CrITÉrios para Avaliação do Potencial de Desmonte e Reciclagem de Materiais de Sistemas Construtivos Inovadores

11

Letícia Mattaraia

Andreia Martins

Márcio Minto Fabricio

1. Introdução ao Desmonte

Este capítulo aborda o tema do Desmonte e Reciclagem de Sistemas Construtivos Inovadores voltados para o setor da construção civil. Muitos arquitetos especificam materiais resistentes e duráveis com intenção de fazer uma obra consistente e que resista por muitos anos. No entanto, as cidades passam por alterações constantes e, muitas vezes, é necessária a demolição ou retirada de elementos para a manutenção.

O setor da construção civil é um grande consumidor de matérias-primas e gera muito desperdício, portanto, é importante procurar alternativas para a demolição e averiguar se existem meios para facilitar a reciclagem e o reuso dos materiais utilizados.

Os autores Rocha e Sattler (2009), John (2000), Tessaro e Sá et al. (2012) afirmam que esse setor é um grande consumidor de energia e matérias primas, além de poluidor devido à elevada quantidade de materiais que são desperdiçados e despejados.

Dessa maneira, é importante considerar as possibilidades de desmonte dos sistemas inovadores, para que no futuro os seus resíduos não gerem graves consequências ambientais, e também para possibilitar a ampliação do seu ciclo de vida, além de evitar que novos materiais precisem ser fabricados, economizando os recursos naturais.

Portanto, a adoção de práticas mais sustentáveis na fase de demolição é uma questão a ser considerada, pois essa etapa contribui com uma grande porcentagem da quantidade total de resíduos gerados (ROCHA; SATTTLER, 2009). Assim, foram pesquisadas diversas características que podem facilitar o desmonte sem que haja danos aos componentes e materiais, viabilizando a sua reutilização.

Com base na revisão bibliográfica sobre o tema e na realização de estudos empíricos, foi possível desenvolver critérios de avaliação que auxiliem o desmonte e a reciclagem de materiais que podem servir de parâmetros para avaliar a facilidade do desmonte de sistemas construtivos inovadores. Os critérios focam pontos importantes a serem considerados nas tomadas de decisões ao longo do projeto. Também fornecem orientações para o desenvolvimento de novos sistemas construtivos, pois cada vez mais são exigidas pelos clientes e órgãos reguladores soluções que reduzam o desperdício e o impacto ambiental.

2. Lógica de Projeto do Sistema

O Projeto para o Desmonte é uma tradução da expressão em inglês *Design for Disassembly* (DfD). Esse conceito é mais utilizado em outros setores industriais, como automobilístico e eletrônico. No entanto, pode oferecer orientações para o setor da construção civil, como princípios e práticas (AMOËDA, 2009).

Diversos autores brasileiros utilizam a expressão Projeto para o Desmonte ou Projeto para a Desconstrução. Este último termo, muitas vezes, é citado para se referir a uma obra que foi construída sem a intenção de ser desconstruída, porém são utilizadas algumas soluções para que essa ação seja possível. Dessa maneira, a expressão Projeto para o Desmonte será mais utilizada, uma vez que reflete melhor o conceito de projetar para um futuro desmonte de subsistemas, componentes e materiais, prática que seria a ideal quando o intuito é a reutilização dos materiais. Além disso, quando se remete ao termo Desconstrução, na arquitetura, pode se confundir ao movimento “desconstrutivista”, que não tem qualquer relação com o assunto em questão.

O Projeto para o Desmonte visa facilitar a desmontagem, pois propõe um *design* que considere maneiras de retirar os materiais e componentes de forma que seja possível a reutilização ou reciclagem (THORMARK, 2001). Além disso, o projetista deve tomar decisões de projeto considerando a vida útil,

custos e questões ecológicas em todo o ciclo de vida dos materiais (KLOHN; FERREIRA, 2009).

Figura 1. Representação do ciclo de vida dos materiais (do Berço ao Berço) (Autor).

Esse conceito pode ser aplicado durante o projeto de arquitetura do edifício, ou até mesmo antes, no desenvolvimento de novos sistemas construtivos que facilitem o desmonte e o reaproveitamento de materiais. Conforme indicado na figura 1, o ideal seria que o material tivesse um ciclo de vida de berço ao berço, ou seja, que pudesse ser reciclado ou até reutilizado, para evitar desperdício ou consumo excessivo de matérias-primas.

