

Economia Circular no Setor da Construção Civil II – Sistemas construtivos mais circulares



fevereiro 2019

Estudos para uma Região RICA Resiliente, Inteligente, Circular e Atrativa



REPÚBLICA
PORTUGUESA

PLANEAMENTO
E INFRAESTRUTURAS



FICHA TÉCNICA

Título:

Economia Circular no Setor da Construção Civil II – Sistemas construtivos mais circulares

Coordenação CCDR LVT:

João Pereira Teixeira

Autoria / Equipa Interna:

Beatriz Konstantinovas

Nuno Ventura Bento

Teresa Sanches

Colaboração:

Gonçalo Rodrigues

Edição digital | fevereiro de 2019

Comissão de Coordenação e desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

Rua Alexandre Herculano, n.º 37, 1250-009 Lisboa

Tel. +351 21 383 71 00 | www.ccdr-lvt.pt | geral@ccdr-lvt.pt

ISBN: 978-972-8872-43-4

PREFÁCIO



Confirmado o peso económico, a importância regional, sub-regional e local das indústrias extrativas em estudos anteriores desenvolvidos pela CCDR LVT, colocou-se o desafio de, partindo dos princípios e repostas propostas pela Economia Circular, encontrar soluções que permitam, num curto espaço de tempo, reduzir significativamente o impacto ambiental (extração de recursos, pegada ecológica, e volume de resíduos não diferenciados e não tratados).

Uma das características centrais da Economia Circular é que apresenta, como soluções possíveis que podem ser combinadas, conceitos muito diversos para acelerar a transição para uma economia circular. Dos tradicionais três “Rs” das políticas de desenvolvimento sustentável, surgiram outros “Rs”, destinados a criar as condições para o ambiente de transição. Este último envolve uma mudança significativa em todas as linhas de atividade:

- Nas matérias-primas a utilizar, nomeadamente assegurando equilíbrios com a capacidade de regeneração do território;
- Na conceptualização do produto, nomeadamente no *design* e na standardização, orientado para o aumento do tempo de vida do produto e a sua reutilização;
- Nos processos de transformação, nomeadamente reduzindo o consumo de energia (ou a sua pegada), e os resíduos na produção, nomeadamente criando subprodutos;
- Nos modelos de negócio, nomeadamente apostando mais no serviço e na partilha, do que na compra e na utilização exclusiva e pontual do primeiro consumidor;
- Na redução do desperdício, aumentando a eficiência económica do consumidor, e permitindo às indústrias assentarem a resiliência da fracturação em novos mercados;
- Na recolha de materiais, comumente designados como resíduos, agora vistos para “matéria-prima”, incorporando esses materiais em novos processos orientados para o aproveitamento, para nova utilização, para novos produtos.

O trabalho em Economia Circular iniciado em 2015, tem como principais resultados a publicação “A Economia Circular como fator de resiliência e competitividade na região de Lisboa e Vale do Tejo” pelo Dr Paulo Lemos”, o artigo no Congresso da APDR “Economia

circular, metabolismo urbano no futuro do desenvolvimento regional: “mais do mesmo não serve”, o documento “Agenda Regional para a Economia Circular da RLVT”, o documento “Pilar Estratégico para o desenvolvimento da Economia Circular na RLVT” e os restantes estudos de investigação, complementares a este, nomeadamente “Economia Circular no Setor da Construção Civil I - Ciclo dos materiais”, “Economia Circular na Região de Lisboa e Vale do Tejo: Práticas e Orientações para as Autarquias”, “Economia Circular no Ordenamento do Território: Análise matricial para a Região de Lisboa e Vale do Tejo” e “Economia Circular na Região de Lisboa e Vale do Tejo: Fluxos do Metabolismo Regional”.

Acrescem a estes trabalhos, o documento “RLVT2030 - Para a Estratégia 2030 da Região de Lisboa e Vale do Tejo”, que apresenta um pensamento estratégico 2030 para a RLVT, e resulta de um processo envolvendo especialistas e entidades da Região, promovendo reflexões sucessivas e recolhas de visões globais, setoriais e restritas a unidades territoriais (envolvidos 42 especialistas como oradores, 172 entidades, com 38 entidades com contributos por escrito, e 395 presenças nas sessões de reflexão). Esse documento apresenta a Economia Circular como um dos dez pilares estratégicos, identificando áreas estratégicas e linhas de ação específicas para a sua concretização. Dentro desse leque de possibilidades, inspirados nas novas abordagens (os novos “Rs”) procuraram-se respostas para o setor da construção civil.

Agora, com mais clareza, é possível indicar um caminho que passa pela reconceptualização dos métodos construtivos, com materiais pouco utilizados e que, combinados pela engenharia, podem oferecer melhores comportamentos acústicos e térmicos, numa performance ambiental inacessível pela atual construção em alvenaria.

Este trabalho é fruto da cooperação entre a CCDR LVT e a FCSH NOVA. Grato por isso, importa dar registo da abertura e consequente apoio na prossecução deste trabalho da Professora Margarida Pereira e do Professor José Afonso Teixeira, permitindo, trabalho após trabalho, criar uma dinâmica e saber acumulado sobre estas temáticas.

João Pereira Teixeira
Presidente da CCDR LVT

Índice

1. Enquadramento.....	2
2. Contexto	5
3. Nova perspectiva construtiva.....	7
4. Sistemas construtivos.....	11
Sistemas construtivos em terra	11
Sistemas construtivos com blocos de betão de encaixe.....	13
Sistemas construtivos de betão pré-fabricado	14
Sistemas construtivos em madeira (<i>wood framing</i>).....	15
Sistemas construtivos em aço (<i>Light Steel Framing -LSF</i>).....	17
Construção com contentores de navio.....	19
5. Boas práticas	23
BedZed – Eco-Vila. Londres, Reino Unido.....	23
Hammarby Sjöstad: modelo de sustentabilidade. Estocolmo, Suécia.....	26
DysseKild. Copenhagem, Dinamarca	30
The Grove. Los Angeles, Califórnia, Estados Unidos da América.....	30
Karow Nord. Berlim, Alemanha	32
6. Mudança esperada.....	33
7. Considerações finais.....	36
8. Bibliografia	38

1. ENQUADRAMENTO

Encontram-se em rápido desenvolvimento transformações estruturais com foco na sustentabilidade dos setores económicos; cada vez mais, estas passam de apenas desejáveis para necessárias. Em particular, o setor da construção terá de sofrer uma profunda reestruturação para conseguir atingir circularidade e, conseqüentemente, a sustentabilidade desejada (World Economic Forum, 2016a). Este setor, que apresenta uma elevada dependência em matérias primas, uma assinalável produção de resíduos não reaproveitados na cadeia de valor, bem como uma ampla abrangência territorial e contínuo desenvolvimento, representa assim um setor relevante, com forte impacto para a economia de um país.

O setor da construção civil possui uma grande complexidade pela variedade de stakeholders e de segmentos ao longo de seu ciclo económico. Apresenta-se também de forma dispersa territorialmente, o que dificulta as atividades de gestão, fiscalização, entendimento e análise de seu desempenho no que respeita às questões ambientais (Mota, 2011).

Em relação ao segmento das extrações destinados à construção civil, foram extraídas, em 2016, em Portugal, aproximadamente 42 milhões de toneladas de minerais, o que equivale a 89,5% do peso total das extrações de minérios do país (DGEG, 2017). Com tamanha dependência de matérias primas, cultura construtiva predominantemente voltada para técnicas e materiais que na sua maioria dificultam o reuso e a reciclagem, e uma legislação e fiscalização com falhas visíveis, não é surpresa a quantidade importante de resíduos gerados, bem como a reduzida quantidade de resíduos reaproveitados no ciclo económico do setor.

Em consequência, em Portugal, a produção de resíduos de construção e demolição (RCD) constitui parte significativa da produção de resíduos no país, chegando a mais de 1,7 milhões de toneladas por ano. Deste número, 25 mil toneladas consistem em constituintes perigosos ou contaminados e, destes, apenas 7% são reciclados. Já a respeito dos RCD não perigosos 66% são encaminhados para revalorização porém, destes, a maior parcela é para armazenagem, ou seja, o material não é reintroduzido no ciclo económico por meio de reutilização ou reciclagem de forma imediata (PNGR, 2015).

Em termos nacionais, a demolição e a reabilitação de edifícios habitacionais geram resíduos que têm, em média, 90% de sua composição de agregados inertes, ou seja pedra, betão e mistura de agregados cerâmicos. Já nas novas construções de habitação este número cai para 83% enquanto que chega a 89% o valor no relativo às demolições de edifícios de serviços. Para obras públicas (nomeadamente estradas) a maior parcela de resíduos gerados (95%) fica com as misturas betuminosas (Coelho e Brito, 2012). A composição diversa dos materiais que constituem os RCD, juntamente com as suas diferentes características, dificultam a triagem, reduzindo o montante que pode ser destinado ao reuso e/ou reciclagem de forma eficaz. Tal facto fica evidente quando se verifica que a parcela mais expressiva declarada de RCD consiste na mistura de RCD, compondo 47% do total. A mistura de RCD apresenta problemas quanto a baixa desagregação material, ou seja, esta mistura geralmente é composta por resíduos de diferentes materiais que têm sua separação dificultada quer pela pequena dimensão de suas

partes misturadas ou por estarem fisicamente juntos, o que contribui também para uma má qualidade de triagem (APA, 2015).

Outra importante característica do setor é a constituição de *stock* no seu ciclo, ou seja, neste caso, as novas construções, aumentam o volume deste *stock* continuamente. Esta particularidade obriga a opções de gestão do *stock* para que a manutenção necessária do mesmo seja também a melhor possível.

O diagrama seguinte foi (fig. 1) construído a partir do panorama nacional, com dados existentes para o ano de 2016 e apresenta uma visão geral sobre o setor em questão.

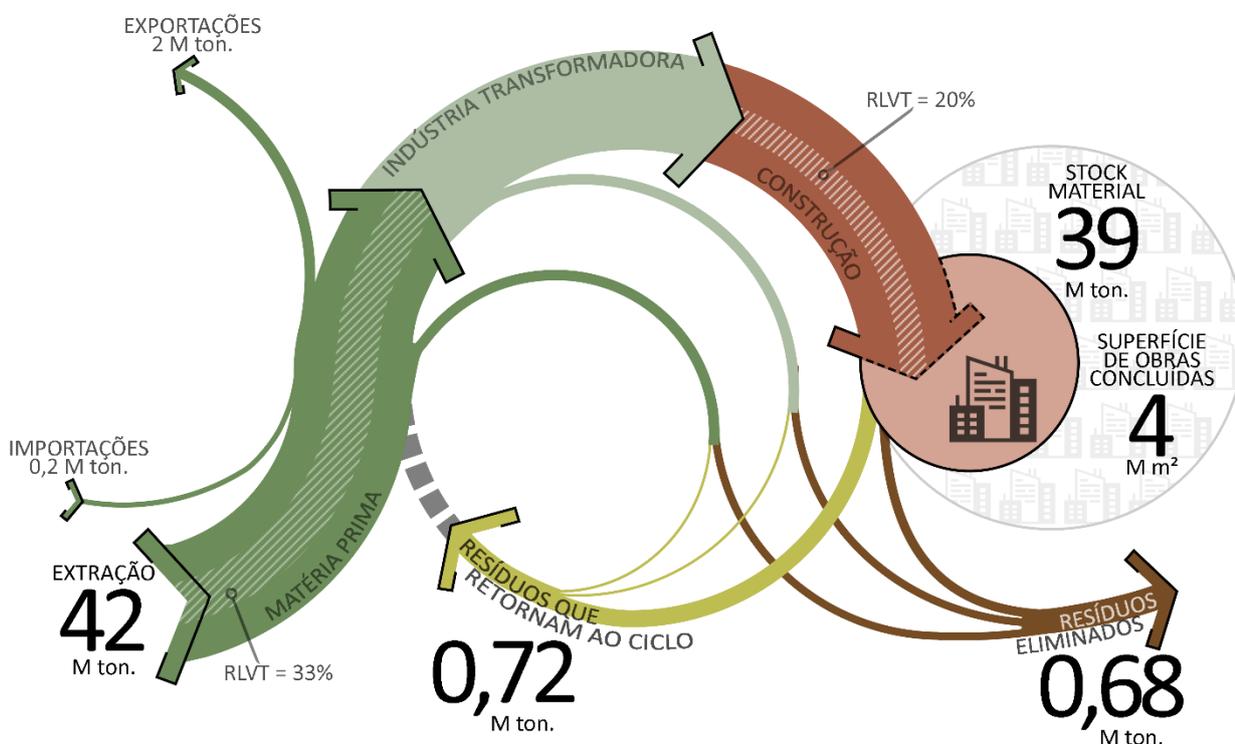


Figura 1: Diagrama geral do setor da Construção Civil em Portugal / peso da RLVT, ano 2016

Fonte: Kontantinovas (2018).

