4	1	1	1	1/2	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	27
Vãos livres internos/ estrutura externa	4	4	4	4	2	1	1	1	1/2	1/2	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	29
Projeto de acordo com processo de produção	4	4	4	4	4	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1/2	1	1	1	1/2	42,5

Setorização da produção	4	4	4	4	4	2	4	4	2	1/2	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1/2	1	49
Uso de materiais de baixo impacto	4	4	4	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1	1	36
Uso de telhado verde	4	4	4	4	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1	1	37
Uso de sistema de captação de água pluvial	4	4	4	4	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1	1	36
Uso de sistema de tratamento e reuso de água	4	4	4	4	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1	1	37
Uso de sistemas de energia de fontes renováveis	4	4	4	4	4	2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	52
Uso de sistema próprio de tratamento de esgoto industrial	4	4	4	4	2	2	2	4	2	1	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1	1	42
Reciclagem de subprodutos	4	4	4	4	2	2	2	4	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	48
Valorização do meio natural	4	4	4	4	2	2	2	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	45
Inserção do edifício no entorno	4	4	4	4	2	2	2	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	45

Tabela 13: Matriz de ponderação de diretrizes de ecologia industrial²⁹
(fonte: elaborado pela autora)

	Influência de fatores locais naturais	Estética da paisagem	Planejamento de infraestrutura viária e mobilidade	Planejamento para uso de ferramentas de EI	Planejamento de infraestrutura com troca de materiais e compartilhamento	Uso de fontes de energia renováveis, reuso de água e captação de água pluvial	Orientação das instalações de acordo com: ventos, sol, topografia, ruídos e vegetação	Planejamento de instalações e edifícios coletivos	Uso de materiais de construção recicláveis, reciclados e de baixo impacto	Preservação de vegetação natural e corredores ecológicos	Implantação de sistema de gestão ambiental	Certificação e Licenciamento ambientais	Logística integrada	Transporte coletivo de funcionários	Presença e qualificação de mão de obra	Articulação dos atores envolvidos	Planejamento de processos cíclicos de produção	Acompanhamento de impacto de vizinhança	Conforto acústico e luminoso	Segurança no ambiente de trabalho	TOTAL
Influência de fatores locais naturais	1	2	1	1	1/2	1	1	1/2	1/4	1/2	1/4	1	1	1	1	1	1/4	1	1	1	15
Estética da paisagem	1/2	1	1/2	1/4	1/4	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1/4	1	1	1	1	1	1/4	1	1	1	7,75
Planejamento de infraestrutura viária e mobilidade	1	4	1	1	1	1/2	2	1	1	1	1/2	1	4	1	2	1	1/2	1	1	2	27
Planejamento para uso de	2	4	4	1	1/2	1/	1	1/	1	1/	1	1	4	1	1	1	1/	1	1	1	25,75

²⁹ A elaboração da matriz de ponderação para Ecologia Industrial não considerou as diretrizes vinculadas exclusivamente à economia, por esta ser uma área que a referente pesquisa não engloba.

ferramentas de EI						2		2		2	/	/				/	2	/			
Planejamento de infraestrutura com troca de materiais e compartilhamento	2	4	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	4	2	2	1	1	2	2	2	44
Uso de fontes de energia renováveis, reuso de água e captação de água pluvial	1	4	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	4	2	2	2	1	2	2	2	43,5
Orientação das instalações de acordo com: ventos, sol, topografia, ruídos e vegetação	1	2	1/2	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	1	1	4	1	1	1	1/2	1	1	1	20
Planejamento de instalações e edifícios coletivos	2	4	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1/2	2	2	2	29,5
Uso de materiais de construção recicláveis, reciclados e de baixo impacto	4	4	1	1	1/2	1/2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1/2	2	1	2	27,5
Preservação de vegetação natural e corredores ecológicos	2	4	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1/2	1	1	1	26
Implantação de sistema de gestão ambiental	4	4	2	4	1/2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	37,5
Certificação e Licenciamento ambientais	4	4	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	4	1	2	2	2	39
Logística integrada	1	1	1/4	1	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1	1	1	1	1	1	1/4	1	1	1	11
Transporte coletivo de funcionários	1	2	1	1	1/2	1/2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1/2	1	1	1	24
Presença e qualificação de mão de obra	1	4	1/2	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	1	1	2	1	1	1	1/2	1	1	1	23
Articulação dos atores envolvidos	2	4	1	2	1	1/2	1	1	1	1/2	1	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1	22,25
Planejamento de processos cíclicos de produção	4	4	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	4	2	2	2	1	2	2	2	41
Acompanhamento de impacto de vizinhança	2	4	1	2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1	1	1	2	1	1	1	1/2	1	1	1	22
Conforto acústico e luminoso	2	4	1	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1	21
Segurança no ambiente de trabalho	1	2	1/2	1	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1/2	1	1	1	17

Como resultado da Tabela 12, tem-se que a diretriz de arquitetura industrial que possui a maior dificuldade de implantação é a de uso de sistemas de energia de fontes renováveis, enquanto as diretrizes de maior facilidade de implantação são: uso de ferro nas estruturas, uso de alvenaria estrutural e uso de vidro nas fachadas. Enquanto na Tabela 13, a diretriz de ecologia industrial com maior dificuldade de implantação é a de planejamento de infraestrutura com troca de materiais e compartilhamento, porém, a diretriz de uso de fontes renováveis de energia, reuso de água e captação de água pluvial também possui elevado grau de dificuldade de implantação, coincidindo com a respectiva diretriz da arquitetura industrial. A diretriz de implantação de estética da paisagem é, para a ecologia industrial, a diretriz com

maior facilidade de implantação. Para a certificação ambiental de edifícios industriais, o mapa conceitual elaborado é composto pelas sessões do BREEAM e seus indicadores.

Para sustentar essa rede teórica e torná-la comparável com os demais temas dessa pesquisa, foram construídos mapas conceituais de cada tema, a partir dessas tabelas. De acordo com Anastasiou (2004), *Mapa Conceitual* é uma estratégia de aprendizagem que identifica os conceitos básicos a fim de estabelecer conexões na rede teórica. Nele, o fundamental é a identificação dos conceitos básicos e das conexões entre esses conceitos e os dele derivados, o que leva a elaboração de uma teia relacional (ANASTASIOU, 2004). Vale salientar que os mapas conceituais foram elaborados no recorte da arquitetura e do urbanismo, deixando as questões voltadas para investimentos e processos produtivos que não envolvam relação com o meio construído/planejado para outra discussão.

A partir dos mapas conceituais, a teia relacional estabeleceu relações entre:

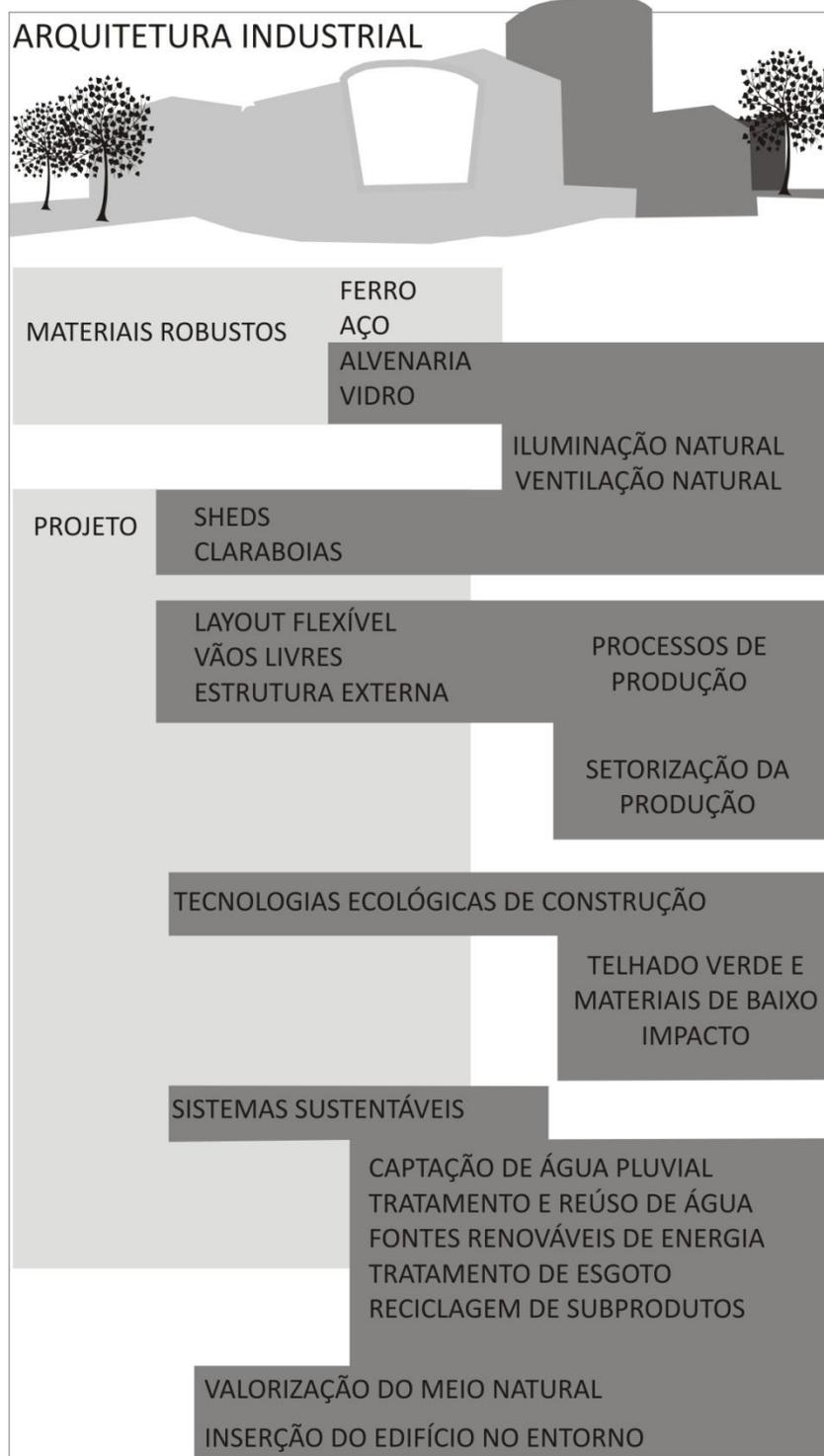
- I) as diretrizes de arquitetura industrial, por representar a base de estudo e comparações quando o tema é o edifício industrial,
- II) as diretrizes de ecologia industrial, principalmente as voltadas para a implantação de eco parques industriais
- III) os indicadores do sistema BREEAM.