A avaliação do potencial de Desmonte é uma abordagem inovadora, pois deve considerar todo o ciclo de vida dos materiais nessa fase (GUY; ROCHA, 2005). Diversos aspectos devem ser analisados durante o desenvolvimento do sistema construtivo, a fim de se considerar e ampliar a possibilidade de desmonte não destrutivo dos materiais e componentes. Assim, ao considerar um sistema construtivo inovador, é importante verificar sua composição, ciclo de vida, durabilidade, entre outras características, para possibilitar o desmonte correto e aumentar as possibilidades de reuso e reciclagem.

Gehin, Zwolinski e Brissaud (2008), Soares, Souza e Pereira (2000), Rocha e Sattler (2009), Edwards e Bennett (2003), Guy e Rocha (2005), Go et al. (2011), Lee e Cho et al. (2010) falam sobre a importância da ACV

(Avaliação do Ciclo de Vida) dos produtos e procuram fechar o ciclo de vida dos constituintes de um sistema construtivo, dado que o ideal é que cada material seja utilizado até o seu desgaste e posteriormente reciclado.

No entanto, é importante priorizar a reutilização, pois na reciclagem há consumo de energia, matérias-primas e transporte. Portanto, se o material puder ser reutilizado sem perder as suas características originais, é possível obter uma maior economia.

Figura 2. Hierarquia da gestão de resíduos para a demolição e operações de construção (adaptado de: KIBERT; CHINI, 2000).

Além disso, para se projetar um sistema construtivo que venha a ser desmontado, torna-se necessário considerar metas econômicas e de responsabilidade ambiental, pois tal atitude visa recuperar componentes e materiais, além de simplificar as reparações, renovações e substituições (GUY; ROCHA, 2005). O projetista pode considerar diversos aspectos dos materiais, como a vida útil, o custo e as questões ecológicas em todo o ciclo (KHLOHN; FERREIRA, 2009). Afinal, o potencial do Desmonte pode

reduzir significativamente grande quantidade de resíduos sólidos originários da demolição (GUY; ROCHA, 2005).

Algumas características específicas da indústria da construção civil dificultam o potencial para o Desmonte em relação aos outros setores industriais. Brewer e Mooney (2008) citam alguns exemplos:

- A dificuldade de identificação de componentes individuais e produtos com dados significativos de reciclagem;
- Os altos níveis de utilização dos materiais genéricos e compostos utilizados na construção;
- A disparidade entre o projetado e a realidade construída, em que há substituições não autorizadas de produtos especificados por outros materiais;
- Cuidados com os componentes do sistema construtivo em relação à toxicidade dos produtos e com o uso de materiais e revestimentos que atualmente são considerados seguros e aceitáveis, mas que, mais tarde, podem ser considerados perigosos para a saúde ou para o meio ambiente.

Além disso há três pontos centrais que devem ser considerados ao se projetar para o desmonte: realizar de maneira sustentável, considerar os diferentes sistemas construtivos dos edifícios e a hierarquia dos diferentes materiais e componentes (CROWTHER, 2005).

O edifício é composto por diversos componentes e materiais, portanto, é importante analisar como os sistemas construtivos serão relacionados. Segundo Heriqson, Rocha e Sattler (2008) os sistemas construtivos podem ser definidos da seguinte maneira:

- **Materiais:** sem função específica (cimento, areia, pintura, placas, perfil de aço);
- **Componentes:** produtos com funções definidas (janelas, fechamentos);
- **Subsistemas:** materiais com componentes que têm funções próprias (módulos sanitários, estruturas, vedações, cobertura, fachada);

Portanto, analisar como será a relação entre materiais, componentes e subsistemas durante o desenvolvimento do projeto do sistema construtivo

é essencial para se obter melhores resultados na futura desmontagem e na reutilização, sem comprometer os materiais e componentes. Isso também auxilia na manutenção do edifício, uma vez que a obra pode passar por diversas alterações e substituições ao longo de sua vida útil (CROWTHER, 2005; HERIQSON; ROCHA; SATTLER, 2008).

A seguir, serão apresentados os critérios a serem analisados ao longo do desenvolvimento do projeto para se obter o melhor resultado na futura desmontagem do edifício. Posteriormente, apresenta-se um *checklist* que serve como uma ferramenta para contribuir com o processo de desmonte.