O ciclo inicia-se com o segmento das extrações, sendo este o de maior volume, que mostra a dependência de matérias primas extraídas nacionalmente e a fraca expressão das exportações e importações. O metabolismo do setor é visivelmente lento pela grande acumulação de *stock* – que neste diagrama representa o valor acumulado do ano de 2016, o que significa que, por ano, uma quantidade semelhante a esta é acrescida ao seu volume total. Constata-se igualmente outra problemática no valor real dos resíduos – que, para além do representado, pode ter grande variação em função da legislação, fiscalização e controle sobre seu volume, bem como a inexistência ou não fiabilidade dos dados. Também se verifica o ciclo “invisível” que constitui o *stock* gerado, por ser dinâmico devido ao crescimento ininterrupto e grande dimensão em volume, valores e extensão territorial.

Decorrente da forma como está estruturado o modelo económico do setor é possível ressaltar os seguintes constrangimentos para a circularização que constituem desafios a serem superados (tabela 1).

Inexistência e indisponibilidade de dados	Dificuldade de integração e coordenação entre atores	Dificuldade de interpretação no diploma pertinente	Baixa divulgação de informações e apoio aos atores	Inexistente ou fraca monitorização, fiscalização e prevenção
Dificuldade na triagem de resíduos	Baixo custo de extração e deposição em aterro	Baixa internalização de custos na reutilização de material	Fraca adesão do mercado consumidor	Limitação de recursos materiais

Tabela 1: Constrangimentos do setor da construção civil

Fonte: Konstantinovas, 2018.

2. CONTEXTO

São vários os acordos internacionais que estabelecem metas e planos direcionados para alcançar a melhoria dos setores económicos, e em particular, o da construção civil, relativamente ao meio ambiente.

A nível Internacional, refiram-se os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (UN, 2018), nomeadamente o objetivo 12: “Produção e Consumo Sustentáveis – Garantir Padrões de Consumo e de Produção Sustentáveis” – este objetivo tem como alvo garantir o uso eficiente de recursos naturais pela gestão sustentável, bem como reduzir a produção de resíduos até 2030. O Acordo de Paris também apresenta a economia circular como uma questão chave para a redução de emissões de GEE (Pereira, 2015).

Dentro do setor da construção civil, os RCD foram considerados de extrema importância, sendo os seus fluxos tratados como prioritários pela União Europeia. A política de resíduos da UE, em particular na Diretiva-Quadro “Resíduos” (2008/98/CE), estabelece a meta de atingir a valorização de 70% dos RCD até 2020 bem como obriga os Estados-Membro à elaboração de Planos para a gestão de resíduos. Tal diretiva foi transposta nacionalmente pelo Decreto-Lei nº 73/2011, de 17 de junho (APA, 2015).

Em Portugal, a Diretiva nº91/689/CEE, do Conselho, de 12 de dezembro estabeleceu que fosse elaborado o Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR) dentro do qual estão concretizados instrumentos próprios para a gestão de resíduos de fluxos específicos, ou seja, resíduos que constituem um fluxo que apresenta características próprias que exigem uma gestão diferenciada, específica para cada fluxo, que é o caso dos RCD, enquadrado pelo Decreto-Lei nº 46/2008, de 12 de março (PNGR, 2014). Este Decreto-Lei tem como objetivo principal criar condições legais para a gestão dos RCD visando a sua prevenção (tanto em produção como em perigosidade) de produção, bem como na garantia de condições de reutilização, recolha e transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação (Decreto-Lei nº 46/2008, de 12 de março). Tais práticas e métodos a adotar nas diferentes fases de projeto e execução de uma obra estão também previstas como obrigatórias no Código dos Contratos Públicos e no Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação (RJUE), sempre priorizando o sentido da pirâmide de preferência nas operações para os RCD (figura 2).



Figura 2: Hierarquia de tratamento de gestão de resíduos
Fonte: Konstantinovas, 2018

A nível europeu refira-se a estratégia Europa 2020, dentro da qual o programa Horizonte 2020 se encaixa, sendo este um dos maiores instrumentos da União Europeia direcionado ao apoio e cofinanciamento da investigação, e dentro do qual se destaca a área prioritária de investimento para projetos voltados a economia circular.

Este panorama traduziu-se nacionalmente com o Plano de Ação para Economia Circular (PAEC), dividindo-se em escalas macro - nacional -, meso - escala setorial para a elaboração de agendas específicas para cada setor económico - e micro, voltada ao âmbito territorial local.

3. NOVA PERSPECTIVA CONSTRUTIVA

Dentro do que diz respeito ao ciclo construtivo da construção civil, a EC pode ser aplicada em diversos segmentos para a melhoria do setor como um todo. Na tabela 2 podemos perceber o envolvimento possível de cada segmento do setor, desde aspectos relacionados ao design do produto até seu fim de vida. Fica, pois, evidente a necessidade dos esforços do setor serem feitos em conjunto, já que a mudança em apenas um de seus segmentos do ciclo de vida não é suficiente.

Aspectos da economia circular ao longo do ciclo de vida de um edifício	
Estágio do ciclo de vida	Aspecto da Economia Circular
Design	DfD – <i>Design for Disassembly</i> – Design para desmontagem Design para adaptabilidade e flexibilidade Design para padronização e reutilização Projetar sem desperdício Design em modularidade Especificação de materiais recuperados Especificação de materiais reciclados
Fabricação e fornecimento	Princípios de design ecológico Usar menos materiais / otimizar o uso de materiais Usar materiais menos perigosos Aumentar a vida útil Design para desmontagem de produtos Design para padronização de produtos Usar materiais secundários Esquemas de recuperação Lógica reversa
Construção	Minimizar o desperdício Procurar usar materiais reutilizados Procurar usar materiais reciclados Construção fora do local de obra
Em uso e renovação	Minimizar o desperdício Manutenção mínima Reparo e atualização fáceis Adaptabilidade Flexibilidade para reutilização
Fim de vida	Desconstrução Demolição seletiva Reutilização de produtos e componentes Reciclagem em circuito fechado Reciclagem de circuito aberto
Todos os estágios:	Gestão de informações, incluindo métricas e conjuntos de dados.

Tabela 2: Aspectos da economia circular ao longo do ciclo de vida de um edifício.

Fonte: Adams et al (2017). Tradução da autora.

No que diz respeito a Portugal, os sistemas construtivos mais utilizados são baseados em alvenaria e betão armado. Os resíduos gerados nestes tipos de construções apresentam sua maior parte em materiais inertes (isto é, pedra, betão e misturas de agregados cerâmicos), seja em operações de demolição, reabilitação ou construção de novos edifícios de habitação e

serviço (Coelho e Brito, 2012). No panorama atual, é alta a produção de resíduos em toda a cadeia de valor e é baixa a desagregação dos materiais em fim de vida, fatores que dificultam o reuso ou reciclagem dos subprodutos gerados configurando, portanto, uma alta dependência de novas extrações, tais características vão de encontro com os princípios da economia circular dentro da cadeia de valor da construção. Como exemplo, na figura 3, são explicitados os *inner cycles*, ou seja, os ciclos menores que podem ser estabelecidos dentro do setor para que este se torne mais circular.

Princípios da economia circular na cadeia de valor da construção

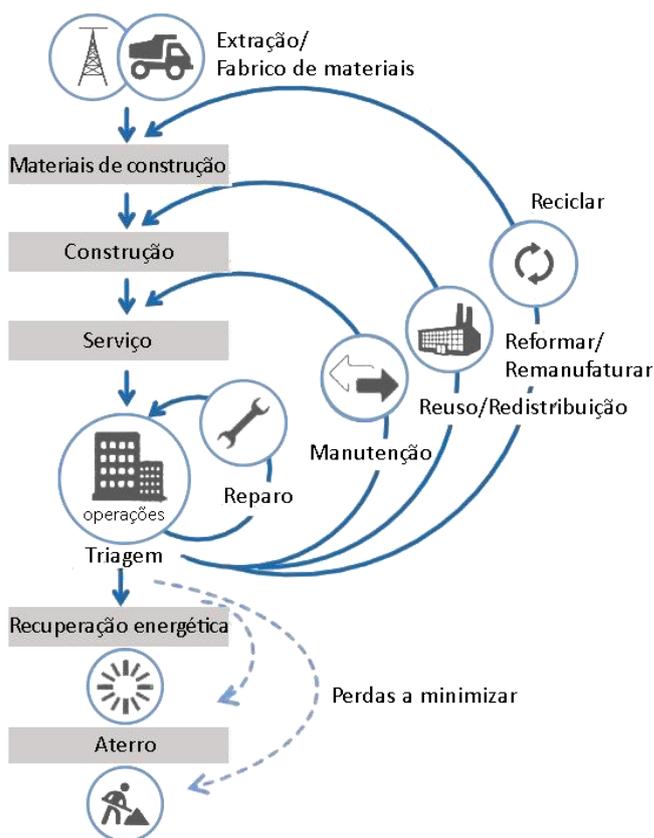


Figura 3: Princípios da economia circular na cadeia de valor da construção
 Fonte: World Economic Forum (2016b)

Assim, para que seja possível o alcance de metas mais ousadas – e necessárias – para a circularização plena do setor, é importante pensar a médio e longo prazo numa transição que vá além de medidas dentro do cenário exposto, mas também a montante deste, com alteração dos próprios sistemas construtivos utilizados.

Dessa maneira, é importante procurar novas soluções de construção que permitam, de maneira mais simplificada (e também não tóxica) processos de desconstrução e reuso para que os materiais permaneçam cada vez mais tempo no interior do ciclo de domínio do ambiente da construção (figura 4), isto é, sem a dependência de materiais extraídos e sem a produção significativa de resíduos, principalmente os depositados em aterro. A aplicação destes princípios permitiria um metabolismo do setor baseado cada vez mais em ciclos internos e de menores dimensões, com fluxos de entradas e saídas apenas residuais.

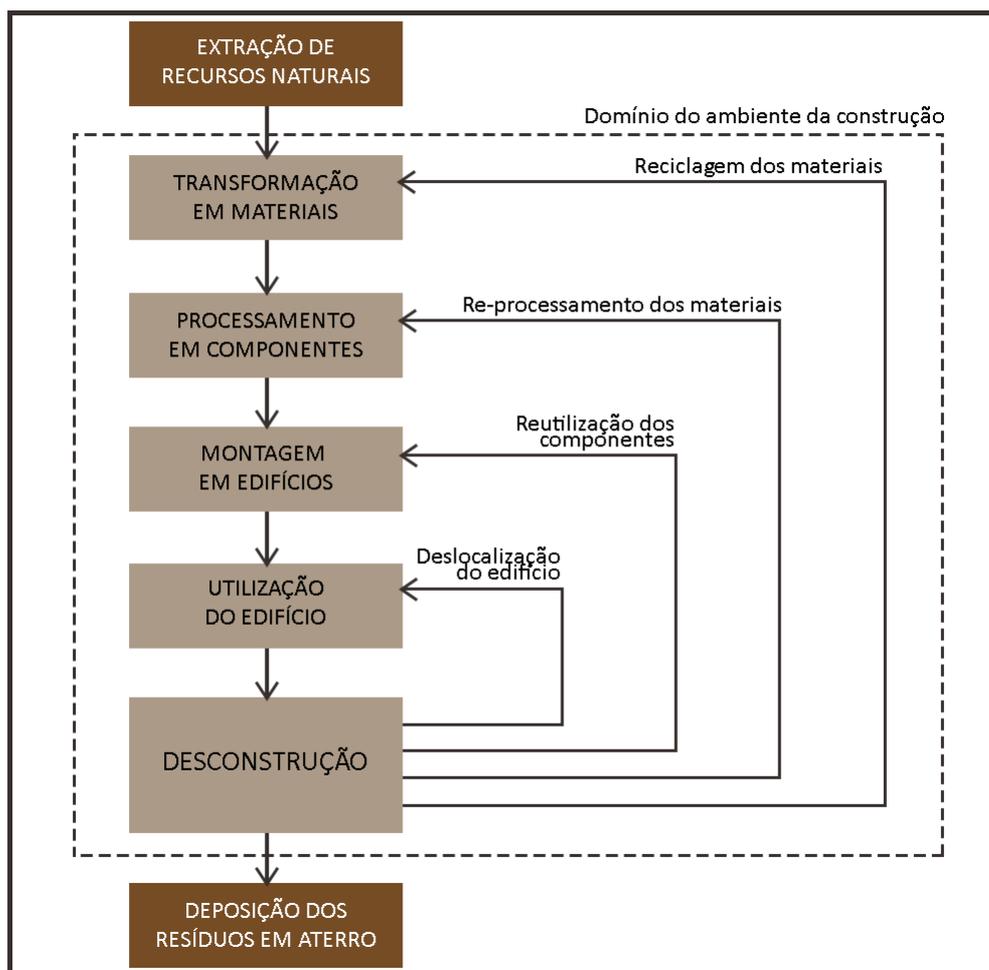


Figura 4: Cenários possíveis para a recuperação de materiais no ambiente construído
Fonte: Crowther, 2000.