O resultado dessa teia relacional foi denominado *Quadro Comparativo Final* nessa pesquisa e representa seu resultado, integrando a comprovação ou não da hipótese inicial no capítulo da discussão. A metodologia usada nesta pesquisa é qualitativa, pois, de acordo com Myers (1997), os métodos qualitativos foram criados para abordar conhecimentos de fenômenos sociais e culturais dos seres humanos e os estudos aqui apresentados estão voltados à compreensão do contexto sociopolítico. Segundo Kaplan e Maxwell (1994), os métodos de pesquisa qualitativa são voltados para auxiliar pesquisadores a compreender a relação entre as pessoas e seu contexto social, cultural ou institucional. Esta compreensão é tida como um dado não quantificado (KAPLAN e MAXWELL, 1994).

Em relação à forma de obtenção do conhecimento, esta pesquisa é considerada positivista, pois assume que a realidade pode ser conhecida e descrita por propriedades independentes do pesquisador e de seus instrumentos. Aqui o conhecimento é adquirido com a procura de regularidades e relações causais; os elementos comparativos e suas relações (MYERS, 1997).

3.3. Mapas conceituais

Quadro 4: Mapa Conceitual de Arquitetura Industrial



Quadro 5: Mapa Conceitual de Ecologia Industrial

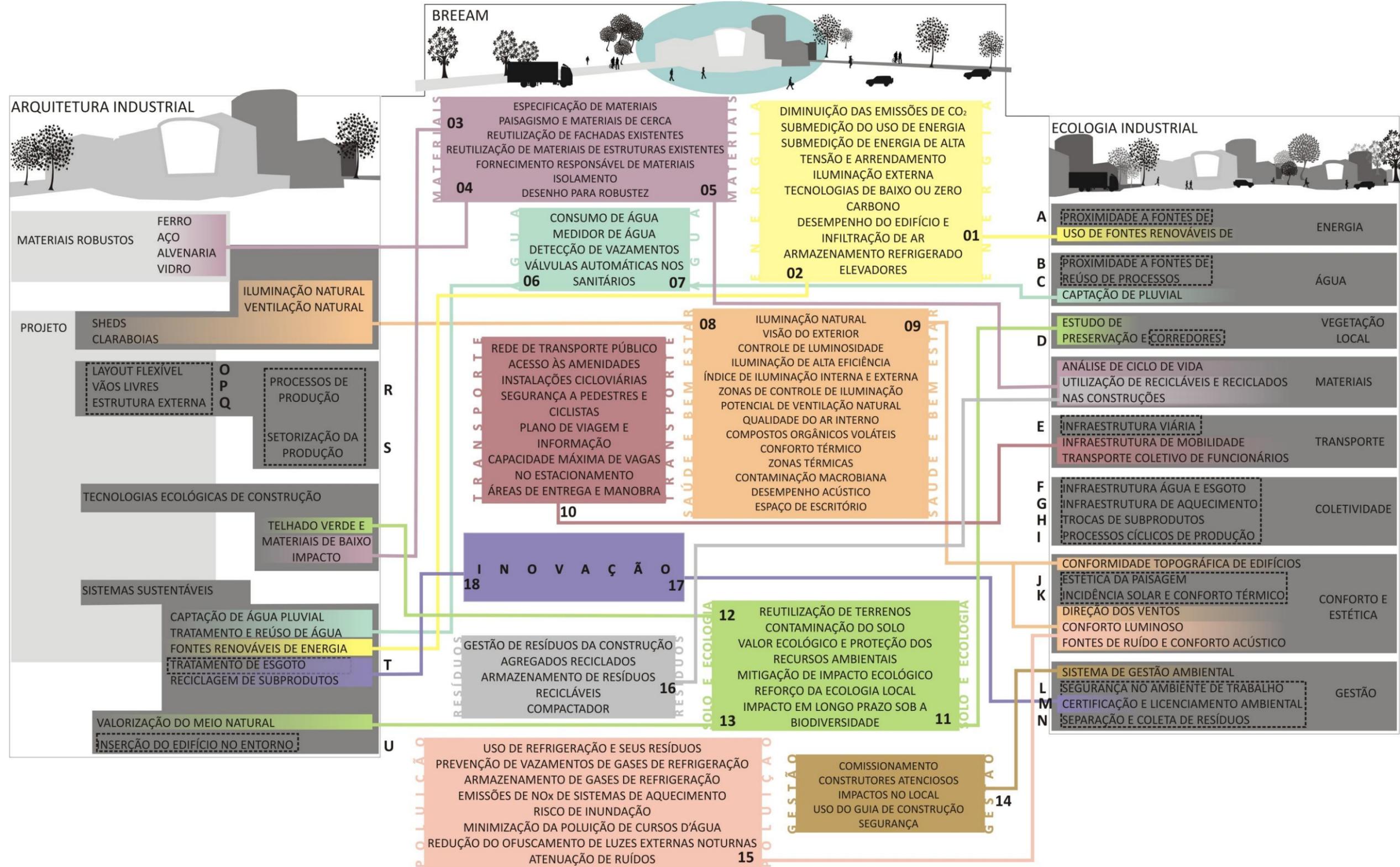


Quadro 6: Mapa Conceitual de Cert. Ambiental de Edifícios Industriais - BREEAM



4. Resultado

Quadro 7: Quadro Comparativo Final



5. Discussão

A discussão desta pesquisa se dá em torno das relações estabelecidas no Quadro Comparativo Final, seu resultado. Elas foram numeradas – de 01 a 18 – e são apresentadas tendo como eixo de comparação as categorias BREEAM. As diretrizes que ficaram sem relação com os indicadores, identificadas por retângulos tracejados e letras – de A a U – são comentadas na sequência.

- **Energia:** Um dos princípios da ecologia industrial é a ciclagem de energia (CHERTOW, 2002), por isto existem as diretrizes de implantação de eco parques industriais próximos a fontes de energia, para diminuir a perda na transmissão, e de utilização de energia proveniente de fontes renováveis (COTÈ et al, 1994). No BREEAM, existe o conjunto da categoria de indicadores denominada *Energia* (BRE, 2009), que estabelece a relação 01 no Quadro 7.

O indicador de diminuição das emissões de CO₂ tem como objetivo reconhecer e incentivar edifícios projetados para minimizá-las e é associado ao consumo de energia operacional (BRE, 2009). As emissões são calculadas tendo como referência a energia consumida no funcionamento da área condicionada, nos sistemas de água quente, iluminação e maquinários e levam em consideração as contribuições do edifício em si e do seu entorno (BRE, 2009).

O indicador de tecnologias de baixo ou zero carbono visa reduzir as emissões CO₂ através do *“incentivo à geração de energia proveniente de fontes renováveis para abastecer uma parte significativa da demanda do edifício”*³⁰ (BRE, 2009). Neste indicador, o BREEAM inclui as tecnologias reconhecidas pelo Departamento de Negócios de Empresas e Reformas Regulatórias e pelo Programa de Edifícios de Baixo Carbono, ambos ingleses: aquecimento solar de água, painéis fotovoltaicos, pequenas centrais hidroelétricas, energia das ondas e das marés, biomassa e gás natural, biodigestores, bombas de calor, energia geotérmica, células de hidrogênio a partir de fontes renováveis e sistemas de aquecimento da comunidade, incluindo a utilização de calor residual de processos industriais (BRE, 2009).

De acordo com Hallsworth (2005), Evans et al (2009) e Caterino (2011), entre as diretrizes de arquitetura industrial da quarta revolução industrial, estão a implementação de sistemas sustentáveis nas indústrias. Entre esses sistemas está o uso de energia proveniente de fontes renováveis, como painéis fotovoltaicos, torres eólicas e biodigestores. Esta diretriz também está relacionada ao indicador da diminuição das emissões de CO₂ e ao indicador do uso de tecnologias de baixo ou zero carbono da categoria *Energia* do BREEAM e configura a relação 02 no Quadro 7.

³⁰ Tradução livre. Texto original: “To reduce carbon emissions and atmospheric pollution by encouraging local energy generation from renewable sources to supply a significant proportion of the energy demand” (BRE, 2009).

Os demais indicadores estabelecidos no detalhamento dessa categoria BREEAM referem-se à diminuição, ao controle do consumo de energia e aos cuidados para não desperdiçá-la, como evitar o uso constante de elevadores, controlar as submedições, controlar a eficiência das luminárias de iluminação externa, controlar o desempenho térmico do edifício, principalmente quando ocorre infiltração de ar externo, prejudicando o condicionamento do ambiente (BRE, 2009). **Não há indicador relacionado à proximidade de indústrias a fontes de energia (letra A).**

- **Materiais:** O uso de materiais de baixo impacto na construção industrial é mencionado por Hallsworth (2005) e Caterino (2011) como uma das maneiras de tornar o edifício mais sustentável. O sistema BREEAM confirma esta diretriz com seus indicadores da categoria *Materiais*, estabelecendo a relação 03 no Quadro 7. Apesar de não haver menção a possíveis tecnologias ecológicas de construção, como telhado verde³¹, o indicador *Especificação de materiais* visa “reconhecer e incentivar o uso de materiais de construção com baixo impacto ambiental sobre o ciclo de vida do edifício”³² (BRE, 2009). Ele é classificado através das especificações de elementos construtivos do *Green Guide* (www.thegreenguide.org.uk)³³ e é aplicável aos materiais das paredes externas e dos telhados dos edifícios.

O indicador *Paisagismo e material de cerca*, também classificado pelo *Green Guide*, têm como objetivo o reconhecimento e o incentivo do uso de materiais de baixo impacto para cercar a indústria. Os indicadores de reutilização de materiais de fachada e de estrutura são voltados ao incentivo do uso de materiais que já foram utilizados em outras construções, diminuindo o impacto final do edifício. O isolamento térmico tem um fator de baixo impacto incorporado às propriedades térmicas, o que também o relaciona ao uso de materiais de baixo impacto (BRE, 2009). O *Green Guide* também é usado neste indicador trazendo o índice de isolamento.