Critérios para a Avaliação do Potencial de Desmonte e Reciclagem Relativo ao Projeto de Sistemas Construtivos:

- C1. Projetar de maneira que facilite o desmonte** - O ponto de partida é considerar o DfD desde o início do projeto. Assim, conforme as decisões tomadas, é possível considerar opções que facilitem a desmontagem (SANTINI e HERMAN, 2010; HERIQSON, ROCHA e SATTLER, 2008; WEBSTER e COSTELLO, 2005);
- C2. Considerar o porquê, o que, onde e quando desmontar** - torna o processo mais racionalizado e eficiente. Tais perguntas auxiliam no processo do projeto para encontrar soluções que facilitem a desmontagem. Por exemplo, a pergunta “porque é necessário desmontar?” ajuda a identificar, por exemplo, a causa do desmonte, se o sistema construtivo está danificado, se encerrou o ciclo de vida ou se mudou de uso. Já o questionamento sobre o que será desmontado, ajuda a programar melhor as ações sem que se danifiquem outros elementos. A indagação “Onde desmontar?”, por sua vez, pode auxiliar na projeção de espaços para a desmontagem. E a investigação de quando desmontar é importante para saber as características e ciclo de vida dos elementos (CROWTHER, 2005);
- C3. Orientar os clientes e usuários sobre as possibilidades de projeto abordadas ao longo de seu desenvolvimento** - deixar o cliente ciente das decisões tomadas e da importância de considerar o desmonte (CROWTHER, 1999 e 2005);

- C4. Evitar o excesso de ferramentas** - considerar maneiras simples de desmontar e ferramentas fceis de serem manuseadas (ROMEIRO FILHO, 2010);
- C5. Considerar a relao entre custo e tempo** - muito importante para tornar a desmontagem vivel (GO, WAHAB et al., 2011);
- C6. Utilizar estruturas simples** - quanto mais complexo o sistema construtivo, mais difcil a sua padronizao, construo e futura desmontagem, pois cada elemento estrutural dever ser desmontado de uma maneira e, se for muito complexo, a desmontagem pode demorar muito tempo e, muitas vezes, at danificar os materiais (ROMEIRO FILHO, 2010; WEBSTER e COSTELLO, 2005);
- C7. Adotar sistemas construtivos abertos** - projetos com plantas abertas e *layouts* simplificados possibilitam uma melhor manuteno do sistema construtivo, sem precisar intervir em outros sistemas do edifcio. Alm disso, torna o sistema mais flexvel para diferentes usos. Na desmontagem, os sistemas construtivos abertos permitem melhor acesso aos elementos e, eventualmente, podem dispensar a necessidade de demolio (YUBA, 2005; WEBSTER e COSTELLO, 2005);
- C8. Evitar misturar diferentes sistemas construtivos** - para cada sistema, h uma maneira de desmonte, que serve de ferramentas especficas, assim, ao utilizar o mesmo sistema construtivo em todo o edifcio, a desmontagem mais eficiente (WEBSTER e COSTELLO, 2005);
- C9. Utilizar sistemas modulares** - torna a construo e desmontagem mais racionalizadas, visto que se repetem tamanhos de elementos e sistemas de encaixes, o que facilita a desmontagem por conta do uso das mesmas ferramentas e dos mesmos sistemas (GUY e SHELL, 2002; WEBSTER e COSTELLO, 2005);
- C10. Utilizar elementos pr-fabricados** - quando os elementos seguem uma padronizao e so pr-fabricados, a construo e a desmontagem tornam-se mais prticas;
- C11. Evitar elementos de grandes dimenses, considerando a escala humana** - facilita a desmontagem e evita riscos maiores para os

operários ao simplificar o manuseio de ferramentas e materiais, além do transporte e armazenamento (GUY e SHELL; 2002);

C12. Procurar soluções estruturais que facilitem a reutilização – estabelecer um acordo entre proprietário, arquiteto e engenheiro para projetar de maneira integrada e buscar as melhores soluções estruturais (GUY; SHELL, 2002; WEBSTER, COSTELLO, 2005);

C13. Prever a sequência do desmonte - avaliar quais materiais e componentes podem ser desmontados primeiro, sem danificar os outros, no fim de vida útil do sistema construtivo (GO; WAHAB et al., 2011);