Para tal, os novos sistemas construtivos têm de apresentar características relativas a melhorias na capacidade de reciclagem mas principalmente no que respeita à reutilização de componentes.

No relativo a estratégias de reciclagem, seguem-se pontos de relevo, segundo Couto *et al.*, 2006:

- Uso de materiais reciclados: incentivar investigações por parte da indústria e governo;
- Reduzir a quantidade de diferentes materiais utilizados em conjunto para facilitação da gestão, transporte e posterior separação;
- Reduzir o uso de materiais tóxicos ou nocivos: potencial de contaminação menor para os materiais não tóxicos/nocivos e o risco para a saúde humana;
- Conceção material/montagem com distinção de potencial de aproveitamento: não “contaminar” materiais com alto potencial com os de baixo potencial e desagregação, para não perder o potencial de nenhum (por exemplo, evitando materiais de acabamentos secundários e revestimentos, quando possível utilizando, em alternativa, acabamentos mecanicamente conectados).
- Identificar materiais para facilitar a futura organização e separação;

- Uso de conexões mecânicas e não químicas: facilita a desagregação e diminui contaminações e possíveis danos nos componentes construtivos. Quanto não for possível, utilização de ligações químicas mais fracas que os componentes, para permitir a desagregação com menores danos.

No relativo a estratégias para reutilização, cite-se, também, segundo Couto et al., 2006:

- Sistema de construção “*open space*”: parte interna dos edifícios livres para possibilidade de remodelação com desmontagem de divisões e compartimentos sem produção de resíduos e com pouco trabalho de demolição/construção;
- Dar preferência a sistemas que não necessitem de tecnologias, equipamentos e mão de obra específicos: facilita a desmontagem adequada sem maiores dificuldades e, conseqüentemente, o reuso de componentes;
- Usar sistemas que apresentem independência na desmontagem, por exemplo, entre estrutura, paredes internas e revestimento;
- Padronização de conectores: facilitar e acelerar a desmontagem, sendo menos necessários ferramentas e equipamentos;
- Hierarquia de desmontagem e esperança de vida dos componentes: utilizar componentes com esperança de vida inversamente proporcional à facilidade de acesso da zona de aplicação a desmontagem;
- Difundir a padronização dos materiais e componentes (melhor se for a nível internacional): aumenta a possibilidade de construção de bancos para depósito e comercialização dos mesmos;
- Preferir sistemas construtivos modulares e que permitam a desconstrução: facilitam a racionalização das construções e reuso dos materiais mesmo que para diferentes usos.

4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Perante a análise do panorama construtivo atual do país e as novas possibilidades de sistemas construtivos, à luz das questões pontuadas anteriormente, propõe-se cinco opções alternativas para a reconceptualização do setor. Todas apresentam vantagens construtivas, seja sobre os fluxos de materiais utilizados ou sobre subprodutos gerados, com maior ou menor impacto global, dependendo também da zona geográfica onde são aplicadas.

Sistemas construtivos em terra

A construção em terra, uma das mais antigas formas de construção do mundo, pode ser realizada através da técnica de taipa, adobe, superadobe, dependendo da obra a ser feita.

Sistemas construtivos em terra	Prós	Contras
	Baixo custo do material	Tempo de construção- demorado
	Proporciona ambiente interno de qualidade (umidade saudável e constante e material não tóxico)	Falta de padronização
	Bom isolamento termo acústico	Necessita de cuidado com contato com água e geada
	Baixo uso de energia para transporte e manuseio	Falta de aceitabilidade pelos consumidores
	Material reciclável	Restrição de altura/estrutural
	Não susceptível a fungos e insetos	Necessita mão de obra especializada
	Baixa manutenção	Não possibilita desconstrução controlada
	Alta durabilidade	
	Seguro contra incêndios	

Como exemplo da aplicação deste sistema construtivo tem-se a *21st Century Vernacular House* (fig. 5, 6 e 7). Construída em Ayerbe, Espanha pelo arquiteto Angels Castellarnau Visus e vencedora do Terra Award, na categoria de habitação individual. A construção foi analisada em relação ao seu ciclo de vida e mostrou 50% menos emissões de CO₂, já que os materiais utilizados (80% do peso equivale a pedras, terra e palha) são quilómetro zero, ou seja, não sofreram deslocamento significativo para seu uso na obra (Edra Arquitectura, s/d). A construção, por ter sido realizada em meio rural, fornece ainda vantagens quanto a obtenção do material terra em detrimentos de outros industrializados/processados e tem o intuito de sensibilizar a população local para as qualidades e vantagens de se optar pela terra como material de construção.



Figuras 5, 6 e 7: 21st Century Vernacular House.
Fonte: Edra Arquitectura, s/d.

Outro exemplo é o projeto do conjunto habitacional dos arquitetos Mauricio Sanchez e Juan Pablo Urbina em Cota (fig. 8 e 9), na Colômbia, que utilizaram blocos de terra comprimida (BTC) que foram fabricados *in loco*, de maneira que também tiveram uma redução considerável em relação às emissões de CO2 durante a construção (Archdaily, 2016 e Terra Award, 2016).



Figuras 8 e 9: Conjunto habitacional em Cota.
Fonte: Archdaily, 2016 e Terra Award, 2016.

Sistemas construtivos com blocos de betão de encaixe

Este sistema apresenta qualidades que permitem a construção rápida e sem necessidade de mão de obra especializada, bem como a utilização de materiais reciclados na sua composição. Os blocos de betão de encaixe são vistos como uma solução possível, principalmente tratando-se de obras pequenas e replicadas em larga escala, como residências sociais.

O produto referência para este sistema construtivo é o da ARMO systems (fig. 10, 11 e 12), uma empresa mexicana que desenvolveu o sistema de encaixe em formato de ômega. A finalidade é aliar a construção sustentável com a melhoria do processo de construção de casas voltadas para residência social, inclusive permitindo a autoconstrução com menor necessidade de acompanhamento de mão de obra especializada. Apresenta, porém uma restrição, na resistência do modelo estrutural em altura para construção. Assim, formas de aplicação em conjunto com outros sistemas estruturais podem ser uma alternativa (ARMO, s/d).

Sistema construtivo com blocos de concreto de encaixe	Prós	Contras
	Menor tempo de construção	Material não reutilizável directamente
	Blocos padronizados	Material reciclável apenas em downcycling
	Não necessita de aglutinantes como argamassa	Necessidade de extração de material virgem
	Não necessita mão de obra especializada	
	Necessita pouca água no canteiro de obras	
	Produzido com material reciclado	
	Reduz custo global da obra	



Figuras 10, 11 e 12: Sistemas construtivos com blocos de betão de encaixe.
Fonte: Armo, s/d.

Esta solução pode apresentar uma melhoria substancial no setor, como citado anteriormente com relação ao uso de materiais reciclados para confecção dos blocos, mais rapidez nas obras e não ser necessária mão de obra especializada, porém parte de materiais já largamente utilizados no panorama atual do setor da construção, o betão. Apesar de trazer melhorias ao ciclo em relação às alternativas convencionais, não permite uma ampla e profunda reconceptualização do ciclo de maneira global.

Sistemas construtivos de betão pré-fabricado

Assim como na alternativa vista anteriormente, esta proposta apresenta uma nova forma de uso de materiais já amplamente utilizados no panorama atual do setor, apesar de ser uma forma construtiva que gera menos resíduos, com parâmetros modulares, a permitir uma construção mais racionalizada, rápida e limpa.

Betão pré fabricado	Prós	Contras
	Sistema modular	Gasto maior com transporte (e emissões GEE)
	Obra mais rápida	Muito baixa possibilidade de reuso
	Facilidade de ampliação no futuro - compatibilidade de produtos	Interdependência de subsistemas
	Menor custo global da obra	Necessita mão de obra especializada
	Obra racionalizada, menos resíduos produzidos	
	Permite uso de matéria prima reciclada	
	Maior ciclo de vida	

O betão pré fabricado traz diversas possibilidades para as construções, seja em que escala for. Como exemplo refira-se a Casa em Collonges (fig. 13 e 14) do escritório suíço Pierre-Alain Dupraz Architects, que foi construída a partir de módulos em caixa pré fabricados, resultando numa casa única e adaptada às condições locais (Delaqua, 2012). Noutra escala, refira-se a escola estadual Telêmaco Melges (fig. 15 e 16) realizada em betão pré moldado (fabricação in loco), pelo escritório brasileiro UNA Arquitetos (Fracalossi, 2001).



Figuras 13 e 14: Casa em Collonges.
Fonte: Delaqua, 2012



Figuras 15 e 16: Escola Estadual Telêmaco Melges.
Fontes: Fracalossi, 2001.

Sistemas construtivos em madeira (*wood framing*)

Outro sistema construtivo baseia-se na madeira. Este sofreu ao longo dos anos diversas mudanças e influência de novas tecnologias que permitiram a sua evolução na estrutura, resistência à intempéries e racionalização de uso do material.

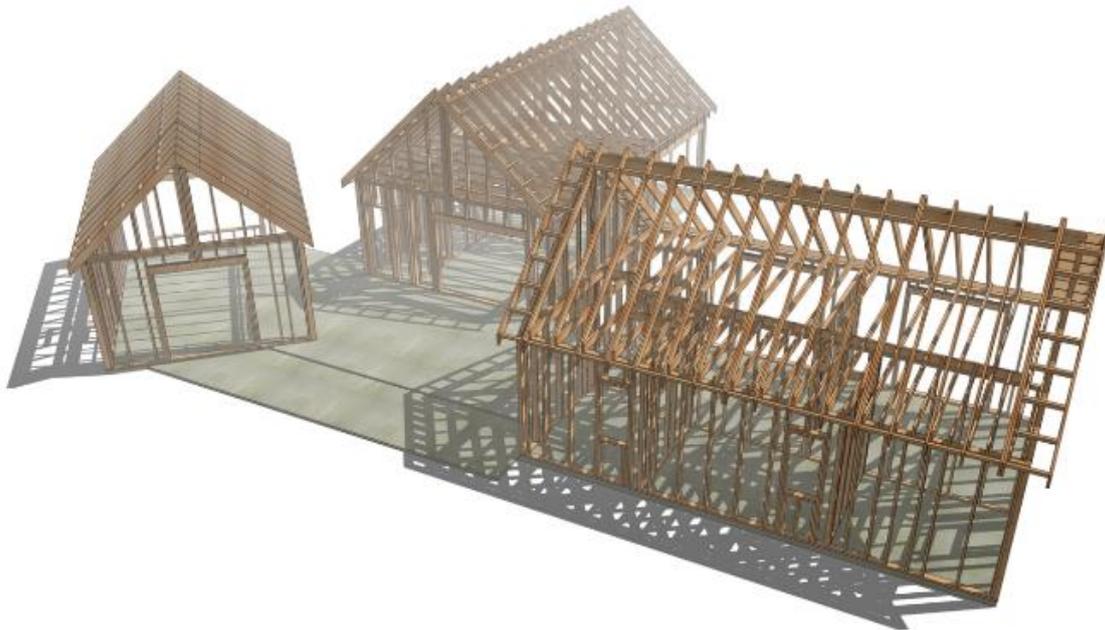
Sistemas construtivos que utilizam madeira têm que ter em conta dificuldades relativas aos tratamentos contra insetos, fungos e humidade, optando por alternativas não tóxicas nem para o meio ambiente nem para o ambiente interno das construções. Nesse particular também é preciso cuidado com a escolha de fechamentos ou isolantes térmicos que possam ter material nocivo na sua composição. Hoje já existem soluções menos agressivas e até mesmo naturais para estes problemas.

Sobre o sistema específico de Wood Frame, em que são usados perfis em madeira para construir “quadros” de peso leve com função estrutural, existem vantagens que permitem um processo de construção modular e conseqüente desconstrução controlada, entre outras.