Cabe também salientar que, pelo menos 80% dos materiais usados para isolamento devem ser de baixo impacto e ter fornecimento responsável, como lã, madeira reciclada e lã de vidro feita com material reciclado (BRE, 2009). A diretriz de uso de materiais robustos na arquitetura industrial tem seu correspondente BREEAM no indicador de *Desenho para robustez*, que “reconhece e incentiva o uso de

³¹ A tecnologia de construção com telhado verde está citada na categoria “solo e ecologia”, no assunto mitigação de impacto ambiental (BRE, 2009).

³² Tradução livre. Texto original: “To recognise and encourage the use of construction materials with a low environmental impact over the full life cycle of the building” (BRE, 2009).

³³ Green Guide é um guia de especificações criado pelo sistema BREEAM para embasar seus indicadores. Funciona como uma ferramenta eletrônica que fornece orientação para especificadores, arquitetos e clientes sobre os impactos ambientais de materiais de construção. É classificação dos materiais é feita através de ACV, com a *Environmental Profile Methodology* (BRE, 2009).

materiais robustos nas partes expostas do edifício e nas áreas externas, minimizando a frequência de reposição de materiais”³⁴ (BRE, 2009). Esta relação se configura no número 04 no Quadro 7 e está voltada para materiais que agregam durabilidade ao edifício, como proteção contra avarias em paredes de corredores e pavimentos selecionados de ruas e calçadas.

Outra relação estabelecida com a categoria *Materiais* do BREEAM é a de número 05, relacionando-a a diretriz de ecologia industrial que prevê a análise do ciclo de vida dos materiais usados na construção e a utilização de materiais que possam ser recicláveis ou que sejam reciclados de outra construção. Como o *Green Guide* classifica os materiais de seu índice através de ACV e o BREEAM o utilizam como referência, todos os indicadores do BREEAM para esta categoria se relacionam à diretriz de ACV dos materiais usados na construção industrial. Os indicadores de reutilização de fachadas existentes e reutilização de materiais estruturais se relacionam diretamente à diretriz de uso de materiais recicláveis e reciclados e o indicador de isolamento acústico, que prevê o uso de materiais reciclados, se relaciona indiretamente.

- **Água:** Nesta categoria BREEAM as relações estabelecidas são: a de número 06, que a associa as diretrizes dos sistemas sustentáveis de captação de água pluvial, tratamento e reuso de água da arquitetura industrial e a de número 07, que associa as diretrizes de reuso de água de processos e captação de água pluvial.

O indicador BREEAM de consumo de água indica a minimização do consumo de água potável nas instalações sanitárias através do uso de acessórios que restringem e diminuem o fluxo de água (BRE, 2009). De acordo com o referencial BREEAM para edifícios industriais, a avaliação deste indicador usa como critério a captação e a utilização de água pluvial e o tratamento e a reutilização de água cinza nas descargas de bacias sanitárias (BRE, 2009). Os demais indicadores para esta categoria estão relacionados à medição do consumo, como forma da demonstração da necessidade de diminuí-lo; à detecção de vazamentos de água como forma de não desperdiçá-la e à instalação de válvulas automáticas nas instalações sanitárias com o objetivo de reduzir o risco de vazamentos (BRE, 2009).

Vale ressaltar que o tratamento e o reuso de águas que são avaliados pelo BREEAM consideram apenas a água cinza – proveniente de pias de banheiros e de chuveiros –, **sem cogitar sistemas de tratamento de águas negras – esgoto doméstico – ou de águas provenientes de processos industriais (letras T e C)**, de forma que não existe forma de avaliação de Estações de Tratamento de Esgoto instaladas

³⁴ Tradução livre. Texto original: “To recognise and encourage adequate protection of exposed parts of the building and landscape, therefore minimising the frequency of use of replacement materials” (BRE, 2009).

dentro de indústrias ou eco parque industriais. **O BREEAM também não possui indicador para proximidade a fontes de água (letra B)**

- **Saúde e Bem Estar:** Segundo Hallsworth (2005), Evans et al (2009) e Caterino (2011), são diretrizes de materiais de construção de edifícios industriais o uso de elementos vazados de alvenaria e de elementos de vidro e são diretrizes de projeto de arquitetura industrial o uso de sheds e claraboias. Ambas diretrizes visam melhorar a ventilação e a iluminação natural. Estas diretrizes estão associadas aos indicadores da categoria *Saúde e Bem Estar* do BREEAM através da relação 08 no Quadro 7. De acordo com as diretrizes de implantação de um eco parque industrial de Cotè et al (1994), o ambiente de trabalho deve possuir iluminação natural e os edifícios industriais devem estar posicionados de acordo com a melhor orientação possível, de forma a promover conforto luminoso, térmico e acústico ao ambiente de trabalho. Estas diretrizes também estão relacionadas aos indicadores desta categoria BREEAM através da relação 09 do Quadro 7.

Assim, a diretriz de incidência solar da ecologia industrial e a diretriz de iluminação natural da arquitetura industrial se relacionam ao indicador de iluminação natural, que especifica que o ambiente de trabalho deve ter pelo menos 80% da área do pavimento iluminada naturalmente. A diretriz de conforto luminoso da ecologia industrial está relacionada aos seguintes indicadores: controle de luminosidade, que controla os problemas de ofuscamento; iluminação de alta eficiência, que reduz os riscos de problemas de saúde associados à exposição à iluminação fluorescente; índice de iluminação interna e externa, que garante que a iluminação foi projetada para o melhor desempenho visual e de conforto luminoso e o indicador da zona de controle de iluminação, que garante que os usuários tenham controle fácil e acessível sobre a iluminação do edifício (BRE, 2009).

A diretriz de ventilação natural da arquitetura industrial e a diretriz de direção dos ventos da ecologia industrial estão relacionadas ao indicador de potencial de ventilação natural, que estimula a ventilação cruzada no interior dos edifícios e incentiva a abertura de edifícios condicionados para o sistema de ventilação natural (BRE, 2009). Para a avaliação, este indicador considera a localização e a quantidade das janelas, bem como seu material e tipo. O indicador de qualidade do ar interno também está associado às diretrizes de ventilação natural e direção dos ventos, uma vez que objetivando reduzir os riscos para a saúde relacionados à má qualidade do ar interno, avalia também a ventilação natural do edifício e sua ventilação (BRE, 2009).

A diretriz de conforto térmico da ecologia industrial está relacionada ao indicador de conforto térmico do BREEAM, um instrumento de garantia de que níveis de conforto térmico podem ser alcançados

a partir de projeto de arquitetura. A avaliação para este indicador é feita através do auxílio de um software que esteja no guia CIBSE AM11, aplicado nas áreas em que existem funcionários trabalhando. O indicador de zonas térmicas também pode ser associado ao conforto térmico por garantir que os usuários tenham acesso ao controle de ajuste de temperatura do interior do edifício (BRE, 2009). Quando Coté et al (1994) fala sobre incidência solar e direção dos ventos, refere-se ao aquecimento e à sensação de frio que ambos podem causar nos ambientes do edifício. **Quanto a isto, o BREEAM não possui indicadores (letra K) e, portanto, também não avalia o impacto para o efeito ilha de calor do edifício industrial como um todo.**

As diretrizes de fontes de ruído e conforto acústico propostas na ecologia industrial estão relacionadas ao indicador de desempenho acústico do BREEAM. Este indicador garante que o desempenho acústico cumpra as normas exigidas para sua finalidade e é avaliado através de medições nos locais de fabricação, nas áreas de escritórios e entre eles. O nível de ruído que sai da planta industrial para a área externa está no indicador de atenuação de ruídos, na categoria *Poluição*.

A diretriz de ecologia industrial que trata da conformidade topográfica dos edifícios pode ser relacionada ao indicador de visão do exterior do BREEAM. Apesar de a diretriz estar voltada para a implantação do edifício e as condições climáticas e de chuvas e alagamentos do local, também garante que o edifício seja implantado de forma a possibilitar boas vistas para o usuário (COTÈ et al, 1994). Este indicador *“permite que os ocupantes reorientem seus olhares e desfrutem uma visão externa, reduzindo o risco da fadiga visual e quebrando a monotonia do ambiente interno”*³⁵ (BRE, 2009).

Esta categoria do sistema BREEAM não possui nenhum indicador que se referencie à estética da paisagem que o edifício compõe (letra J) e à inserção do edifício no entorno (letra U), importantes diretrizes da ecologia industrial e da arquitetura industrial por representarem a qualidade da relação com o meio inserido e o desenvolvimento da sociedade local (COTÈ, 1995). Em arquitetura industrial, a diretriz de inserção do edifício no entorno visa diminuir o impacto visual da nova construção, fazendo com que a comunidade local se aproprie da nova paisagem. Este também é o foco da diretriz de ecologia industrial de estética da paisagem. Para Lomberra e Rojo (2010) e San-Jose et al (2006), a estética da paisagem é um dos fatores que agrega mais sustentabilidade à implantação industrial, pois diminui o impacto na paisagem urbana e promove a imagem corporativa da indústria.

³⁵ Tradução livre. Texto original: “To allow occupants to refocus their eyes from close work and enjoy an external view, thus reducing the risk of eyestrain and breaking the monotony of the indoor environment” (BRE, 2009).

- **Transporte:** As diretrizes de ecologia industrial ligadas à infraestrutura de mobilidade e ao transporte coletivo de funcionários integram a relação estabelecida com a categoria *Transporte* do sistema BREEAM – relação 10 no Quadro 07. O indicador de rede de transporte público tem como objetivo o incentivo ao desenvolvimento de rede de transporte para auxiliar a redução de emissões de gás carbônico proveniente de veículos particulares e também para diminuir o congestionamento nas proximidades das instalações (BRE, 2009). Este indicador está diretamente relacionado à diretriz de transporte coletivo de funcionários e integra também a diretriz de infraestrutura de mobilidade por garantir acesso público; é avaliado pela distância entre o ponto de parada e a entrada do edifício, o tipo de transporte – ônibus ou trem ou metrô – e pela frequência. O acesso às amenidades também pode ser considerado relacional a esta diretriz, pois incentiva que o edifício seja instalado nas proximidades de amenidades – banco, correio – para diminuir a quantidade de viagens dos funcionários.