C14. Considerar os diferentes subsistemas do edifício - esse item está ligado ao anterior, pois é necessário considerar a maneira como os materiais e os componentes são interligados e como podem ser desmontados sem que se danifiquem (HERIQSON; ROCHA e SATTLE, 2008; GUY e SHELL, 2002; CROWTHER, 2005; WEBSTER e COSTELLO, 2005);

C15. Evitar que sistemas elétricos e hidráulicos fiquem embutidos - em muitas construções, os sistemas elétricos e hidráulicos são embutidos nas paredes de alvenaria, assim, para removê-los, é necessário danificar as paredes e, em muitos casos, os próprios sistemas também. Quando o sistema for embutido é necessário prever compartimentos visitáveis (GUY e SHELL, 2002; WEBSTER e COSTELLO, 2005);

C16. Concentrar os sistemas hidráulicos e elétricos no mesmo local - Ponto central para facilitar a desmontagem e a manutenção (GUY e SHELL, 2002);

3. Conexões

Analisar como serão as conexões também é imprescindível, pois pode tornar o processo de desmontagem mais rápido e eficiente, bem como garantir o desmonte não destrutivo dos materiais. Durmisevic e Noort (2003) apresentam algumas conexões na ordem das que mais contribuem para as que mais danificam os materiais:

- Encaixadas;

- Conectores com acessórios externos;
- Conectores com acessórios integrados;
- Conectores integrados;
- Peças com dispositivos para conexões integradas;
- Ligações químicas.

As conexões feitas por meio de encaixes são as que menos danificam as peças do edifício quando é necessário o desmonte. A utilização de acessórios externos ou outras peças (pregos, parafusos, etc.) para unir os elementos, por sua vez, podem danificar as peças na desmontagem. Já quando são usadas ligações químicas (cola, argamassa, etc.), os materiais são ainda mais danificados na desmontagem, dificultando, ou até impossibilitando o seu reuso e reciclagem.

Como os edifícios são compostos por diferentes subsistemas, materiais e componentes, é fundamental considerar como são feitas as suas conexões.

Critérios para a Avaliação do Potencial de Desmonte e Reciclagem Relativamente às Ligações e Conexões:

- C17. Unir os materiais e elementos de maneira que facilite o processo de desmontagem** - considerar as ligações e conexões é um ponto fundamental para facilitar a futura desmontagem do edifício (SANTINI, HERMAN, 2010; ROMEIRO FILHO, 2010);
- C18. Evitar ligações químicas, utilizando pregos, parafusos e conectores** - quando as ligações são feitas por argamassas ou cimento, por exemplo, provavelmente os materiais serão danificados. O uso de pregos, parafusos e conectores podem provocar pequenos danos nos elementos, no entanto, ainda assim é possível haver reutilização. A situação ideal seria tentar encaixar os componentes do sistema construtivo para que as diversas peças não sejam danificadas (HERIQSON; ROCHA e SATTLER, 2008; CROWTHER, 1999; GUY e SHELL, 2002; WEBSTER e COSTELLO, 2005);
- C19. Facilitar a ligação dos elementos e montagens dos componentes** - as ligações podem ser facilitadas quando se utiliza ferramentas de

fácil manuseio e precisa-se de poucos trabalhadores (WEBSTER; COSTELLO, 2005; GUY; SHELL, 2002; YUBA, 2005);

C20. Propor ligações independentes - dessa maneira, é possível desmontar os elementos sem interferir em outras partes da estrutura (HERIQSON; ROCHA e SATTLER, 2008; CROWTHER, 2005);

C21. Utilizar conectores que resistam à montagem e desmontagem - alguns conectores podem se romper com a montagem e a desmontagem, não podendo, portanto, ser reutilizados (HERIQSON; ROCHA e SATTLER, 2008; GUY e SHELL, 2002; WEBSTER e COSTELLO, 2005);

C22. Padronizar os conectores - é importante para tornar a desmontagem mais rápida e eficiente, pois são utilizadas as mesmas ferramentas e o mesmo número de profissionais;

C23. Reduzir o número de conectores - Quantos menos conectores, mais rápida poderá ser a desmontagem. Prever a construção com conectores fáceis de serem removidos, de maneira prática e menor quantidade ajuda na desmontagem (WEBSTER e COSTELLO, 2005);

C24. Prever possibilidades de reuso dos conectores - é importante considerar a reutilização dos conectores, para que se diminua a quantidade de resíduos na desmontagem (HERIQSON; ROCHA e SATTLER, 2008; WEBSTER; COSTELLO, 2005);

4. Materiais e Componentes

Analisar os materiais e componentes é fundamental, pois influencia diretamente no resultado da desmontagem. Alguns materiais podem facilitar ou dificultar o processo, portanto, é necessário considerar a maneira em que serão conectados aos edifícios, além das características de seu ciclo de vida.