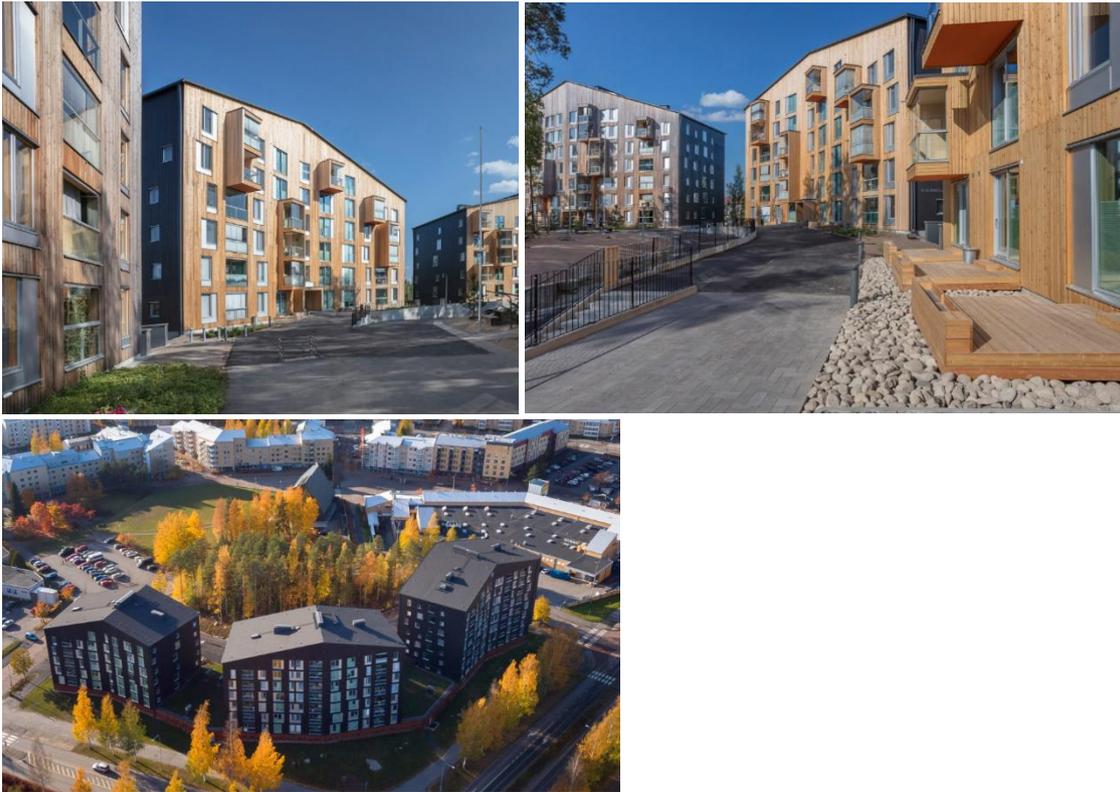
	Prós	Contras
Wood Framing	Reuso de materiais	Aspecto construtivo (resistência do mercado consumidor)
	Permite reciclagem de materiais - downcycling	Possíveis problemas de fungos, insetos e umidade
	Matéria prima renovável	Restrição de altura na construção (estrutural)
	Menor consumo de água em obra - construção seca	Necessita cuidado com químicos para tratamento da madeira
	Menor emissões CO2	Necessita mão de obra especializada
	Rapidez na obra - construção racionalizada	
	Flexibilidade no projeto	
	Possibilita desconstrução controlada	

Como exemplos refira-se a Casa Villa (fig. 17, 18 e 19), do escritório brasileiro de arquitetura Arquea, onde foram aplicados diferentes materiais de fechamento para a estrutura em wood frame, o que mostra também a versatilidade neste ponto do sistema construtivo. Ressalte-se apenas a necessidade de cuidado para a melhor escolha de material e isolante térmico para opções que causem menor impacto no ambiente (Casa Vila, 2014).

Em maior escala refira-se, como exemplo, o projeto Puukuokka Housing Block (fig. 20, 21 e 22), do escritório Finlandês OOPEAA. A obra conta com três edifícios de seis a oito andares de apartamentos residenciais em Jyväskylä, subúrbio de Kuokkala. Este projeto combinou o uso de wood frame com *cross laminated timber* (CLT) o que permitiu uma construção com maior dimensão em altura, mostrando a possibilidade e potencial em serem utilizados em conjunto mais de uma solução a partir do mesmo tipo de matéria prima (OOPEAA, s/d).



Figuras 17, 18 e 19: Casa Vila.
Fonte: Casa Vila, 2014



Figuras: 20, 21 e 22: Puukuokka Housing Block.
Fonte: OOEAA, s/d.

Sistemas construtivos em aço (*Light Steel Framing -LSF*)

Os sistemas construtivos em aço já são vastamente utilizados na construção civil, tendo já sido aplicados em construções, principalmente, de maior escala e industriais. O LSF traz ainda novas vantagens para o uso do material, aumentando o seu rendimento, reduzindo o seu peso e possibilitando novos resultados/soluções. O seu processo de construção assemelha-se ao wood frame, com a substituição dos perfis de madeira pelos de aço. Ressalte-se novamente o cuidado necessário para as possibilidades de fechamentos e isolantes térmicos, para qual já existem opções mais sustentáveis. Como exemplo para alternativa de fechamento, refira-se os painéis de madeira em *oriented strand board* (OSB) e para os isolantes térmicos os produtos a partir de fibra de coco, algas, typha (planta aquática), aglomerados de cortiça, argila expandida, etc.

Outro ponto que importa salientar é a necessidade de extração de matéria prima para sua utilização. No entanto, tendo em vista a possibilidade de reuso e/ou reciclagem sem perda de qualidade que o aço permite, percebe-se que tendencialmente esta necessidade de extração pode ser suprida pelo *inner circle* de reuso e reciclagem.

	Prós	Contras
Light Steel Framing	Alta possibilidade de reuso de materiais	Aspecto construtivo (resistência do mercado consumidor)
	Alta possibilidade de reciclagem de materiais sem perda de qualidade - e com menos uso de energia	Cuidado com sub sistemas (fechamento, isolamento térmico) para não serem nocivos e/ou não recicláveis/biodegradáveis
	Rapidez da obra	Requer mão de obra mais qualificada
	Construção seca e racional - muito pouco resíduo gerado	
	Adaptabilidade e flexibilidade ao projeto	
	Possibilidade de construção modulada	
	Leveza (e conseqüente redução de custo da fundação - comparado com alvenaria)	
	Alta durabilidade estrutural	
	Possibilita desconstrução controlada	
	Ganho em área útil (4 a 5% comparando com alvenaria, pois a espessura das paredes é menor)	
	Facilidade de passagem e manutenção de instalações (elétrica, hidrosanitária, gás etc)	
	Elevada performance de resistência ao fogo	
	Muito bom comportamento anti sísmico	

A residência VV localizada em Naranjo, Costa Rica, projetada pelo escritório costa riquenho de arquitetura 10°85°Arquitectura traz a solução em *light steel frame* mesclada com estrutura em aço, para possibilitar maiores vãos nos fechamentos, áreas de iluminação natural e ventilação cruzada (VV Residence, 2018).



Figuras 23 e 24: VV Residence.
Fonte: VV Residence, 2018

Em maior escala, refira-se o projeto em aço e *steel frame* feito para Kumport Port Services, pelo escritório de arquitetura Turco KG Mimarlık, em Istanbul, Turquia. Um edifício de dois blocos com três pavimentos ao serviço da empresa (Kumport, 2018).



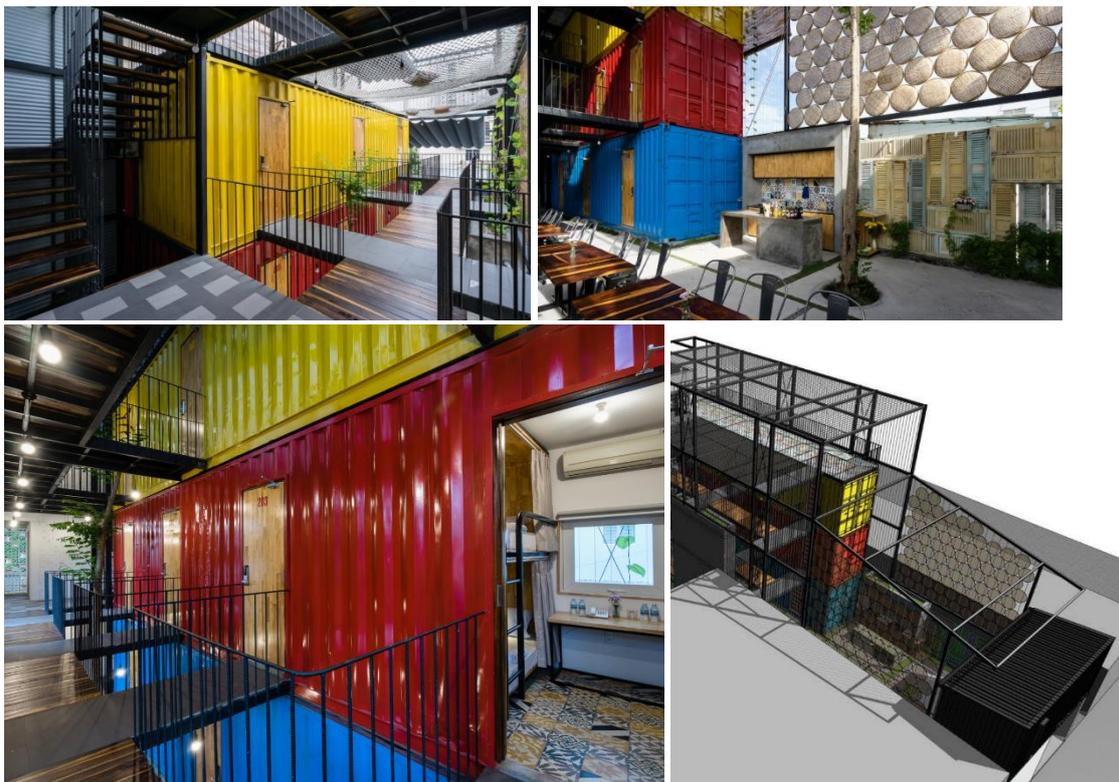
Figuras 25 e 26: Kumport Port Services

Fonte: Kumport, 2018

Construção com contentores de navio

Propõe-se também um tipo de construção a partir de contentores de navio, através do processo de *upcycling* dos que não serão mais utilizados em transporte de mercadorias. A vida útil dos contentores é exponencialmente aumentada quando estes são utilizados para outras funções, como para a construção civil. Também são evitados inúmeros depósitos de *stock* em material inutilizado derivados do elevado custo de retorno ao país/local de origem.

Como exemplo refira-se o Ccasa Hostel em Nha Trang, Vietnã, pelo escritório de arquitetura vietnamita TAK Architects. Foram utilizados três contentores de navios para o bloco principal (dormitórios do hostel). O projeto como um todo é conectado por uma estrutura em aço, conformando a unidade da obra (Ccasa Hostel, 2016). Os contentores de navios permitem também uma combinação em maior escala, como podemos ver no projeto desenvolvido pelo escritório de arquitetura Dinamarques Arkitema Architects. A CPH Village é um conjunto de residências estudantis feitas com contentores e que podem ser desmontadas e transportadas para outro sítio (Arcgency s/d).



Figuras 27, 28, 29 e 30: Ccasa Hostel.
Fonte: Ccasa Hostel, 2016.



Figuras 31 e 32: CPH Village.
Fonte: Arcgency, s/d.

Após consideração dos diversos sistemas construtivos explorados anteriormente, foi construída, de forma comparativa, uma tabela que apresenta pontos importantes dentro da economia circular para a construção. Assim, foram definidas pontuações de 1 (menor possibilidade) à 4 (maior possibilidade) para cruzar os sistemas construtivos e suas características, com os pontos selecionados da economia circular na construção voltados para a melhoria da circularidade do setor de maneira global.

		Quesitos importantes para a circularização do setor frente ao sistema construtivo utilizado										
		Reuso de materiais/ componentes	Reciclagem	Construção modular	Conexões mecânicas	Componentes padronizados	Baixa quantidade de componentes tóxicos	Sub sistemas construtivos independentes	Baixa produção de resíduos	Equipamentos e mão de obra não específicos	Desconstrução controlada	
Light Steel Framing		4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	39
Wood Framing		3	4	4	4	4	3	3	4	3	4	36
Betão fabricado	pré	1	2	4	2	4	2	2	2	2	3	24
Blocos de encaixe		1	2	3	1	4	2	1	3	3	2	22
Terra		1	4	1	1	1	4	1	3	2	1	19
Construção convencional		1	3	2	1	1	2	1	1	4	1	17

Tabela 3: Economia Circular versus Sistemas Construtivos

Nesta tabela o sistema construtivo em LSF apresenta uma maior pontuação, ou seja, é mais favorável para aumentar a circularidade do setor. Verifica-se uma muito menor dependência da extração de materiais (principalmente a longo prazo) por conta da altíssima possibilidade de reciclagem, sem perda de valor e também reuso. A possibilidade de desconstrução controlada bem como podendo ser reconstruída com as mesmas peças, principalmente se a obra for projetada como modular, com peças padronizadas e com ligações mecânicas. A opção de utilizar subsistemas independentes e não tóxicos também é possível e todos estes pontos levam também à uma produção ínfima de resíduos.

Assim, perante tal análise vemos que são diversas as vantagens de se utilizar novos sistemas construtivos. Os apresentados foram escolhidos por terem condições que importam para a transição do setor para a circularidade. É um facto que não existe só um sistema construtivo que tenha todas as qualidades necessárias e possíveis dentro do setor da construção civil. Ainda mais se forem tidos em consideração variáveis inerentes ao território em que será feita a obra, ou seja, a localização geográfica, a economia local, a disponibilidade de recursos materiais e humanos, que constituem fatores também muito relevantes a serem considerados antes de uma decisão.