O indicador de instalações para ciclistas tem como objetivo incentivar o uso da bicicleta pelos usuários do edifício através do fornecimento de instalações para ciclistas, como ciclovia sinalizada, bicicletário próximo ao edifício e com o número suficiente de vagas e chuveiros e armários nos vestiários. O indicador de instalações de pedestres e ciclistas está voltado para que as calçadas e ciclovias ofereçam segurança aos usuários, principalmente nos cruzamentos com outras modalidades de transporte e para que sejam construídas de acordo com as normas municipais. O indicador de plano de viagem é avaliado através das opções de transporte que o usuário do edifício possui, pois quanto mais opções de transporte sustentável, menores serão as emissões de gás carbônico (BRE, 2009). Estes três indicadores podem ser relacionados à diretriz de infraestrutura de mobilidade da ecologia industrial, pois além de avaliarem a infraestrutura, incentivam a mobilidade no entorno dos edifícios industriais e representam um impacto urbanístico direto.

O indicador de capacidade máxima de vagas no estacionamento tem como objetivo o incentivo ao uso de meios de transporte alternativos no interior da área da indústria, ajudando a reduzir as emissões relacionadas com transporte e congestionamento. Este indicador restringe uma vaga de estacionamento para cada três usuários, além das vagas para deficientes e grávidas. Além de se relacionar à diretriz de mobilidade, este indicador também se relaciona à diretriz de infraestrutura viária por avaliar as áreas de estacionamento (BRE, 2009). O indicador de área de entrega e manobra visa garantir a segurança dos usuários durante as entregas e as manobras dos caminhões através de planejamento de acesso a área, por isto está diretamente relacionado à diretriz de infraestrutura viária. **Não há indicador BREEAM para a infraestrutura viária (letra E)**, como planejamento de ruas e avenidas que envolvem logística de carga e de transporte, sistemas de sinalização de trânsito e tipos de pavimentação.

- **Solo e Ecologia:** De acordo com Cotè et al (1994), para otimizar o conforto ambiental e melhorar a paisagem local de um eco parque industrial é necessário preservar o máximo possível da vegetação nativa, incentivando a permanência ou a recuperação de florestas naturais, o plantio de sementes de espécies nativas e evitar o plantio de espécies exóticas. Os autores também incentivam a elaboração de um índice de espécies que possam ser plantadas pelas indústrias e a criação de corredores ecológicos para fauna quando for necessário interromper alguma área de vegetação (COTÈ et al, 1994).

Assim, as diretrizes de ecologia industrial de estudo da vegetação local e da sua preservação estão diretamente relacionadas à categoria *Solo e Ecologia* do BREEAM e configuram a relação 11 do Quadro 7. O indicador de reutilização de terrenos tem como objetivo incentivar o uso de terrenos ocupados anteriormente e desmotivar o uso de terrenos onde nunca houve construção. Um dos critérios de avaliação é o de que pelo menos 75% da área do empreendimento deve ter sido ocupada por uso industrial, comercial ou residencial nos últimos 50 anos (BRE, 2009). Este indicador se relaciona à diretriz de preservação da vegetação por poupar a ocupação de áreas de vegetação – nativa ou não – para novos usos.

O indicador de valor ecológico e proteção dos recursos ambientais objetiva o incentivo ao desenvolvimento em uma terra que já tem o valor limitado para a vida silvestre e à proteção das características ecológicas existentes, principalmente quando se usa substâncias químicas durante a preparação do local das construções. Árvores antigas e com valor ecológico devem ser protegidas com barreiras de longo alcance; todas as árvores devem ter suas raízes protegidas contra destruição; as áreas vegetadas próximas a cursos d'água deverão ser protegidas e preservadas (BRE, 2009). Por estes motivos, este indicador está diretamente relacionado à diretriz de preservação da vegetação natural traçada pela ecologia industrial.

Com o objetivo de minimizar o impacto de uma construção em um local de valor ecológico, o indicador de mitigação de impacto ecológico dá créditos para edifícios onde a alteração no valor ecológico do local é menor ou igual à zero (BRE, 2009). Este indicador se relaciona à preservação da vegetação local, diretriz de ecologia industrial e também à diretriz de uso da tecnologia ecológica de construção de telhado verde – relação 12 do Quadro 7 –, que além de contribuir para o conforto térmico, também representa uma reserva de área vegetada de valor ecológico.

O indicador que avalia o reforço da ecologia local objetiva reconhecer e incentivar as ações tomadas para manter ou melhorar o valor ecológico do local depois da construção do edifício (BRE, 2009). Este indicador está relacionado indiretamente à diretriz de preservação da vegetação local, que pode ser

considerada uma forma de aumentar o valor ecológico. Ainda existem as formas de compensação, como a plantação de uma horta ou de um viveiro (BRE, 2009).

O indicador de impacto em longo prazo sob a biodiversidade é avaliado por um ecologista SQE – indivíduo qualificado para avaliar todos os itens ecológicos do BREEAM –, mas também deve se enquadrar aos padrões da legislação, além de ter um planejamento de paisagem e gestão do meio ambiente apropriado para o local, abrangendo, pelo menos, os cinco primeiros anos do edifício, com gestão dos recursos protegidos, gestão de habitats e projeção para o futuro do local em termos de biodiversidade (BRE, 2009). A descrição estabelece uma relação com a diretriz de estudo da vegetação local, pois é necessário estudá-la para avaliá-la e planejá-la.

A diretriz de ecologia industrial que trata da existência de corredores ecológicos nos eco parques industriais estimula a sua criação quando houver interrupção de vegetação local, para que a fauna possa continuar habitando aquela área (COTÈ et al, 1994), apesar de importante diretriz de adaptação do ecossistema, **não existem indicadores BREAM relacionados a ela (letra D).**

A diretriz de arquitetura industrial relacionada a esta categoria é a de valorização do meio natural - relação 13 do Quadro 7 - e está presente em todos os indicadores acima descritos, pois todos buscam a preservação, a proteção e a valorização da ecologia local.

- **Gestão:** A diretriz de ecologia industrial que leva a aplicação do Sistema de Gestão Ambiental é relacionada ao indicador de construtores atenciosos e ao indicador de impactos no local da categoria BREEAM de *Gestão*. Enquanto o primeiro incentiva a construção civil com gestão responsável ambiental e social, através da aplicação de um esquema de certificação inglês chamado *Considerate Constructors Scheme*, que preza a atenção dos construtores, consciência ambiental, limpeza do local, políticas de respeito e boa vizinhança, segurança e responsabilidade; o segundo incentiva a gestão de construções de forma ambientalmente saudável em termos de consumo de energia, uso de recursos e poluição, com monitoramento de emissões de gás carbônico e aumento de créditos para a obra que comprovar usar um SGA (BRE, 2009). Esta relação é identificada pelo número 14 no Quadro 7.

Apesar de na categoria *Resíduos* do BREEAM haver um indicador para gestão de resíduos da construção e outro para armazenamento de resíduos recicláveis, **não há indicador BREEAM para gestão de resíduos durante o funcionamento da indústria, como separação e coleta de resíduos recicláveis (letra N).**

Os indicadores de comissionamento e uso do guia de construção são específicos para a gestão do processo de construção, como para coordenação da obra e para o fornecimento de orientações para que

o usuário do edifício possa mantê-lo e operá-lo. O indicador de segurança do BREEAM tem como objetivo o desenvolvimento de projetos de edifícios que reduzam a oportunidade e o medo do crime (BRE, 2009), e não se relaciona à diretriz de segurança da ecologia industrial, que está voltada para a gestão da segurança no ambiente de trabalho.

Para Lombera e Rojo (2010), uma forma de eliminar os índices de acidente de trabalho durante a construção, o uso e a reutilização do edifício é através da prevenção de risco e da diretriz de segurança pensada desde a concepção do projeto do edifício. Voltada para a sustentabilidade social, esta diretriz deve ser incorporada à arquitetura do edifício para garantir a qualidade do meio ambiente de trabalho, porém, **não há indicadores BREEAM nesta abordagem (letra L).**

- **Poluição:** Esta categoria BREEAM possui três indicadores que se referem a gases de sistemas de refrigeração, como seu possível vazamento e a redução de seu uso, devido elevado potencial de aquecimento global e a consequente contribuição para as mudanças climáticas (BRE, 2009). O indicador de emissões de NO_x visa estimular o fornecimento de calor a partir de um sistema que minimiza as emissões deste gás, reduzindo a poluição do meio ambiente local (BRE, 2009). O indicador de risco de inundação tem como objetivo incentivar construções em áreas de baixo risco de inundação (BRE, 2009). O indicador de minimização da poluição de cursos d'água visa reduzir o potencial de contaminação dos cursos d'água com metais pesados e produtos químicos provenientes de plantas industriais (BRE, 2009). Estes indicadores não estão relacionados a qualquer das diretrizes de ecologia industrial porque os princípios deste conceito já pressupõem a não ocorrência dos fatos avaliados por eles.

Apesar disto, o indicador BREEAM de redução do ofuscamento de luzes externas noturnas, que tem como objetivo garantir o foco da iluminação externa, reduzindo a poluição luminosa e desnecessária e o consumo de energia (BRE, 2009), está relacionado à diretriz de conforto luminoso da ecologia industrial. E o indicador de atenuação de ruídos do BREEAM, que visa reduzir a possibilidade de o ruído da planta industrial incomodar a vizinhança (BRE, 2009), se relaciona à diretriz de fontes de ruído e conforto acústico da ecologia industrial. Estas duas relações são identificadas pelo número 15 no Quadro 7.

- **Resíduos:** A diretriz de ecologia industrial que se relaciona a esta categoria BREEAM é a de utilização de reciclados e recicláveis nas construções – relação 16 no Quadro 7. A primeira relação é feita com o indicador de gestão de resíduos da construção, que promove a eficiência dos recursos através da gestão eficaz e apropriada dos resíduos da construção, diminuindo a geração e promovendo a reciclagem dos resíduos não tóxicos (BRE, 2009). De acordo com o referencial BREEAM industrial, os resíduos das

construções podem ser reutilizados no próprio local, em outro local, podem passar por um processo de reciclagem ou recuperação para a reutilização, podem retornar para o fabricante ou podem ser reciclados por uma empresa terceirizada de reciclagem (BRE, 2009). Para isto, o construtor deve elaborar, utilizar e apresentar um plano de gerenciamento de resíduos de obra.