É importante considerar a análise do ciclo de vida do edifício e dos materiais utilizados para analisar o impacto ambiental causado por todas as etapas da construção, da utilização e da desmontagem. Além disso, deve-se priorizar a reutilização à reciclagem para evitar a remanufatura.

Figura 2. Possíveis cenários para o fim de vida do edifício. Adaptado de (CROWTHER, 2001).

Os sistemas construtivos que são convencionalmente constituídos de concreto armado ou estruturas metálicas com paredes de alvenaria que contêm canalizações embutidas para a fiação elétrica não possuem uma fácil desmontagem, e o tipo e a quantidade de componentes de construção recuperáveis é limitado. As ligações com argamassa que são utilizadas em conexões estruturais e não estruturais são a principal razão para a dificuldade da desconstrução. A severa queda na qualidade dos materiais reciclados e o uso de argamassa de cimento em muitas das articulações não estruturais são alguns dos motivos de impossibilidade na reciclagem de determinados materiais (SAGHAFI; TESHNIZI, 2011).

Os materiais e componentes descritos a seguir (madeira, aço, alvenaria, e concreto) são alguns dos mais encontrados nos edifícios na atualidade. É importante refletir como os seus sistemas construtivos podem facilitar no desmonte, e como se pode melhorar a eficiência do processo de reutilização e reciclagem dos elementos que tais materiais constituem.

4.1. Madeira

A madeira é um recurso natural renovável e, como tal, pode ter um impacto ambiental muito baixo quando comparado a outros materiais e, desde que bem especificada e utilizada, há uma grande possibilidade de reutilização, o que contribui para a redução da poluição ambiental do setor da construção. O crescimento da reutilização de itens de elevado valor, como grandes seções de vigas e pisos de madeira, os quais tem potencial para aumentar significativamente a quantidade de madeira adequada para a reutilização na construção, torna-se positivo do ponto de vista ambiental (HOBBS; HURLEY, 2001).

É importante que se utilize madeira com certificado de origem, a fim de não se contribuir com o desmatamento de florestas naturais. Ao ser certificada, a madeira recebe um selo que fornece informações sobre a classe de resistência, o grupo e a origem das espécies. Essas informações podem ser usadas para assegurar que a madeira se encontra certificada por um perito (HOBBS; HURLEY, 2001).

Muitos componentes de madeira que são recuperados a partir de estruturas existentes contêm pregos e parafusos que devem ser removidos antes da reutilização ou reciclagem, esse processo é bastante demorado, visto ser realizado manualmente. E, em geral, apenas se revela economicamente viável para itens de alto valor, tais como grandes seções de vigas. Muitos componentes de menor valor terão de estar livres de pregos e parafusos, para que possam ser reciclados na produção de novos elementos (HOBBS; HURLEY, 2001).

Os sistemas de madeira estrutural têm um alto potencial para o reuso no fim de vida útil de um edifício. Existem exemplos de novas estruturas construídas com a utilização em abundância de madeira recuperada. Infelizmente para os engenheiros estruturais, grande parte dessa madeira recuperada não acaba em estruturas, em vez disso é serrada para pisos, móveis ou outros acabamentos,

dificultando, deste modo, a sua futura reutilização como madeira estrutural (WEBSTER; COSTELLO, 2005).

As grandes madeiras são uma fonte comprovada de aproveitamento estrutural. A dimensão de madeira serrada provou que extrair a dimensão intacta é um processo demorado. O processo de desmontagem deve ser realizado com o máximo de cuidado para evitar danificar o material. Os riscos mais frequentes no processo de desmonte são os recortes e danificação das extremidades ao se retirar e transportar os materiais. Por vezes, os detalhes técnicos da construção obrigam a realização de recortes nos materiais para o seu desmonte. As ligações são outro fator que também complicam o seu desmonte, em vez de pregos, parafusos e porcas, que são mais difíceis para remover, podem ser especificadas ligações de encaixe (WEBSTER; COSTELLO, 2005).