Pode-se analisar o exemplo da localização geográfica no relativo às diferenças entre o ambiente urbano e o rústico. As escolhas possíveis para o ambiente urbano, onde há mais facilidade de acesso a materiais e mão-de-obra, relativamente ao ambiente rústico que pode apresentar maior espaço em canteiro de obras, faz com que as escolhas possam ser bem diferentes. Por exemplo, no meio urbano, a escolha de construção com betão pré-fabricado pode ser vantajosa, visto que não há armazenamento de materiais em obra e os materiais chegam facilmente à obra pelos acessos existentes. Já em zona rural a deslocação pode ser maior e, assim, menos vantajosa. Já uma escolha para meio urbano de construção com terra não será a melhor opção, visto que o espaço livre no canteiro de obras pode ser reduzido, bem como a deslocação da terra vinda de outros sítios pode ser um problema. Já em meio rustico a escolha de construção com terra pode ser facilmente conseguida pelas mesmas questões e, portanto, vantajosa.

Dentro deste mesmo contexto comparativo de meio urbano e meio rústico, é necessário também levar em consideração os materiais e suas necessidades de manutenção, já que em meio urbano há maior acesso aos materiais. Existem também questões que podem influenciar o desempenho dos materiais como a exposição a riscos e intempéries, entre outros.

Tendo em conta que são apresentados sistemas construtivos como alternativa, numa base comparativa, não é explorado o potencial de utilização parcial mista, ou seja de utilização combinada de dois ou mais sistemas construtivos. A utilização de técnicas construtivas combinadas, que já observamos na RLVT em situações de reabilitação (por exemplo, estrutura em aço, com cobertura em light steel framing, permitindo manter paredes e fachadas com valor patrimonial) deve ser decidida em função da especificidade de cada caso, ou seja fora de um registo padronizável para uma zona ou política de regeneração urbana.

5. BOAS PRÁTICAS

Para além de exemplos de aplicação dos sistemas construtivos, trazem-se projetos/propostas realizadas e premiadas, dentro do que consideramos como importante para uma boa prática de construção circular, em termos de planeamento, concepção projetual, entre outros.

BedZed – Eco-Vila. Londres, Reino Unido

O projeto Beddington Zero Energy Development (BedZED) é localizado em Sutton, zona sul de Londres, e tem uma área construída de 8559m² de um total de 1.65ha (Tanghao *et al*, 2011). A iniciativa da Bioregional foi desenvolvida em parceria pela The Peabody Trust e contou com projeto de arquitetos da ZEDFactory e Bill Dunster Architects (BDA) e engenheiros da ARUP. Foi concluída em 2002 e é a primeira eco-vila sustentável, de larga escala e de uso misto no Reino Unido. Conta com 100 residências, escritórios, uma faculdade e instalações comunitárias. O projeto foi vencedor de diversos prémios, principalmente em questões de sustentabilidade.

Para além da intenção de reduzir emissões de CO₂, de utilização mais eficiente de energia e água, maior contacto com zonas verdes e menor produção de resíduos, BedZED também teve por propósito ter um diferencial em seu modo construtivo (Bioregional, s/d). Na sua construção foram recuperados e reutilizados diversos materiais. Por exemplo, relativamente aos agregados, na construção de leitos dos pavimentos porosos foi utilizado betão reciclado ao invés de calcário, com uma economia de mais de 3 mil libras para as necessárias 180 toneladas. Para a areia de colocação de lajes foi utilizada areia de vidro verde esmagado, poupando cerca de 15% do valor da areia virgem.

As principais reutilizações feitas neste projeto estão resumidas na tabela 4 a seguir. Esta mostra pontos importantes de avaliação, principalmente por se tratar de um empreendimento de maior escala como por exemplo a distância de transporte dos materiais recuperados e a dificuldade de implementação.

No total, cerca de 3.400 toneladas de materiais foram recuperados, o que representou 15% dos materiais de construção. Assim, BedZED conseguiu uma redução de 4% de suas emissões de CO₂ (Tanghao *et al*, 2011).

Benefícios ambientais causados pelo uso de materiais reciclados e recuperados									
Material	Volume (m³)	Peso (t)	Uso	Distância do transporte (km)	Materiais de construção gerais	Redução de CO2 (kg CO2 eq (100 anos))	Dificuldade	Custo-efetividade	Benefícios ambientais
Madeira de construção recuperada	350	175	montante interno	43	<i>New nork*</i>	63460	Muito fácil	Poupou	Bom
Madeira de piso recuperada	13.7	7.4	Madeira de piso interno	4.3	Novo piso	2370	Fácil	Poupou	Médio
Madeira de construção recuperada	Quantia infima		montante externo	56.3	Nova cortiça	Sem estatísticas	Difícil	<i>Cost premium*</i>	Bom
Porta recuperada	Não realizado		Portas internas	56.3	Porta B&Q*	5370	Difícil	<i>Cost premium*</i>	Médio
Metal recuperado	220.5	98	Estrutura/ esquadria de ferro	48	Novos metais	181580	Muito fácil	Neutro	Bom
Pavimento recuperado	Não realizado		<i>Hardened pavement*</i>	247	Novos blocos de pavimento	56549	Difícil	Neutro (com espaço de armazenamento)	Neutro
Cascalho	846.0	1862.0	Preenchimento	0	Cascalho	Sem estatísticas	Fácil	Poupou	Neutro
Agregado de concreto reciclado	515.8	980	Amortecedor em superfície de infiltração	3.6	Agregado de concreto	8840	Muito fácil	Poupou	Neutro
Areia de vidro verde reciclada	174.4	297	Endurecedor de superfície de amortecimento	7	Areia	1330	Fácil	Poupou	Médio

Tabela 4: Benefícios ambientais causados pelo uso de materiais reciclados e recuperados

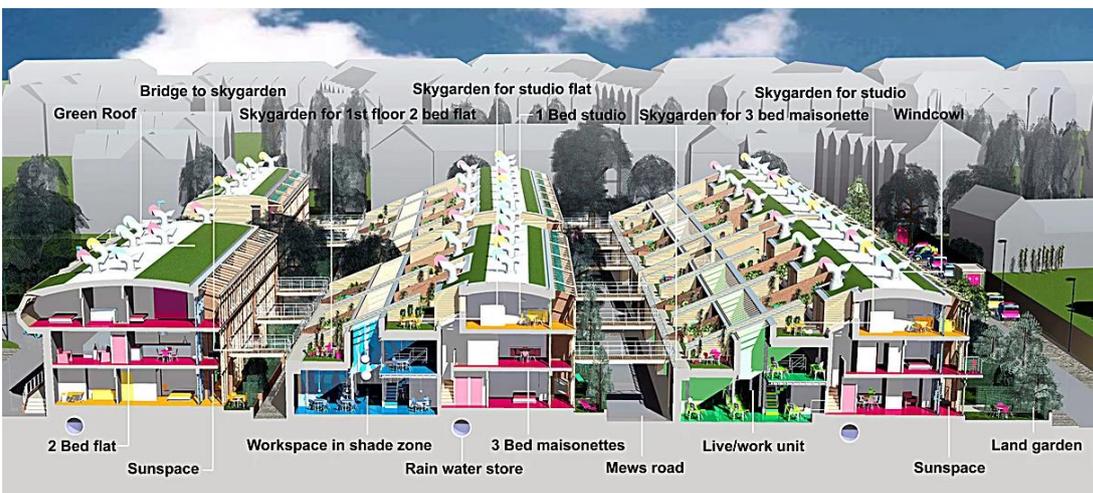
Fonte: Tanghao *et al*, 2011. Tradução da autora. *sem tradução.

A maioria dos materiais mais pesados utilizados que foram adquiridos teve origem dentro de um raio de 55km do local da construção, para reduzir o impacto do transporte e também para que fosse possível a verificação de sua origem. Também foi dada preferência por materiais certificados como, por exemplo, a madeira com certificado pela *Forest Stewardship Council* (FSC). Os resíduos produzidos sofreram triagem no local antes de serem enviados para locais de recolha e reciclagem dos mesmos (Twinn, 2016)

Importa salientar que a reutilização de materiais neste caso, apesar de ser benéfica na redução de resíduos, emissões de CO2, e energia utilizada para produção de novos materiais também trouxe dificuldades pela falta de padronização dos materiais escolhidos, sendo necessário um cuidado maior ao serem feitos os projetos. Por conta da falta de padronização este modelo de construção apresenta constrangimentos para empreendimentos de maior escala, os quais, geralmente, são projetados de forma a facilitar a replicação/ampliação. Entretanto, apesar desta problemática de padronização de materiais e de manutenção do local, este projeto mostra claramente o potencial que os produtos rejeitados na construção civil têm, ao serem reutilizados ou reciclados para esta nova construção.



Figura 36: Diagrama em corte do projeto BedZed Eco-Vila. Fontes: Bioregional, s/d e ZEDfactory, s/d.



Figuras 33, 34 e 35: Imagens do Projeto BedZed Eco-Vila, exterior e interior.

Hammarby Sjöstad: modelo de sustentabilidade. Estocolmo, Suécia

O projeto para Hammarby Sjöstad (que significa cidade ao redor do lago) foi pensado inicialmente dentro da estratégia de candidatura de Estocolmo para sediar em 2004 os jogos olímpicos de verão e tinha como intuito ser o mais ambientalmente sustentável da história. Como a candidatura não obteve sucesso, a estratégia funcionou como catalisadora para o processo projetual e construtivo do local e as autoridades decidiram continuar com o desenvolvimento do projeto, usando-o como impulso para a crescente procura por novas habitações ambientalmente sustentáveis (Future Communities, s/d). Localiza-se na cidade de Estocolmo, na Suécia, numa zona que oferece uma continuação natural do centro da cidade, à volta do lago Hammarby (Fränne, 2007).

A zona de 210ha, comprada pelas autoridades da cidade, teve seu *masterplan* concebido por diversos escritórios de arquitetura e mais de 40 empreiteiros, supervisionados pelos departamentos de Administração da Cidade e Administração do Planeamento da Cidade. A escolha do local deveu-se à situação em que se encontrava o ecossistema que, por conta de diversas indústrias terem funcionado no local, muitas de forma desregulada, estava a entrar em colapso. Durante a descontaminação do solo, na zona chamada Sickla Udde – a primeira parte a ser realizada - foram retirados 130 toneladas de óleos e graxas e mais de 80 toneladas de metais pesados. (Ignatieva, 2014).

O projeto, de zoneamento misto (com residências e serviços) e compacto, que na sua fase final disponibiliza 11mil apartamentos residenciais em blocos para cerca de 26mil habitantes com um índice de 6m² de área de trabalho por habitante (comércio/serviços). O reconhecimento internacional decorreu de ter sido pensado como um sistema integrado de diversos infra-sistemas: estrutura técnica, mobilidade, comunicação, predial, e estrutura verde e azul. Contou também com um sistema interdisciplinar de planeamento (Ignatieva, 2014) para energia, água e resíduos, com uma solução de ciclo fechado (fig 40), em que são utilizados subprodutos de outros sistemas para reduzir a quantidade de energia necessária para seu funcionamento. Para a mobilidade foram criadas novas linhas de autocarros, sistemas de *car sharing*, gratuidade de transporte em barcos/balsas, além de um moderno sistema de recolha de resíduos subterrâneo (fig 41), que dispensa o uso de automóveis de recolha. Dentro do plano também foram incluídas metas ambiciosas como o índice de 0,5 carros por unidade habitacional e o aumento para quase o dobro do índice de área verde em comparação com outros projetos da cidade.

Nos materiais utilizados nas construções seguiu-se o princípio orientador de apenas usar produtos ecocertificados e evitar o uso de produtos químicos ou materiais de construção com substâncias perigosas, além do uso de materiais reciclados sempre que técnica e economicamente viável. A não utilização de materiais em fachada e telhados com a possibilidade de liberar metais pesados ou outros tóxicos, para não contaminar a água da chuva foi outro dos fatores tidos em conta.

O projeto tem como diretrizes que sejam declarados todos os produtos químicos e materiais de construção utilizados antes que a obra seja iniciada e que sejam frequentemente feitas inspeções ambientais (Fränne, 2007). Foram pensadas de maneira integrada (habitação, infraestrutura, transporte etc), e as autoridades locais usaram a favor do projeto a competição criada entre os mais de 40 contratados para seu desenvolvimento, melhorando o *standard* do local. Neste projeto foi aplicada também a análise de custo de vida dos materiais utilizados, para serem tomadas as decisões de planejamento, o que ajudou a justificar o custos adicionais necessários frente aos projetos ambientais de mais alto padrão (Future Communities, s/d).

Estas diversas medidas demonstram que um projeto pode ter suas decisões voltadas para melhorias em relação a materiais, energia, água, resíduos etc, mas não consegue atingir resultados a longo prazo, no que diz respeito a sua utilização, caso não tenha também delimitadas medidas que incentivem o seu correto uso, por exemplo, inserir no projeto medidas que possibilitem a coleta seletiva de resíduos sólidos só terá o resultado esperado caso os residentes utilizem as medidas da maneira correta. Importa também salientar que diretrizes do projeto possam extrapolar a zona do projeto, ou seja, num projeto que tem o intuito de reduzir as emissões de CO2 na atmosfera ao longo da sua concepção seja também pensado para que o seu utilizador possa contribuir com tal medida, como por exemplo um desenho urbano que incentive o uso de transporte coletivo e modos de transporte suave/ativos.