O indicador de agregados reciclados, que tem como objetivo o incentivo do uso de agregados reciclados na construção de forma a reduzir a demanda por material virgem, segue a mesma linha da categoria de *Materiais* do BREEAM, relacionando-se a diretriz de utilização de reciclados e recicláveis nas construções. Estes agregados podem ser obtidos no local da construção ou em outras construções localizadas em um raio de até 30 km ou agregados secundários obtidos de outros locais (BRE, 2009). Vale ressaltar que, apesar de existirem os indicadores de armazenamento de resíduos recicláveis e de compactador, não existe indicador para coleta e separação dos resíduos, como já foi dito anteriormente (letra N).

- **Inovação:** A categoria BREEAM de *Inovação* tem como indicador a própria inovação, que tem como objetivo *“proporcionar um reconhecimento adicional para uma estratégia de aquisição, característica de projeto, processo de gestão ou de desenvolvimento tecnológico que inova no campo da sustentabilidade, acima e além do nível que é atualmente reconhecido e certificado dentro dos assuntos do sistema BREEAM”*³⁶ (BRE, 2009). As formas de atingir este indicador são:

- através da avaliação exemplar nos indicadores: construtores atenciosos; iluminação natural; espaço de escritório, redução das emissões de gás carbônico, tecnologias de baixo ou zero carbono; medidores de água; fornecimento responsável de materiais e gestão de resíduos da construção;

- através da contratação de um profissional credenciado BREEAM desde o início do projeto do edifício, de forma a participar de todas as etapas;

- Quando o edifício apresenta novas tecnologias ou novos processos de construção que agregam sustentabilidade ao edifício. Se estas tecnologias ou processos tiverem sucesso na aplicação, podem receber os créditos por inovação (BRE, 2009).

Desta forma, é possível dizer que algumas diretrizes de arquitetura industrial e de ecologia industrial, que não estão relacionadas aos outros indicadores BREEAM, estão relacionadas ao indicador de inovação. São elas:

³⁶ Tradução livre. Texto original: *“To provide additional recognition for a procurement strategy, design feature, management process or technological development that innovates in the field of sustainability, above and beyond the level that is currently recognised and rewarded within standard BREEAM issues”* (BRE, 2009).

- Ecologia Industrial: a diretriz de gestão de trata da certificação ambiental também está relacionada ao indicador de inovação – relação 17 no Quadro 7 –, pois necessita a contratação de um profissional credenciado desde o início do projeto do edifício e participando de todas as etapas. O processo de licenciamento ambiental, apesar de também necessitar acompanhamento de profissional, não pode ser considerado na categoria *Inovação* por existir e ser utilizado há muito tempo.

- Arquitetura Industrial: a diretriz do conjunto de sistemas sustentáveis, tratamento de esgoto. Não há nenhum indicador BREEAM que trate da avaliação de estações de tratamento de esgoto – ETE - e, em se tratando de edifícios industriais, o esgoto – ou água negra – pode estar relacionado a outras substâncias, que não apenas sanitárias, mas também resultantes de processos industriais, como lavagem de frutas ou de produtos prontos. Como foi visto no capítulo da fundamentação teórica, existem alguns edifícios industriais, projetados e construídos durante a quarta revolução industrial, que possuem ETE própria e ali conseguem tratar todo o esgoto produzido, de forma sustentável e inovadora. A diretriz de reciclagem de subprodutos industriais também representa inovação e sustentabilidade para o edifício e para o local onde ele está inserido, seja para a comunidade ou para outras indústrias. Esta diretriz também é usada por algumas indústrias através de infraestrutura industrial, como tubulações ou centrais de reciclagem de subprodutos. Esta é a relação de número 18 no Quadro 7;

Algumas das diretrizes de ecologia industrial e de arquitetura industrial, além de não possuírem nenhum indicador específico BREEAM com o qual as relaciona, também não estão relacionadas ao objetivo de nenhuma das categorias BREEAM. Elas não estão na categoria inovação porque apesar de agregarem mais sustentabilidade para o edifício, não são tecnologias ou processos novos.

As diretrizes de coletividade representam tecnologias e processos que tornam o edifício e seu entorno mais sustentáveis e são seguidas em eco parques industriais desde a década de 60. A diretriz de infraestrutura de água e esgoto da ecologia industrial (**letra F**) está voltada para estações centrais de tratamento de água – água de reuso e pluvial – e de esgoto – doméstico e industrial –, que compartilham as tubulações entre os edifícios industriais ou entre um edifício industrial e a comunidade do seu entorno.

O compartilhamento de infraestrutura é considerado uma tecnologia sustentável por minimizar a quantidade de material despendido para isto, além das estações centrais, que representam diminuição de energia gasta e aumento da eficiência do processo. A diretriz de infraestrutura de aquecimento (**letra G**), não possui indicador específico do BREEAM para instalação e uso, sendo apresentada apenas como um exemplo de forma de aplicação do indicador de tecnologias de baixo carbono da categoria *Energia*, mas

representa aumento da sustentabilidade para o edifício e para a comunidade do seu entorno, uma vez que o aquecimento pode ser fornecido para ela, como ocorre em Kalundborg desde a década de 80.

A diretriz de troca de subprodutos entre indústrias e entre indústria e comunidade (**letra H**), também é considerada um processo que agrega sustentabilidade ao empreendimento, representando um dos princípios principais da ecologia industrial, esta diretriz possibilita o uso de materiais que seriam descartados, em outros processos, que podem ser industriais ou não, como a transferência de vapor d'água e calor resultantes de processos industriais para a comunidade, subprodutos. A diretriz de processos cíclicos de produção (**letra I**), quando recortada sob o viés da arquitetura, está relacionada à adaptação do edifício às trocas e à reciclagem de subprodutos e pode ser relacionada às diretrizes do conjunto de projeto, de Arquitetura Industrial, que engloba layout flexível, vãos livres e estrutura externa para conseguir se adaptar a diferentes processos produtivos.

Não existe indicador BREEAM para avaliar a flexibilidade do layout (**letra O**) das instalações industriais para adaptação de processos de produção (**letra R**) que se modificam rapidamente, como vãos livres (**letra P**) e a estrutura externa (**letra Q**), ainda que estas diretrizes venham sendo aprimoradas pela engenharia e pela arquitetura nos últimos 100 anos. Um edifício industrial adaptável a diferentes processos é considerado mais sustentável porque evita a necessidade da construção de novos edifícios ou de reformas para viabilidade da mudança, o que minimiza o uso de materiais e energia e os resíduos gerados.

Na diretriz de certificação e licenciamento ambiental, apesar de o processo de certificação ser considerado na categoria *Inovação*, o mesmo não ocorre com o processo de licenciamento ambiental (**letra M**), conforme foi dito anteriormente. No Brasil,

“o licenciamento ambiental é uma obrigação legal prévia à instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente e possui como uma de suas principais características a participação social na tomada de decisão, por meio da realização de audiências públicas como parte do processo”
(<http://www.ibama.gov.br/licenciamento>).

As principais diretrizes para execução do licenciamento ambiental estão expressas na Lei 6.938/81 e nas Resoluções CONAMA nº 001/86 e nº 237/97³⁷, que tratam sobre os critérios e as diretrizes para uso e

³⁷ Resoluções completas em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>

implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente e determinam que Distritos Industriais e Zonas Estritamente Industriais devem elaborar Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental a serem aprovados pelo IBAMA, além de estabelecerem critérios para gestão de resíduos. Estes processos e instrumentos são importantes ferramentas para garantia da sustentabilidade no meio construído.

A setorização da produção (**letra S**), colocada por Castells e Hall (2001) como o novo espaço industrial que engloba parques tecnológicos e industriais, representa aumento de sustentabilidade por possuir as características do local em que foi inserido, incluindo matérias primas, fontes de energia e meios de transporte, e, principalmente, por ser globalmente independente, como é o caso dos eco parques industriais. Indicada como forma de aplicação da ecologia industrial e colocada uma diretriz da arquitetura industrial da quarta revolução, não há indicador ou categoria BREEAM que possa lhe ser relacionada.

Portanto, são diretrizes que agregam mais ecologia à arquitetura industrial:

Tabela 14: Diretrizes que agregam mais ecologia à arquitetura industrial e que não estão (parcialmente/integralmente) no sistema BREEAM
(fonte: elaboração própria)

ENERGIA	Proximidade a fontes de energia
ÁGUA	Proximidade a fontes de água
	Reuso de água de processos industriais
VEGETAÇÃO	Implantação de corredores ecológicos
TRANSPORTE	Estudo, planejamento e implantação de infraestrutura viária coerente ao uso industrial
COLETIVIDADE	Infraestrutura de água e esgoto Tratamento de esgoto
	Infraestrutura de aquecimento
	Trocas de subprodutos
CONFORTO E ESTÉTICA	Processos cíclicos de produção
	Estética da paisagem Inserção do edifício no entorno
GESTÃO	Incidência solar
	Segurança no ambiente de trabalho
	Licenciamento ambiental

	Separação e coleta de resíduos
PROJETO DE ARQUITETURA	Layout flexível
	Vão livres
	Estrutura externa
	Adaptação a diferentes processos de produção
	Setorização da produção

Confirmando a hipótese

Alguns indicadores do BREEAM não possuem relação com as diretrizes propostas, pois tratam de questões técnicas específicas do edifício, como a contaminação macrobiana, o uso de compactadores de materiais reciclados, o uso do guia de construção e os compostos orgânicos voláteis. Os indicadores para área contaminada e espaço de escritório agregam mais sustentabilidade ao meio e poderiam estar presentes nas diretrizes de ecologia industrial e de arquitetura industrial.

De acordo com as comparações do quadro e a discussão realizada sobre elas, principalmente no assunto de inovação, existem diretrizes da ecologia industrial e da arquitetura industrial que agregariam mais sustentabilidade ao edifício e ao parque industrial. O sistema de certificação ambiental de edifícios industriais, BREEAM Industrial, é uma ferramenta útil, mas incompleta. Precisa evoluir para não apenas incorporar as questões mais holísticas e de relações em escala maior da Ecologia Industrial, mas para incorporar soluções clássicas da própria Arquitetura Industrial. Isto comprova a hipótese inicial da pesquisa de que a ecologia industrial é um conceito mais amplo em termos de sustentabilidade do que as certificações ambientais de edifícios industriais abrangem.