Figura 37: Hammarby Sjöstad, vista aérea.
Fonte: Manna, 2015

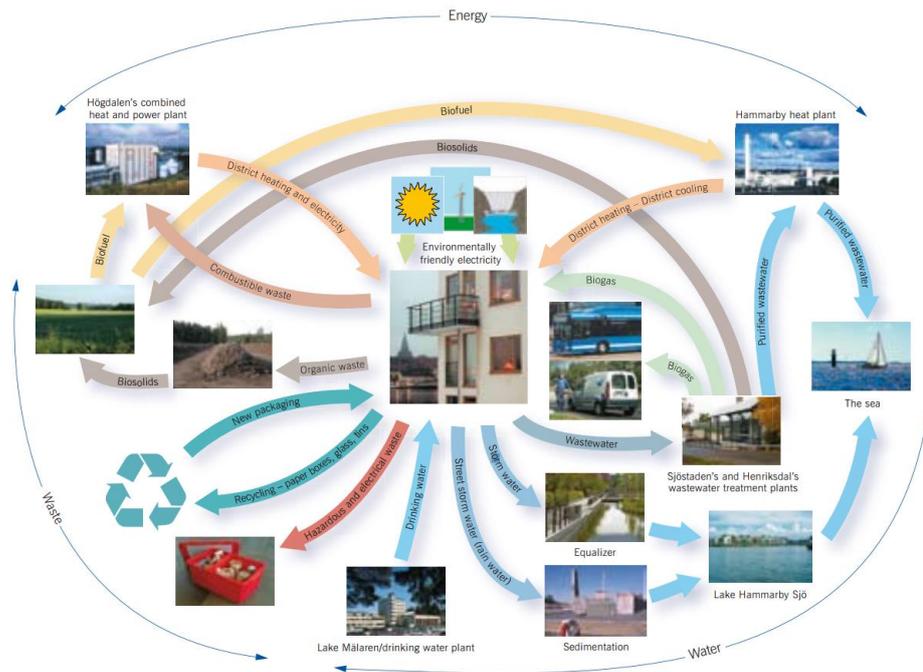
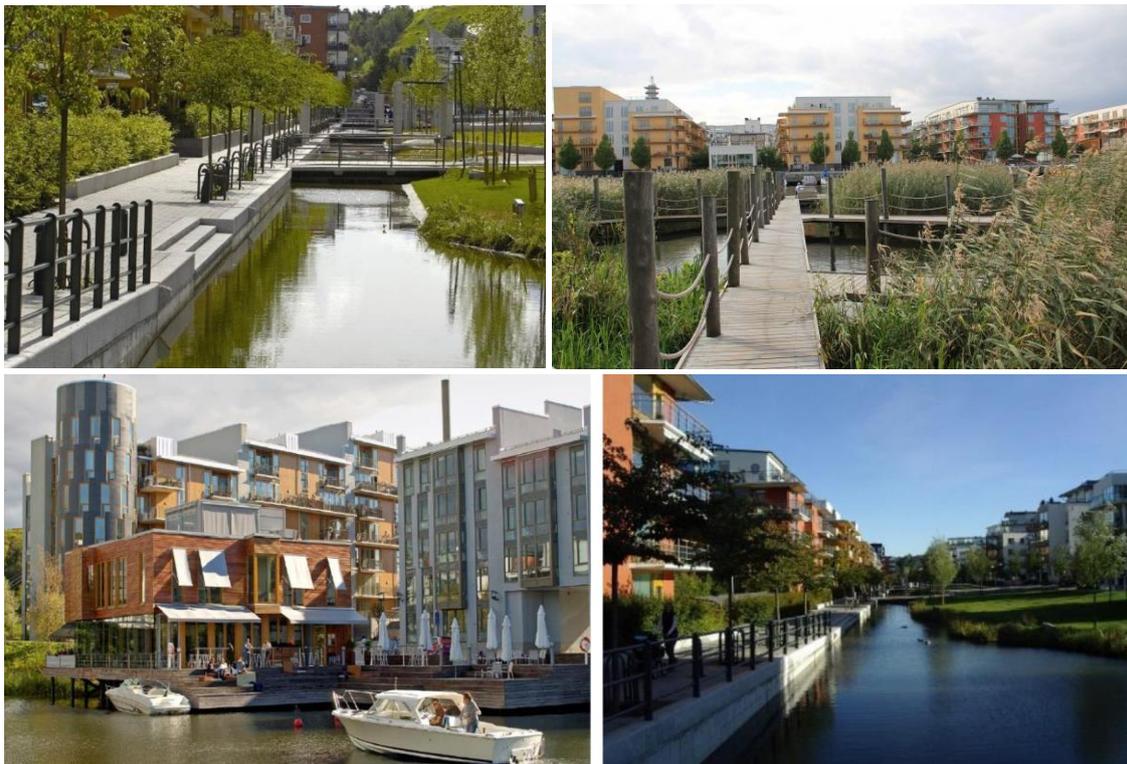


Figura 40: Ciclos fechados dos subsistemas do projeto Hammarby Sjöstad.
Fonte: Fränne, 2007



Figuras 42, 43, 44 e 45: Fotos do projeto implementado.
Fonte: Hammarby Sjöstad, 2010 e Ignatieva, 2004

DysseKild. Copenhagem, Dinamarca

Numa menor escala, Dyssekild conta com cerca de 200 moradores, distribuídos em diversos tipos de moradias, desde autoconstruídas até experimentais, com materiais reutilizados. Construída desde meados dos anos 90, a comunidade conta com grupos de residências e com um edifício central para serviços partilhados, como lavanderia e áreas de convivência. O teor experimental das obras bem como a forma de vida de seus residentes e mecanismos de gestão de água de chuva e de resíduos fazem a diferença na capacidade de autosuficiência desta comunidade (Visit Copenhagen, s/d).



Figuras 46 e 47: DysseKild Fonte: visit copenhagen (s/d) e Mapcarta (s/d).

The Grove. Los Angeles, Califórnia, Estados Unidos da América

Um exemplo interessante de outro tipo de projeto, este já voltado para comércio e serviços, sem zona residencial, é o The Grove, que compreende uma zona de cerca de 7ha a céu aberto. O ponto forte do projeto foi sua concepção em modo de sinergia entre os usos dos serviços de entretenimento dispostos em seu programa: livraria, restaurantes, diversos comércios e cinema. A organização conta com dois pontos de ancoragem nas extremidades, o *Farmers Market* num lado e o Nordstrom noutra, fazendo com que a zona seja frequentada intensivamente para lazer, consumo e turismo (Fader, 2003), recebendo cerca de 20 milhões de visitantes anualmente (Schmitz 2006 *in* Parhizgar, 2013).

O projeto, concluído em 2002, foi desenvolvido por Caruso Affiliated Holdings e diversos escritórios de arquitetura. Foi concebido para ser semelhante a uma pequena e antiga cidade verde, utilizando prioritariamente materiais amigáveis para o meio ambiente.

Este empreendimento também apresenta o diferencial de promover o comércio a céu aberto, incentivando a vida na cidade, dia e noite, e intensa utilização de suas instalações, com espaços públicos ativos dentro do contexto do empreendimento comercial, como sua rua exclusivamente pedonal (Fader, 2003).



Figura 48: The Grove, master plan. Fonte: KMD Architects, s/d.



Figuras 49, 50 e 51: The Grove
Fonte: KMD Architects, s/d.

Karow Nord. Berlim, Alemanha

O projeto, feito para cerca de 5mil residências, localiza-se a noroeste de Berlim e tem uma configuração em blocos que permite a diversidade social e ambiental e em uma escala de espaços, do privado ao público, ou seja, o desenho cria espaços de maior e menor privacidade com uma transição suave entre eles. Além das 5mil unidades residenciais foram também concebidas escolas, parques infantis e áreas para comércio, respeitando a zona histórica.

A conexão dos blocos e espaços é feita através de extensas áreas verdes aliando o trabalho de conceitos como *walkability* e conectividade, uso misto e diverso, transporte e qualidade arquitetônica (Yudell, 2001).

A relevância deste projeto foi ter incorporado diretrizes rigorosas nacionais sobre conservação de energia, materiais de construção (amigáveis para o meio ambiente) e gestão responsável de resíduos, o que o fez tornar-se um modelo de comunidade sustentável. Estendendo-se sobre um lençol freático, foi necessário ao projeto ter sido pensado para uma gestão sensível do escoamento superficial. Assim, dentro dos possíveis, o pavimento é permeável, existindo ainda um sistema de valas e trincheiras ajardinadas nas vias para direcionar o fluxos das águas de chuva em direção ao lago. As ruas foram dimensionadas para que fosse clara a prioridade dada à deslocação pedonal (Stevens, s/d).



Figuras 52, 53, 54 e 55: Karow Nord. Fonte: Stevens, s/d.

6. MUDANÇA ESPERADA

A mudança necessária para o setor da construção civil é iminente e inevitável para não comprometermos o meio ambiente. A partir do diagrama apresentado anteriormente (figura 01) foi feito um ensaio do panorama nacional no qual se consideram adotadas *medidas para melhoria da circularidade* do mesmo, ou seja, medidas relativas ao aumento do material reciclado utilizado em construções, melhorias na fiscalização de resíduos descartados bem como na triagem (na origem) feita com maior rigor e, portanto, melhor gestão dos RCD, aumento de taxas sobre descarte em aterros, etc. Manteve-se, no entanto, o mesmo paradigma construtivo, dependente maioritariamente de sistemas construtivos convencionais, ou seja, betão armado e alvenaria. Desse estudo resultou o diagrama a seguir (fig. 56), que nos mostra uma leve, mas já visível, melhoria do setor, como a possibilidade de redução de 25% nas extrações, aumento em três vezes da reintrodução dos resíduos produzidos no ciclo e redução de cerca de 40% nos resíduos eliminados (em aterro), sendo para o mesmo panorama de procura de construções.

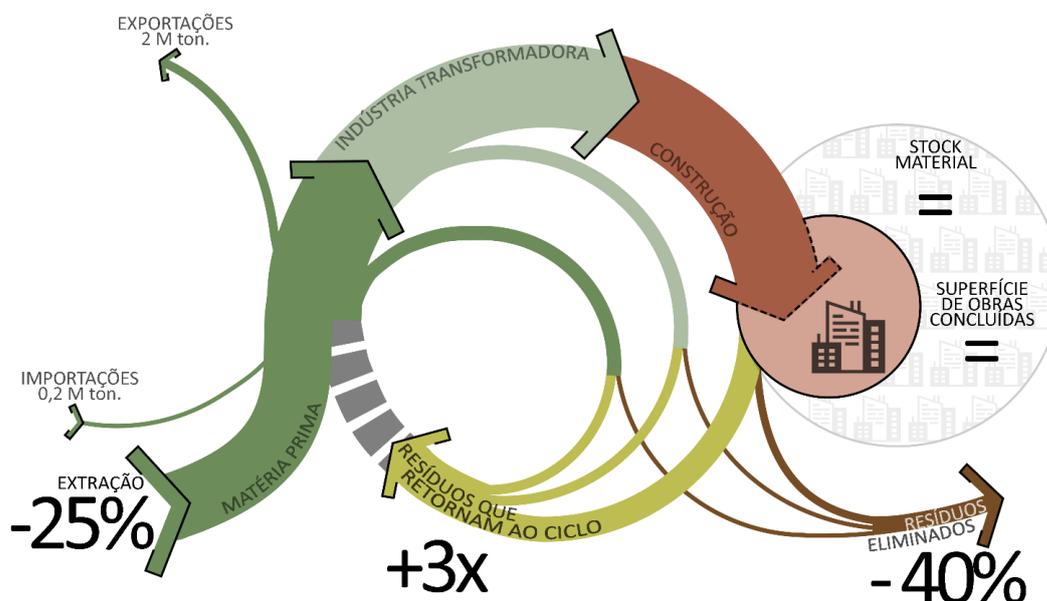


Figura 56: Ensaio de panorama nacional com adoção de ligeiras medidas de melhoria para o setor.

Constata-se que as taxas de melhoria nos segmentos do setor não se mostram suficientes, principalmente no longo prazo, pois permanecem as elevadas dependências de matérias primas extraídas e mantem-se a produção contínua de resíduos, mesmo com maior reinserção destes de volta ao ciclo. Frente a esta questão, foi desenvolvido um segundo ensaio para o panorama nacional, com uma reconceptualização do setor como base de mudança de sistemas construtivos.

Para o mencionado ensaio foi escolhido o sistema construtivo em *Light Steel Frame* como base de análise alternativa ao sistema convencional, por este apresentar o melhor desempenho dentro dos quesitos analisados (tabela 03). Assim, foram utilizados como base diversos estudos em que foram comparados estes dois sistemas para um esboço de como poderia ser o ciclo do setor com tal mudança paradigmática (Olivieri *et al*, 2017, Sposto *et al*, 2016, WRAP, s/d).

Neste sistema (LSF), por comparação com o sistema convencional, verifica-se uma redução considerável da dependência de materiais extraídos, nomeadamente os utilizados em sistemas construtivos convencionais, com potencial de efeitos a longo prazo, visto o aço em uso ter uma longa durabilidade de ciclo de vida. A redução das extrações ocorre também porque o sistema de LSF apresenta uma estrutura mais eficiente e mais leve, necessitando de fundações menos robustas (figura 57).

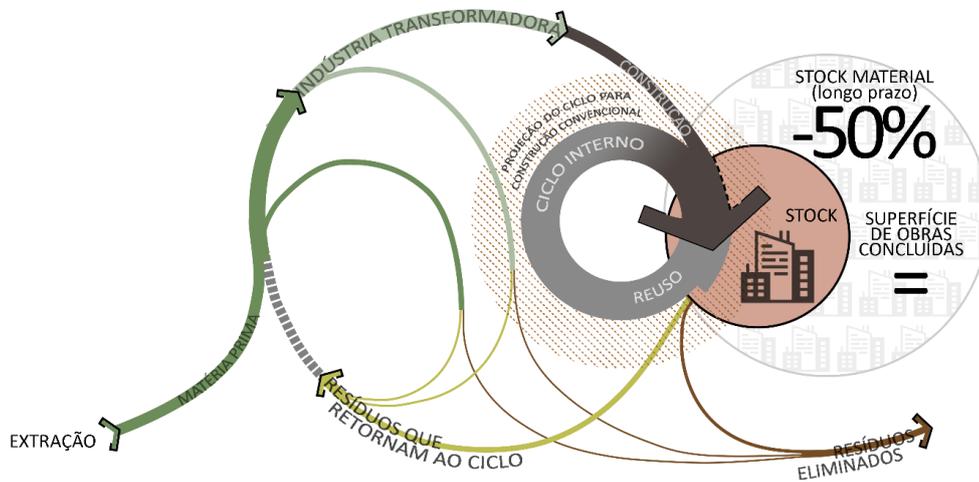


Figura 57: Ensaio de panorama nacional com reconceptualização do setor através do uso de LSF

O diagrama seguinte (fig 58) mostra o cenário possível para o setor caso fosse atingida, no longo prazo, o cenário no qual o foco é dado para o ciclo interno do setor, nomeadamente processos de reciclagem e reutilização, quase que extinguindo a entrada de materiais extraídos e a eliminação de resíduos em aterro.

Juntamente a esta mudança do sistema construtivo utilizado, refira-se que questões de concepção projetuais, de cooperação transversal dentro do setor, de melhoria na recolha e tratamento de dados, de melhoria na fiscalização, entre outros, são pontos necessários a serem incorporados, independentemente dos sistemas construtivos predominantes no setor, para que esta mudança de paradigma tenha o seu potencial máximo desenvolvido.

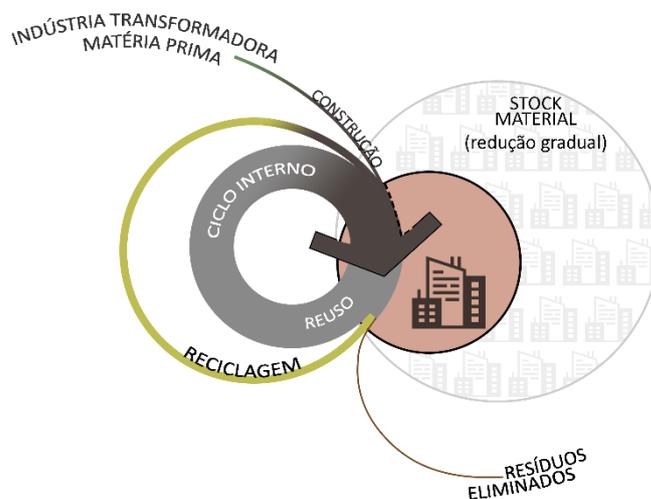


Figura 58: Ensaio de panorama nacional c/ reconceptualização do setor pelo uso de LSF (longo prazo)

Para tais ensaios, que resultaram nos diagramas apresentados, importa ressaltar que a construção destes apresenta um nível de especulação para a construção gráfica destes possíveis cenários futuros, tendo sido utilizados estudos que variam em escala e tipo de obra aplicados, assim como de autores e metodologias utilizadas, podendo existir erros associados relativos à análise em conjunto destes.

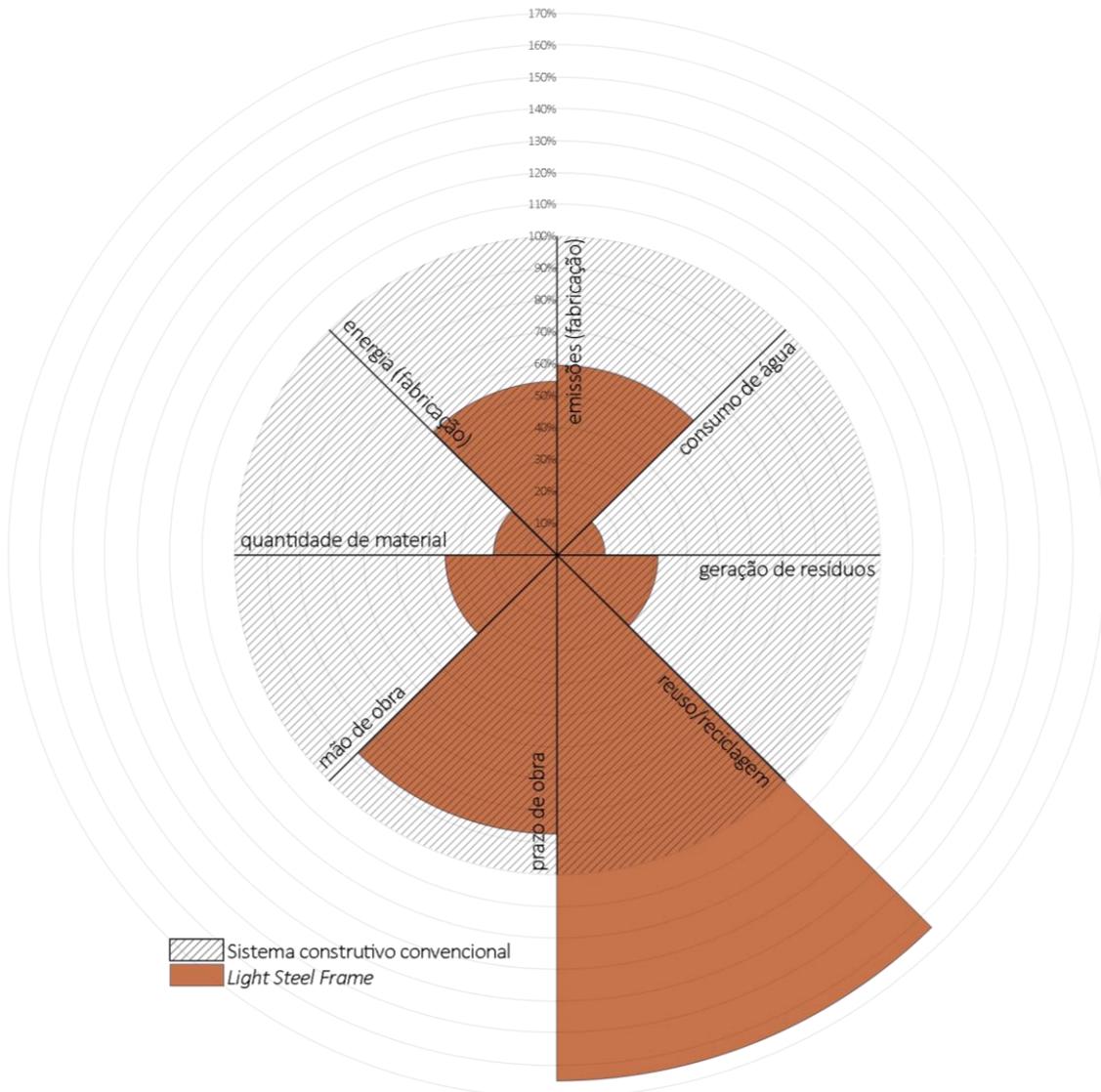


Figura 59: Gráfico geral de comparação entre construção em sistema convencional e LSF

Estes mesmos estudos utilizados para analisar o ciclo do setor da construção civil, foram também destinados à análise de alguns pontos relevantes para a comparação dos sistemas convencionais e LSF. A figura 59 mostra uma comparação entre o panorama do sistema convencional de construção, circunscrito no círculo com padrão de listras e o referente percentual relativo para o sistema em LSF (laranja) (Olivieri *et al*, 2017, Sposto *et al*, 2016, WRAP, s/d). Apesar de implicar uma transição sistémica (e.g. no projecto, na capacitação e na preparação de obra), a implementação do meio de construção em LSF apresenta-se como um sistema construtivo alternativo com vantagens generalizadas para a circularidade do setor de construção civil, com especial destaque para a redução dos RCD.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em conta o estado em que o setor da construção civil se encontra, juntamente com as previsões sobre a sua evolução, o crescimento do consumo pelas sociedades e o atual ponto de degradação do ambiente, é necessário considerar cenários alternativos para o futuro.

Com o aumento da população, e da procura por matérias primas que supram as necessidades da sociedade, juntamente com a alta dependência da extração de matéria prima virgem, é certo o esgotamento de recursos, alguns já a curto prazo. A volatilidade dos preços é consequência direta, podendo ocorrer mesmo em zonas em que determinada matéria prima não se tenha esgotado, devido ao efeito da sua procura no mercado global. Como resposta a esta realidade apresentam-se soluções de mudança de paradigma do setor de construção civil como alternativas possíveis – e cada vez mais necessárias.

Soluções que até recentemente eram avaliadas como boas em questões de sustentabilidade, hoje já não suprem todas os requisitos para a manutenção do setor. Por exemplo, um produto fabricado com material renovável mas que tenha um alto custo de produção (pegada ecológica) e cuja reutilização não seja possível, ou um produto que apenas permita a sua reciclagem com grande perda de valor dentro do ciclo económico (*downcycling*), podem não ser a melhor escolha. É mais vantajoso, assim, a escolha de produtos que permitam a sua reutilização ou reciclagem sem perda de valor, como é o caso do aço.

Os sistemas construtivos podem apresentar melhor ou pior desempenho se levarmos em consideração todos as questões inerentes a uma obra em específico - isso torna clara a necessidade de uma pré análise, caso a caso, antes de se optar por determinado sistema construtivo. Porém, também é certo que determinados sistemas construtivos apresentam, globalmente, menores impactos no ambiente e maior possibilidade de contribuição para a circularidade (localmente), devem ser considerados em cada ponderação. No âmbito nacional, o sistema analisado de LSF apresenta vantagens diretas no panorama atual. Com o aumento da procura por obras de reabilitação, pequenas ampliações, construção de *rooftops* para aproveitamento de áreas em cobertura, etc., o sistema em LSF tem benefícios, pois permite a redução do peso do sistema construtivo, sendo fator a ponderar, principalmente em edifícios antigos que necessitariam de reforço estrutural.

A escolha de um sistema construtivo, aliado às melhores práticas do setor, irá trazer uma melhoria tanto para a construção em si como globalmente para o setor. Assim, para uma melhor transição do setor para uma conceção e produção mais circulares é necessário que os atores de todos os segmentos do setor trabalhem em conjunto (desde a montante das construções), para uma circularidade integrada, mais eficaz e com benefícios para todos.

Podemos inferir também sobre o sistema construtivo mais abordado neste estudo, o LSF, que existem hoje barreiras a ser enfrentadas para a sua inserção mais ampla no mercado. Podemos citar barreiras como a dificuldade de rastreabilidade dos materiais, a complexidade dos processos de certificação para o reuso, o desinteresse e falta de mercado para o uso de materiais de reuso [...], a necessidade de testes destrutivos para avaliação de desempenho do material,

preços e competitividade de mercados de venda de reuso, restrições financeiras, lacunas na cadeia de suprimento e falta de coordenação e cooperação entre os atores, bem como a falta de dados padronizados e transversais (Tingley, 2017).