Pesquisas Futuras

Uma possível linha de continuação desta pesquisa é a expansão para diretrizes do meio urbano através da associação entre simbiose industrial e simbiose urbana, valendo-se do seguinte conceito publicado pela primeira vez por Berkel et al, em 2008:

“A simbiose urbana é aqui apresentada como uma extensão da simbiose industrial. Refere-se especificamente ao uso de subprodutos de cidades, como matérias-primas ou fontes alternativas de energia para uso nas operações industriais. Semelhante à simbiose industrial, a simbiose urbana é baseada na oportunidade sinérgica decorrente da proximidade geográfica das fontes de resíduos urbanos e dos potenciais usuários industriais através da transferência de recursos físicos (resíduos) para benefícios ambientais e econômicos” (BERKEL et al, 2008).

O autor escreve sobre um programa japonês denominado “Eco-Town”, que integra a simbiose industrial à simbiose urbana através de políticas públicas que incentivam a troca de matérias primas, subprodutos e resíduos, entre indústrias e as cidades das indústrias. A simbiose urbana é vista como uma ação que aumenta a sustentabilidade no meio urbano (BERKEL et al, 2008).

Em possíveis pesquisas futuras, a elaboração de diretrizes de planejamento urbano a partir da união entre simbiose industrial e urbana pode ser um caminho para aplicação destes conceitos em cidades brasileiras em desenvolvimento ou polos atrativos de indústrias.

6. Conclusões

Esta pesquisa esperou encontrar correlações entre o conceito de ecologia industrial e a arquitetura, principalmente no que diz respeito à sustentabilidade do edifício e de seu entorno. Como não existe manuais para eles, a ferramenta BREEAM foi usada como base de comparação através de seus indicadores de sustentabilidade para edifícios industriais. Através da revisão bibliográfica foi possível estabelecer as diretrizes de arquitetura industrial e de ecologia industrial que são usadas, tanto na construção de indústrias como na implantação de eco parques industriais.

Como foi visto no capítulo da discussão, a hipótese da pesquisa foi comprovada através do quadro comparativo entre as diretrizes de arquitetura e ecologia industrial e os indicadores BREEAM, mostrando que este sistema de certificação de edifícios industriais ainda precisa ser aprimorado para garantir a máxima sustentabilidade nas etapas de projeto, construção, manutenção e demolição ou reuso da indústria. Além disto, a comparação mostrou que a ecologia industrial, como ciência que é, apesar de possuir muitas diretrizes de implantação voltadas para a sustentabilidade do ambiente construído e seu entorno, não possui diretrizes específicas de arquitetura ou de urbanismo. E que, por outro lado, engenheiros e arquitetos que trabalham com empreendimentos industriais, apesar de possuírem diretrizes relacionadas ao conceito da ecologia industrial, também não são específicos ou sequer citam a referência deste conceito. Assim, é possível dizer que esta pesquisa conclui três afirmações a cerca da sustentabilidade em empreendimentos industriais.

A primeira é sobre a própria hipótese constatada: a certificação ambiental de edifícios industriais BREEAM, valendo lembrar que as demais certificações não possuem manuais específicos para indústrias, não apresenta importantes diretrizes de arquitetura e de ecologia industrial que aumentam a sustentabilidade do empreendimento. Portanto, um primeiro passo seria a incorporação das diretrizes faltantes, que constam na Tabela 14 desta pesquisa, no referencial BREEAM Industrial.

A segunda afirmação é em torno das diretrizes de arquitetura industrial. A falta de referência à ecologia industrial faz com que as relações estabelecidas no Quadro 7 sejam pouco embasadas, principalmente no que diz respeito aos processos industriais e aos ciclos de vida dos materiais e produtos, apesar de existirem e estarem diretamente relacionadas a este conceito. Também falta às diretrizes de arquitetura industrial incorporar questões mais urbanas, em escalas maiores do que o entorno imediato do edifício e que consideram mais seu impacto social. Para isto, seria necessário englobar as diretrizes de ecologia industrial já na fase do projeto de arquitetura.

A terceira afirmação está na aplicação das diretrizes de ecologia industrial. Tendo seu conceito embasado na ecologia, tem diretrizes voltadas para a interligação de cadeias produtivas e, portanto, as iniciativas de arquitetura, de desenho e planejamento urbano que contribuem para o processo são incluídas por poucos autores como diretrizes de implantação. Não há ligação direta com a arquitetura; as diretrizes que

se relacionam a ela parece serem citadas por uma questão de consequência da aplicação das diretrizes de ecologia industrial no território. Assim sendo, também é preciso que os praticantes de ecologia industrial se atentem às diretrizes de arquitetura e desenho urbano, além dos indicadores BREEAM, quando forem construir ou reformar edifícios ou eco parques industriais, a fim de garantir mais desempenho ao empreendimento.

Desta forma, se o primeiro passo é agregar as diretrizes da Tabela 14 no sistema BREEAM Industrial, o segundo passo é incentivar eco parques industriais a utilizarem esse processo em seu desenvolvimento, de forma a assegurar implantações industriais mais sustentáveis. Assim, não só a indústria e seu entorno se beneficiam, mas também toda a cidade, expandindo a simbiose industrial para a simbiose urbana.

Os conceitos de ecologia industrial e de certificação ambiental de edifícios industriais são muito novos e agora estão chegando a padrões mais racionais para o edifício, mas, no campo do planejamento urbano, as interações são muito complexas e sem ferramentais. Esta dissertação pode ser tida como um procedimento para não deixar o edifício tão isolado em termos de sustentabilidade.

7. Referências

- Agenda 21 Brasileira. **Bases para discussão**. W. Novaes (coord.). Brasília: MMA/PNUD, 2000.
- ANASTASIOU, Léa G. C. **Estratégias de Ensino**. In: ANASTASIOU, Léa G. C. Processos de Ensino na Universidade: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 3ª ed. Joinville, UNIVILLE, 2004.
- BENEVOLO, Leonardo. **História da cidade**. Ed. Perspectiva, São Paulo, 2009.
- BERKEL, Rene Van; FUGITA, Tsuyoshi; HASHIMOTO, Shizuka; GENG, Yong. **Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town program 1997–2006**. Journal of Environmental Management, 2008.
- BRADLEY, Betsy Hunter. **The Works – the industrial architecture of the United States**. Oxford University Press, Nova York, 1998.
- BRE - Environmental & Sustainability Standard. **BREEAM Industrial 2008 Assessor Manual**. 2009.
- BUCCI, Federico. **Albert Kahn: Architect of Ford**. Princeton Architectural Press, 2002.
- CAMAROTTO, João Alberto. **Estudo das relações entre o projeto do edifício industrial e a gestão da produção**. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- CARDOSO Júnior, Moacyr Machado. **Os desafios do engenheiro frente à segurança do trabalho**. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de Novembro de 2006
- CASTELLS, Manuel; HALL, Peter. **Tecnópolis del mundo: La formación de los complejos industriales Del siglo XXI**. Alianza Editorial, Madrid, 2001.
- CARMEL-ARTHUR, Judith. **Bauhaus**. Tradução: Luciano Machado. Cosac & Naify, São Paulo, 2001.
- CATERINO, Jennifer. **Green Industrial**. Architect – The AIA Magazine, ProQuest Central, Janeiro de 2011.
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – CSTB. **City-related Sustainability Indicators – CRISP**. Paris, 2003.
- CHERTOW, Marian R. **Industrial Symbiosis: a multi-firm approach to sustainability**. Greening of Industry Network Conference - Best Practice Proceedings, 1999
- CHERTOW, Marian R. **Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy**. Annu. Rev. Energy Environ, 2000
- COHEN-ROSENTHAL, Ed; MCGALLIARD, Tad; BELL, Michelle. **Designing Eco Industrial Parks – The North American Experience**. Disponível em <http://www.cfe.cornell.edu/WEI/design.html>, 2001.
- COLE, Raymond J. **Building Environmental Assessment Methods: A Measure of Success**. International Electronic Journal of construction, 2003.
- CORREIA, Dinorá Rocio Santos. **Arquitetura Industrial – o estudo de um tipo e sua transposição ao clima tropical quente úmido**. Tese de doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2010.
- COSTA, Márcio Macedo. **Princípios de Ecologia Industrial aplicados à Sustentabilidade Ambiental e aos Sistemas de Produção de Aço**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2002.
- COTÈ, Raymond e COHEN-ROSENTHAL, Ed. **Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences**. Journal of Cleaner Production, nº5, 1998.
- COTÈ, Raymond e HALL, J. **Industrial parks as ecosystems**. Journal of Cleaner Production, nº3, 1995.

COTÈ, Raymond; ELLISON, Robert; GRANT, Jill; HALL, Jeremy; KLYNSTRA, Peter; MARTIN, Michael; WADE, Peter. **Designing and operating industrial parks as ecosystem**. The industrial park as an ecosystem project, 1994.

DALBELO, Thalita S.; FREIRE, Rodrigo A; RUTKOWSKI, Emília W.; MONTEIRO, Evandro Z. **Conceitos, princípios e ferramentas para um ambiente urbano-industrial mais sustentável**. 3rd International Workshop – Advances in Cleaner Production – Cleaner Production initiatives and challenges for a sustainable world. São Paulo, 18 a 20 de maio de 2011. Disponível em http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5A/5/Dalbelo_TS%20-%20Paper%20-%205A5.pdf

DARLEY, Gillian. **La fábrica como arquitectura – facetas de la construcción industrial**. Estudos Universitarios de Arquitectura - Caderno 19. Barcelona, 2010.

DAUFENBACH, Karine. **A modernidade em Hans Broos**. Tese de doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. FAU-USP. São Paulo, 2010.

DOUGLAS, Ian; GOODE, David; HOUCK, Michael & WANG, Rusong. **The Routledge Handbook of Urban Ecology**. Routledge Handbooks, New York, 2011.

EHRENFELD, J. e CHERTOW, Marian R. **Industry ecology: the legacy of Kalundborg**. In AYRES, R. e AYRES, L. Handbook of Industrial Ecology. United Kingdom, 2002.

EPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Pollution Prevention in Iron and Steel Industry**. US EPA, Office of Research and Development, Washington, D.C, 1994.

ERKMAN, Suren e RAMASWAMY, Ramesh. **Industrial ecology: an introduction**. In GREEN, Ken e RANGLES, Sally - Industrial ecology and spaces of innovation, UK, 2006.

ERKMAN, Suren. **Industrial Ecology: a new perspective on the future of the industrial system**. President's lecture, Assemblée annuelle de la Société Suisse de Pneumologie, Genève, 30 mars 2001.

ERKMAN, Suren; FRANCIS, Colin; RAMASWAMY, Ramesh (Orgs.) **Ecologia industrial: uma agenda para a evolução no longo prazo do sistema industrial**. Cadernos de Proposições para o Século XXI, 12, São Paulo, Instituto Pólis, 2005.

EVANS, Steve; BERGENDAHL, Margareta; GREGORY, Mike; RYAN, Chris. **Towards a sustainable industrial system - With recommendations for education, research, industry and policy**. University of Cambridge Institute for Manufacturing, Department of Engineering, Cambridge, UK, 2009.

FARAH Júnior, Moisés Francisco. **A Terceira Revolução Industrial e o Novo Paradigma Produtivo: Algumas Considerações sobre o Desenvolvimento Industrial Brasileiro nos Anos 90**. FAE, Curitiba, v.3, n.2, p.45-61, maio/ago. 2000.

FRAGOMENI, Ana Luiza M. **Parques Industriais Ecológicos como instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental Cooperativa**. Tese de Mestrado. COOPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

FREITAS, Alexandre Mendes. **Seja bem vindo à quarta revolução industrial**. São Paulo, 2005. Artigo disponível em <http://www.supplychainonline.com.br/modules.php?name=News&file=article&sid=150>

FRIGÉRIO, E. **Arquitetura Industrial e Usuário**. São Paulo. Dissertação de Mestrado. FAU/USP, 1985.

FROSH R. A.; GALLOPOULOS N. **Strategies for Manufacturing**. Scientific American, 1989.

FURTADO, J. S. **Tecnologias Sustentáveis e Eco-inovação**. Programa de Gestão Estratégica Socioambiental / FIA-FEA-USP. São Paulo, 2005. Disponível em <<http://www.teclim.ufba.br/jsfurtado>>

- GIBBS, David; DEUTZ, Pauline. **Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development.** Journal of Cleaner Production, volume 15, 2007.
- GONZÁLEZ, Graciella Carrillo. **Una revisión de los principios de La Ecología Industrial.** Revista Nueva Epoca, nº 59, México, 2009.
- GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology and Sustainable Engineering.** Prentice Hall, 2010.
- GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology.** 1. ed .New Jersey: Prentice-Hall, 1995.
- GRUBE, O. W. **Construções para la Indústria: Selección Internacional.** 1a. edição Barcelona. GUSTAVO GILI, 1972.
- HALL, Peter. **Cidades do Amanhã - Uma história intelectual do planejamento e do projeto urbanos no século XX.** São Paulo, Perspectiva, 1995.
- HALLSWORTH, Kevin Robert. **Over here, the “Model” Factory and influence from the USA.** University of Lincoln, 2005.
- HART, Stuart e MILSTEINS, Mark. **Criando valor sustentável.** Revista Especial A.M.E. vol.3, nº2, maio/junho, 2004.
- HOWARD, Ebenezer. **Garden Cities of Tomorrow.** The MIT Press. 4ª ed. Cambridge - MA, 1972.
- International Organization for Standardization - ISO. **Environmental management - the ISO 14000 family of international standards.** 2002. Disponível em: <http://www.iso.ch>
- KAHN, M. K. and GWEE, S.H. **Plant layout to a medium volume manufacturing system using systematic techniques to form just-in-time manufacturing cells.** in: Proc. Instn. Mech. Engrs., part B, vol. 211, 1997
- KAPLAN, B.; MAXWELL, J.A. **Qualitative Research Methods for Evaluating Computer Information Systems.** In: Evaluating Health Care Information Systems: Methods and Applications, J.G. Anderson, C.E. Aydin and S.J. Jay (eds.), Sage, Thousand Oaks, CA, 1994.
- LECHNER, Norbert. **The Future of Architecture in a Warming World.** Palestra apresentada na conferência internacional *Sustainable Building Brazil 2010.* São Paulo, novembro de 2010.
- LIMA, Juliana Chaves Fontes. **Abordagens Industriais Ambientais: solucionar problemas de poluição ou buscar sustentabilidade ambiental?** Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, arquitetura e Urbanismo - UNICAMP. Campinas, 2008.
- LOMBERA, José-Tomás San-José e ROJO, Jesus Cuadrado. **Industrial building design stage based on a system approach to their environmental sustainability.** Journal of Construction and buildings materials, novembro de 2009.
- MELLO, Leonel Itaussu A.; COSTA, Luís César A. **História Moderna e Contemporânea.** Editora Scipione, São Paulo, 1999.
- MILLS, E. D. **The Modern Factory.** 1a. edição. London. Architectural Press, 1951.
- MIRATA, Murat e PEARCE, Richard. **Industrial symbiosis in the UK.** In GREEN, Ken e RANGLES, Sally: Industrial ecology and spaces of innovation. UK, 2006.
- MONTANER, J. M. **A modernidade superada.** Barcelona, 2001.
- MULLER, Jorg. **Alle Jahre Wieder Saust Der Presslufthammer Nieder Oder Die Veranderung Der Landschaft.** Zurich, 1983.

- MUNCE, J. F. **Industrial Architecture: an analysis of international building practice**. 1a. edição. New York. FW DODGE, 1960.
- MYERS, M. D. **Qualitative Research in Information Systems**. MIS Quarterly. MISQ Discovery, archival version, June 1997. Disponível em: <www.misq.org/misqd961/isworld/>.
- ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Rio de Janeiro, 1985.
- ORTIZ, Renato. **Mundialização e cultura**. São Paulo, 1994.
- PCSD – U. S. President’s Council on Sustainable Development. **Eco-industrial park workshop proceedings**. Washington - DC, 1997.
- PECK, J. S. W. **Industrial Ecology: from theories to practice**. Peck & Associates. Ontario, Canada, 2000.
- PEREIRA, A. S.; LIMA, J. C. F.; RUTKOWSKI, E. W. . **Ecologia Industrial no Brasil: uma discussão sobre as abordagens brasileiras de simbiose industrial**. In: IX Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2007, Curitiba/PR. Anais do IX Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2007a.
- PEREIRA, A. S.; LIMA, J. C. F.; RUTKOWSKI, E. W. . **Industrial Ecology, Production and Environment: a discussion about interconnectivity of production**. In: 1st International Workshop: Advances in Cleaner Production, 2007, São Paulo/SP. Proceedings of the 1st International Workshop on Advances in Cleaner Production. São Paulo, SP: Editora da UNIP, 2007b.
- PHILLIPS, Alan. **Arquitetura Industrial**. Ediciones G. Gili, S.A. de C.V., México, 1993.
- ROBERTS, Brian H. **The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study**. Journal of Cleaner Production, Volume 12, 2004.
- SANTOS, Ademir Pereira. **Arquitetura industrial**. São José dos Campos: Takano, 2006.
- SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo, 1996.
- SCHLARB, M. **Eco Industrial Development: a strategy for building sustainable communities**. U. S. Economic Development Administration, Work and Environment Initiative, Cornell University, 2001.
- SIEGEL, Sidney e CASTELLAN JR, N. John. **Estatística não paramétrica para ciência do comportamento**. Bookman Cia Ed. 2ª edição, 2006.
- SILVA, Vanessa G. **Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica**. In: Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Projeto Finep 2386/04. São Paulo, 2007.
- SILVA, Vanessa G.; SILVA, M. G.; AGOPYAN, V. **Avaliação de edifícios: definição de indicadores de sustentabilidade**. In: *III Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - ENECS 2003*. Anais. São Carlos - SP, 21-24 de setembro de 2003.
- SUZIGAN, Wilson. **Estado e industrialização no Brasil**. Revista de economia política, volume 8, nº4, 1988.
- TAGLIARI, Ana e GALLO, Haroldo. **O movimento inglês Arts & Crafts e a arquitetura norte-americana**. III Encontro de história da arte – IFCH/UNICAMP, 2007.
- TILLEY. D. R. **Industrial ecology and ecological engineering: opportunities for symbiosis**. Journal of Industrial Ecology. Volume 7, Issue 2, 2008.
- U.S. CONGRESS. **Pollution Prevention Act of 1990**. USC 42, Section 13106, Washington, D.C., 1990.

United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). **Agenda 21 - Program of Action for Sustainable Development: Rio Declaration on Environmental and Development**. United Nations Conference on Environment and Development, June 1992, Rio de Janeiro, Brazil. New York: United Nations, 1992.

VEIGA, Lilian B. E. **Diretrizes para a implantação de um Parque Industrial Ecológico: uma proposta para o PIE de Paracambi, RJ**. Tese de Doutorado. COOPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

VIEIRA, Luciane Alves; BARROS FILHO, Mauro N. **A emergência do conceito de Arquitetura Sustentável e os métodos de avaliação do desempenho ambiental de edificações**. *Humanæ* v.1, n.3, p. 1-26, Dez. 2009.

Worldwatch Institute of Washington. **Vital Signs 2005**. Washington, 2005.

XUEMEI, Bai e HEINZ Schandl. **Urban ecology and industrial ecology**. In Douglas et al. *The Routledge Handbook of Urban Ecology*. Routledge Handbooks, New York, 2011.

8. Bibliografia consultada

Agenda 21 para Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento. The international council for research and innovation in building and construction and united nations environment program. África do Sul, 2002.

ALVA, E. N. et al. **Metrópoles (in)sustentáveis.** Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

ANDERSON, Stanford. **Peter Behrens and a new architecture for the twentieth century.** Massachusetts institute of Technology. Londres, 2000.

AQUA – Alta Qualidade Ambiental. **Referencial técnico de certificação "Edifícios do setor de serviços - Processo AQUA".** Escritórios e Edifícios escolares – Parte IV – Terminologia © FCAV – Outubro 2007 - Versão 0.

AUERBACH, Jeffrey A. & HOFFENBERG, Peter H. **Britain, the empire, and the world at the Great Exhibition of 1851.** Ashgate Publishing, Ltd., 2008.