No que diz respeito a medidas que contribuem para melhorar a percentagem de reuso dos materiais nas construções é essencial a participação do segmento da concepção, tanto dos produtos feitos com estes materiais, como dos projetos concebidos com os produtos, para a necessária coerência entre si. Assim, a decisão para a reutilização dos materiais num edifício tem que ser tomada em fase de projeto, para que seja concebido e executado nesses termos. É inclusive necessário que seja decidido o tipo de reuso, ou seja, se será um edifício temporário que será reconstruído noutra local depois ou se terá apenas os seus materiais reintroduzidos noutra ciclo construtivo, por exemplo. Uma medida facilitadora neste âmbito será a introdução de tecnologias aplicadas na concepção do projeto para garantir o posterior encaminhamento dos materiais, como as tecnologias de desenho BIM (*Building Information Modelling*) que ajudam na quantificação e qualificação dos materiais e peças utilizadas numa obra, facilitando, posteriormente, o processamento das informações para a desconstrução e encaminhamento das peças para novo uso.

Outras questões importantes para a transição dos sistemas construtivos convencionais para opções mais circulares como o *Light Steel frame* consistem em:

- Criação de bancos de dados para facilitar o acesso a informações sobre fornecedores, disponibilidade e reutilização;
- Atenção à procura– mecanismos para incentivo e educação relativamente às vantagens do sistema (desenvolvimento da visão de mais longo prazo);
- Orientação técnica para os vários segmentos que participam em todo o ciclo dos materiais (extração, produção, projecto, construção, manutenção, recolha/reutilização ou recolha/reciclagem);
- Apoio governamental.

Tais mudanças podem também gerar melhorias nos mercados de desconstrução e na investigação de produtos que permitam a desconstrução o que, conseqüentemente, será benéfico ao segmento de projeto, melhorando as suas possibilidades construtivas e a confiança em projetos com materiais reutilizados (Tingley, 2017).

A reconceptualização do setor depende também de mudanças que vão além da transição para novas formas construtivas. É necessário a consciencialização dos consumidores e de todo o setor (e dos atores que exercem influência no mesmo) para que as mudanças estruturais sejam concebidas de forma transversal e eficiente, minimizando os impactos negativos que possam ocorrer.

Assim, face ao cenário atual, com impactos ambientais em curso e outros previstos que podem ser mitigados com a devida atenção e ação, a aposta em mudanças no setor da construção civil deverá ter início quanto antes. Como são necessárias mudanças profundas, estas têm de ser pensadas no longo prazo, de forma estratégica, para serem implementadas progressivamente.

8. BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, K. T. et al (2017). Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/313872330_Circular_economy_in_construction_current_awareness_challenges_and_enablers [Consultado em outubro de 2018].
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente, 2015. Como atingir a meta de 70% de valorização de RCD 2020. Documento de suporte base (DSB) para o workshop a realizar sob o tema.
- Arcgency, s/d. CPH Village. Disponível em <https://arcgency.com/cph-village> [Consultado em dezembro de 2018].
- Archdaily, 2016. Conoce las obras 'en español' premiadas en TERRA Award 2016. Disponível em https://www.archdaily.pe/pe/788523/conoce-las-obras-en-espanol-premiadas-en-terra-award-2016?ad_medium=gallery [Consultado em dezembro de 2018].
- ARMO, s/d. ARMO System, eficiencia en construcción. Disponível em <http://www.armo-system.com/> [Consultado em novembro de 2018].
- Bioregional, s/d. BedZED - the UK's first large-scale eco-village. Disponível em <https://www.bioregional.com/bedzed/> [Consultado em novembro de 2018].
- Casa Vila..., 2014. Casa Vila / Arquea Arquitetos. Archdaily Brasil. Disponível em <https://www.archdaily.com.br/br/606822/casa-vila-slash-arquea-arquitetos> [Consultado em dezembro de 2018].
- Ccasa Hostel..., 2016. Ccasa Hostel / TAK Architects. Archdaily. Disponível em <https://www.archdaily.com/799222/ccasa-hostel-tak-architects> [Consultado em dezembro de 2018].
- COELHO, A. e BRITO, J. (2012). Quantificação, composição e indicadores de geração de resíduos de construção e demolição (RCD). Publicação Construção Magazine, janeiro 2012, p.26-30.
- COUTO et al.,2006. Desconstrução – Uma ferramenta para sustentabilidade da construção. Seminário Brasileiro da Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 6, São Paulo, Brasil, 2006 – NUTAU 2006: inovações tecnológicas.
- CROWTHER, P. 2000. Building deconstruction in Australia. CIB Conference on Overview of deconstruction in selected countries nº 252. Editado por Charles J. Kibert e Abdol R. Chini. Universidade da Flórida. Disponível em <https://eprints.qut.edu.au/2883/1/Crowther-TG39-2000.PDF> [Consultado em dezembro de 2018].
- DELAQUA, V. 2012. Casa pré-fabricada em Collonges / Pierre-Alain Dupraz. ArchDaily Brasil. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/85863/casa-pre-fabricada-em-collonges-slash-pierre-alain-dupraz> [Consultado em dezembro de 2018].
- Decreto-Lei nº 46/2008, de 12 de março
- Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), 2017. Informação estatística nº 19. Dezembro 2017.
- Dyssekilde, s/d. Økosamfundet Dyssekilde. Disponível em <http://www.dyssekilde.dk> [Consultado em novembro de 2018].
- Edra Arquitectura, s/d. Casa de Tapial. Tierra como material de construcción. Disponível em: <http://arquitectura.edraculturaynatur.com/portfolio-item/casa-de-tapial/> [Consultado em: novembro de 2018].

FADER, S., 2003. The Grove. ULI—the Urban Land Institute. Washigton D.C., EUA. Disponível em <https://casestudies.uli.org/wp-content/uploads/2015/12/C033020.pdf> [Consultado em novembro de 2018].

FRACALOSSO, I. 2001. Escola estadual Telêmaco Melges / UMA arquitetos. Archdaily Brasil. Disponível em <https://www.archdaily.com.br/br/01-13116/escola-estadual-telemaco-melges-una-arquitetos> [Consultado em dezembro de 2018].

FRÄNNE, L., 2007. Hammarby Sjöstad – a unique environmental project in Stockholm. Disponível em http://large.stanford.edu/courses/2014/ph240/montgomery2/docs/HS_miljo_bok_eng_ny.pdf [Consultado em dezembro de 2018].

Future Communities, s/d. Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden, 1995 to 2015 – Building a “green” city extension. Disponível em <https://www.futurecommunities.net/case-studies/hammarby-sjostad-stockholm-sweden-1995-2015> [Consultado em novembro de 2018].

KUMPORT, 2018. Kumport / KG Minarlık. Archdaily. Disponível em <https://www.archdaily.com/899809/kumport-kg-mimarlik> [Consultado em dezembro de 2018].

Hammarby Sjöstad, 2010. Hammarby Sjöstad. Disponível em <https://www.slideshare.net/cjno/hammarby-sjostad> [Consultado em novembro de 2018].

IGNATIEVA, M. E., 2014. Hammarby Sjöstad — A New Generation of Sustainable Urban Eco-Districts. Disponível em <https://www.thenatureofcities.com/2014/02/12/hammarby-sjostad-a-new-generation-of-sustainable-urban-eco-districts/> [Consultado em dezembro de 2018].

KMD Architects, s/d. The Grove & Farmer's Market Master Plan. Disponível em <http://www.kmdarchitects.com/the-grove/> [Consultado em dezembro de 2018].

KONSTANTINOVAS, B. 2018. Estudo do Metabolismo Urbano Regional no setor da Construção Civil. Contribuições no âmbito da Agenda Regional de Economia Circular da Região de Lisboa e Vale do Tejo (RLVT) para a revalorização dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

MANNA, A. K., 2015. Hammarby Sjöstad-From failure to twice as good. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/309379553_HAMMARBY_SJOSTAD_-_From_Failure_to_twice_as_good [Consultado em novembro de 2018].

Mapcarta, s/d. Økosamfundet Dyssekilde. Disponível em <https://mapcarta.com/ChIjIxA0iVMNUkYRo9aCB1X3dQo> [Consultado em dezembro de 2018].

MOTA, M. 2011. Avaliação da situação em matéria de gestão de resíduos de construção e demolição. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Lisboa.

Nações Unidas, 2018. Goal #12: Responsible Consumption & Production. Disponível em <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2018/09/Goal-12.pdf> [Consultado em novembro de 2018].

OLIVIERI, H. et al, 2017. A utilização de novos sistemas construtivos para a redução no uso de insumos nos canteiros de obras: Light Steel Framing. Publicação: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 45-60, out./dez. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212017000400045 [Consultado em outubro de 2018].

OOPEAA, s/d. Puukuokka Housing Block. Disponível em <http://oopeaa.com/project/puukuokka-housing-block/> [Consultado em dezembro de 2018].

PARHIZGAR, S. 2013. Towards a Sustainable Neighbourhood. Turning the vision into reality. Dissertação de Mestrado. Uppsala University, Department of Earth Sciences.

- PEREIRA, M. G., 2015. O Acordo de Paris (COP 21) e o Novo Pacote da UE para a Economia Circular. Periódico Indústria e Ambiente 95 –Nov/Dez 2015, p. 46-47.
- PNGR, 2014. Plano Nacional de Gestão de Resíduos. Rev. 2014-2020. Disponível em http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Planeamento/PNGR_rev_20141107_clean.pdf [Consultado em abril de 2018].
- PNGR, 2015. Plano Nacional de Gestão de Resíduos. Diário da República – Resolução do conselho de ministros n.º11-C/2015. Disponível em <https://dre.pt/application/conteudo/66762671> [Consultado em março de 2018].
- SPOSTO, R. M. et al, 2016. Energia incorporada e emissões de CO2 de fachadas de light steel framing no Brasil. Publicação em revista: Oculum ens. Campinas, 13(1), p.163-182. Janeiro-Junho 2016.
- STEVENS, M. s/d. Karow Nord Housing. Berlim, Alemanha. Disponível em <http://www.moorerubleyudell.com/projects/karow-nord-housing#> [Consultado em dezembro de 2018].
- TANGHAO, et al. 2011. Reuse of reclaimed materials in construction—from the Process Analysis of BedZED. Applied Mechanics and Materials Vols 99-100 (2011) pp 433-439. © (2011) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.99-100.433
- TEIXEIRA, João et al. A Centenary of Spatial Planning in Europe. Editor ECTP European Council of Spatial Planners. Osman Publishing (2013). 249 pages. ISBN9994931482.
- TEIXEIRA, João Pereira et al. Declaração de Cascais “more of the same is not enough”, aprovada na X Bienal das Cidades e dos Urbanistas da Europa, com o tema “Novos Paradigmas, Desafios e Oportunidades das cidades europeias”. ETCP-CEU. Cascais, 2013;
- TEIXEIRA, João Pereira. “European Spatial Planning and Cooperation”, comunicação apresentada na Conferência Habitat II em Quito, em representação do ETCP-CEU, realizada no Quito, 20 outubro (2016);
- TEIXEIRA, João Pereira. Artigo “Smart cities tackling cities turning point”, na publicação “Quality of Space – Quality of Life: Planning for Urban Needs of diverse timeframes”. AESOP ed, 2017;
- TEIXEIRA, João Pereira; Bento, Nuno Ventura. 25th APDR Congress: Circular Economy, Urban Metabolism and Regional Development: Challenges for a Sustainable Future. Artigo publicado, 2018;
- Terra Award, 2016. Garden of Cota. Disponível em <http://terra-award.org/project/garden-city-of-cota/> [Consultado em dezembro de 2018].
- TINGLEY, D. D. et al., 2017. Understanding and overcoming the barriers to structural steel reuse, a UK perspective. The Department of Engineering, The University of Cambridge, UK. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.006>
Journal of Cleaner Production 148 (2017) 642e652
- TWINN, C., 2016. BedZED. Sustainability Urban Communities – The reality. Enviro 04, paper e4329. Visit copenhagen, s/d. Eco-Village Syssekilde. Disponível em <https://www.visitcopenhagen.com/copenhagen/eco-village-dyssekilde-gdk538892> [Consultado em dezembro de 2018].
- VV Residence..., 2018. VV Residencia / 10° 84° Arquitectura. Archdaily. Disponível em <https://www.archdaily.com/891415/vv-residence-10-at-84-at-arquitectura> [Consultado em dezembro de 2018].
- WRAP, s/d. Waste Reduction Potential of Light Steel Frame Construction. WAS 003-003: Offsite Construction Case Study.

World Economic Forum, 2016a. Shaping the Future of Construction A Breakthrough in Mindset and Technology. Em colaboração com The Boston Consulting Group. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report__.pdf [Consultado em: setembro de 2018].

World Economic Forum, 2016b. Can the circular economy transform the world's number one consumer of raw materials? Disponível em <https://www.weforum.org/agenda/2016/05/can-the-circular-economy-transform-the-world-s-number-one-consumer-of-raw-materials/> [Consultado em setembro de 2018].

YUDELL, B., 2001. Housing Futures: Making Place or Marketing Product? Publicado em 2nd quarter 2001, in arcCA 01.2, "Housing Complex." Disponível em <http://www.aiacc.org/2018/02/21/housing-futures-making-place-marketing-product/> [Consultado em dezembro de 2018].

ZedFactory, s/d. BedZed. Disponível em <https://www.zedfactory.com/bedzed> [Consultado em dezembro de 2018].