AUSUBEL, J. H. **Industrial ecology: actions on a colloquium.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 89, 1992.

AYRES, Robert e AYRES, Leslie. **Handbook of Industrial Ecology.** United Kingdom, 2002.

BASS, Leo. **Cleaner production and industrial ecosystems, a Dutch experience.** Journal of Cleaner Production, volume 6, 1998.

BERKEL, Rene Van; FUJITA, Tsuyoshi; HASHIMOTO, Shizuka; GENG, Young. **Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town program 1997–2006.** Journal of Environmental Management, volume 90, 2009.

BRUNDTLAND. CMMAD. **Nosso futuro comum.** Rio de Janeiro: Ed. FGV, 1991.

CHERTOW, Marian; ASHTON Weslyne; KUPPALLI, Radha. **The Industrial Symbiosis Research Symposium at Yale: Advancing the Study of Industry and Environment.** Yale F&ES Publication Series Report Number 3, 2004

CHOAY, Françoise. **O Urbanismo, utopias e realidade, uma antologia.** Tradução de Dafene Nascimento. Perspectiva: São Paulo, 1965.

COMMON, M.; STAGL, S. **Ecological economics: an introduction.** Cambridge: University Press, 2005.

DALBELO, Thalita S.; MONTEIRO, Evandro Z. **Projeto Troca de Saberes.** 3º Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável – SB10 Brasil. Novembro, 2010. Artigo disponível em <http://www.sbcs.net.br/>

DEMANTOVA, Graziella C. **As Redes Ambientais e a Sustentabilidade Urbana: diversidade e a conexão entre pessoas e lugares.** Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. FEC-UNICAMP. Campinas, SP. 2008.

FROSCHE, R. A. **Industrial ecology: a philosophical introduction.** PNAS – Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America. 3th Ed., Volume 89, 1992.

GENG, Yong; ZHANG, Pan; COTÈ, Raymond; FUJITA, Tsuyoshi. **Assessment of the National Eco-Industrial Park Standard for Promoting Industrial Symbiosis in China.** Journal of Industrial Ecology, Volume 13, 2008.

GREEN, Ken e RANGLES, Sally. **Industrial ecology and spaces of innovation.** UK, 2006.

GROPIUS, W. **Bauhaus: Nova arquitetura.** 3a. edição. São Paulo. Coleção Debates. PERSPECTIVA, 1977.

- HAKKINEN, T. **City-related Sustainability Indicators: State-of-the-art**. CRISP - Construction and City Related Sustainability Indicators, 2001. Disponível em <http://cic.vtt.fi/eco/crisp/state-of-the-art2.pdf>
- HARVEY, D. **Condição Pós-Moderna**. 1ª edição. São Paulo, 1993.
- HAWKES, Nigel. **Structures: The Way Things Are Built**. New York, 1993.
- HENN, Walter. **Edificaciones Industriales**. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1966.
- JAEGGI, Annemarie. **Fagus: industrial culture from Werkbund to Bauhaus**. Princeton Architectural Press, New York, 2000.
- LAMBERT, A. J. D.; BOONS, F. A. **Eco-industrial parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks**. Technovation 22, 2002.
- LOWE, Ernest A. e EVANS, Laurence K. **Industrial ecology and industrial ecosystems**. Journal of Cleaner Production, volume 3, nº 1-2, 1995.
- MAFFEI, W. **A Concepção Arquitetônica dos Edifícios Industriais**. São Paulo. Dissertação de Mestrado. FAU/USP, 1982.
- PURBRICK, Louise. **The great exhibition of 1851: new interdisciplinary essays**. Manchester University Press, 2001.
- RAMOS, Dawerson Paixão; SILVA, Ricardo Siloto da. **Urbanismo no início do século XX no Brasil**. Revista Ceciliana (Santos), v. 23, p. 67-77, 2005.
- RENNER, George T. **Geography of Industrial Localization** - Economic Geografy, 1947.
- SANCHEZ, Luis Enrique. **Desengenharia - o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- SELLITTO, Miguel A. E RIBEIRO, José Luis de. **Construção de indicadores para avaliação de conceitos intangíveis em sistemas produtivos**. Revista Gestão e Produção, v.11, n.1, p.75-90, 2004.
- STRATON, Michael. **Industrial Buildings – conservation and restoration**. Nova York, 2000.
- VILLAÇA, Flávio. **Espaço Intra-urbano no Brasil**. Studio Nobel: FAPESP, São Paulo, 2001.
- WINES, James. **Green Architecture**. Editora Taschen, 2000.

Sites consultados:

www.antigosverdeamarelo.blogspot.com.br

www.archiguide.free.fr
www.arcoweb.com.br
www.bauhaus.de
www.breeam.org
www.cbcs.org.br
www.conaccount.net
www.davidmellordesign.com
www.english-heritage.org.uk
www.environmentalleader.com
www.esfcastro.pt
www.gbcbrasil.org.br
www.greatbuildings.com
www.heber.co.uk
www.henn.com
www.ibama.gov.br/licenciamento
www.igus.eu
www.industryinform.co.uk
www.loebarquitectura.com.br
www.motorola.com
www.myfootprint.org
www.nga.gov/resources/dpa/.htm
www.pedrokok.com.br
www.richardrogers.co.uk
www.rolls-roycemotorcars.com
www.symbiosis.dk
www.thegreenguide.org.uk
www.usc.edu
www.usgbc.org
www.vanzolini.org.br
www.vitruvius.com.br
www.volkswagen.com
www.wiltshiretimes.co.uk

Anexo I

Example of a BREEAM Issue

Please note: this BREEAM issue has been edited for the purpose of demonstration.

Information box appears at the top of each BREEAM issue. Each issue has a unique ID and title.

This box indicates the total number of BREEAM credits available. These credits can be awarded if the assessed building complies with the assessment criteria.

This box states whether or not minimum standards apply to the BREEAM issue. Section 3.3 of the guidance details the specific minimum standards for each relevant BREEAM issue. For example, one of the two available credits for the Man 2 issue must be achieved to obtain an Excellent BREEAM rating.

Issue ID	Issue Title	No. of credits available	Minimum standards
Man 2	Considerate Constructors	2	Yes

The *Aim* describes the objective of the issue and the impact that the *Assessment Criteria* seeks to mitigate.

Aim
To recognise and encourage construction sites which are managed in an environmentally socially considerate and accountable manner.

Assessment Criteria
The following demonstrates compliance:

- The main contractor has complied with and achieved formal certification under the Considerate Constructors Scheme (CCS), credits awarded as follows: (see Checklist A2)
 - One credit where the contractor achieved a CCS Code of Considerate Practice score between 24 and 31.5.
 - Two credits where the contractor achieved a CCS Code of Considerate Practice score between 32 and 35.5.

The *Assessment Criteria* details the requirements that the assessed building must demonstrate compliance with for the available BREEAM credits to be awarded.

Occasionally publications and other standards will be referred to within the *Assessment Criteria* followed by a reference number. Full references to these publications are provided in section 17 of this document.

Exemplary level criteria
The following outlines the exemplary level criteria to achieve an innovation credit for this BREEAM issue:

- The main contractor has complied with and achieved a certified CCS Code of Considerate Practice score of 36 or more.

Some BREEAM issues have *Exemplary Level Criteria*. If the assessed building complies with the *Exemplary Level Criteria* an additional BREEAM credit can be awarded for Innovation. See section 13 *Innovation* for further detail.

Compliance notes	
Considerate Constructors score	No credits can be awarded for the Considerate Constructors Scheme where any of the sections within the scheme are less than 3, as this represents non-compliance with the CCS Code of Considerate Practice.
Alternative scheme	Where the project is using an alternative scheme to the CCS, alternative scheme and its assessment criteria must be approved against Checklist A2, NOT the project or its contractor.
Site clearance	The scope of this issue applies to the main contractor and the demolition and site clearance works. If the scope of the main contractor's works includes demolition and site clearance then this stage of work falls within the scope of the credit criteria.

Each BREEAM issue contains a *Compliance Notes* table. This table provides additional guidance on the application and interpretation of the *Assessment Criteria*.

Figura 45: Exemplo de detalhamento de um assunto BREEAM I

(fonte: BRE, 2009)

The *Schedule of Evidence Required* table describes the types of information that must be provided to the BREEAM assessor as evidence of the assessed building's compliance with the *Assessment Criteria*.

The *Schedule of Evidence* table is split in to two sections. The first details the type(s) of evidence required at the interim design stage of assessment. The second describes the type(s) of evidence required at the final post construction stage of assessment. The numbers in the table correspond to the numbered assessment criteria in the above sections.

Schedule of evidence required

Req.	Design Stage	Post Construction Stage
1	<p>A copy of the relevant section of the main contract specification confirming:</p> <ul style="list-style-type: none"> A requirement to comply with the CCS The minimum score to be achieved in each CCS section. <p>OR</p> <p>A formal letter from the client/developer confirming:</p> <ul style="list-style-type: none"> The main contract will include a clause requiring CCS certification The scope of the main contractor's works A completed copy of checklist A1. 	<p>A copy of the Considerate Constructors Scheme certificate of compliance.</p> <p>The Considerate Constructors Monitors report highlighting the total score and the sub scores in each section.</p>
Exemplary Credit		
1-2	<p>A formal letter from the main contractor confirming their commitment to:</p> <ul style="list-style-type: none"> Gaining CCS or equivalent certification A minimum score of ≥36 or equivalent. 	Evidence as outlined above for req.1.

Additional information

Relevant definitions

Considerate Constructors Scheme is a UK certification scheme that encourages the considerate management of construction sites. The scheme is operated by the Construction Confederation and points are awarded in increments of 0.5 over the following eight sections:

- Considerate
- Environmentally Aware
- Site Cleanliness
- Good Neighbour
- Respectful
- Safe
- Responsible
- Accountable

To achieve certification under the scheme a score of at least 24 is required.

www.considerateconstructorscheme.co.uk

The *Additional Information* section contains definitions of terms used in the *Assessment Criteria* and *Compliance Notes* section. This section will also contain further information relevant to the issue e.g. assessment guidance and relevant websites

Figura 46: Exemplo de detalhamento de um assunto BREEAM II

(fonte: BRE, 2009)