A madeira é um material altamente preferível em um projeto para a desconstrução, desde que seja flexível tanto para a reutilização como para a reciclagem. É um material “natural” e pode ser prontamente conectado por diversos dispositivos de conexões e encaixe (GUY; SHELL, 2002).

4.2. Aço

A indústria siderúrgica causa grave impacto ambiental. Após a demolição, parte do aço utilizado pode ser reciclado, no entanto, é importante buscar soluções para que esse material seja reutilizado sem que precise ser reciclado, devido à grande quantidade de energia requerida no processo.

O desafio será aumentar a quantidade de aço a reutilizar, em vez de reciclá-lo. Apesar do seu elevado potencial de reciclagem, esse processo consome muita energia. Isso impõe a necessidade de incorporar um projeto para o desmonte em novos edifícios e desenvolver novas ferramentas e técnicas para maximizar a reutilização dos materiais de edifícios existentes por meio desse processo (HOBBS; HURLEY, 2001).

Criar ligações aparafusadas simplifica a desmontagem, em contrapartida ligações soldadas oferecem a vantagem de exigir menos modificações nos materiais, tais como os orifícios dos parafusos. Já o aparafusamento simplifica o processo de desmonte. Além disso, é necessário desenvolver outras tecnologias que permitam a conexão entre materiais no intuito de minimizar as modificações de fabricação, tais como furos, encaixes ou prensas. Selecionar

tamanhos padronizados e geometrias de conexão que minimizam o uso de reforços e de outros acessórios soldados também facilita a reutilização do aço. Outro processo possível de ser explorado seria o estabelecimento de um *kit* de acessórios para ser utilizado nos edifícios com estruturas de aço. A ideia seria a de limitar o número de formas e comprimentos utilizados na construção civil e estabelecer regras de conexão e os tipos de materiais que permitam a reutilização sem qualquer modificação adicional (WEBSTER; COSTELLO, 2005).

O fornecimento de uma ferramenta para a remoção automatizada dos parafusos e conexões poderia aumentar o número de seções disponíveis para a reutilização, em vez da reciclagem. Os métodos atuais para a remoção de feixes são suscetíveis de conduzir a uma distorção na proximidade da ligação, com um requisito para cortar o aço no solo. A indústria de demolição desenvolveu trituradores e pulverizadores para permitir o reforço do vergalhão a ser removido a partir de estruturas de concreto armado. Também houve a recente evolução do guindaste, desenvolvido para a demolição de edifícios altos, que permite o corte ao girar até 360 graus, provocando o cisalhamento nos materiais (HOBBS; HURLEY, 2001).

4.3. Alvenaria

A alvenaria tem uma longa história de reutilização. A pedra natural usada em edifícios antigos foi muitas vezes reutilizada em novas construções. Além disso, ela pode sempre voltar para a pedreira e ser cortada como se fosse uma nova pedra, pois tem uma elevada durabilidade e é fácil de ser desmontada se for assentada com argamassas de cal ou conexões de encaixe (WEBSTER; COSTELLO, 2005).

O tijolo também é um dos materiais mais populares disponível como material recuperado por ser resistente e ter uma aparência confortável e acolhedora, além da facilidade da produção em massa. A razão para ser recuperado com sucesso é que as argamassas de cal são as mais suaves e podem ser facilmente removidas. Infelizmente, é extremamente difícil separar quando a argamassa foi produzida com cimento *Portland*. Além disso, quando parte da construção de alvenaria é reforçada em aço, o processo é dificultado e o material pode ser danificado. Os códigos de construção exigem que a alvenaria estrutural em regiões sismicamente ativas seja reforçada para tornar a construção mais segura durante os terremotos. O reforço é tipicamente incorporado com

argamassa de cimento *Portland*, o que torna impossível reutilizar qualquer um dos materiais constituintes (WEBSTER; COSTELLO, 2005).

4.4. Concreto

O concreto é um dos materiais estruturais mais desafiadores quando se trata de projetar para reutilização futura. É difícil imaginar como os constituintes do concreto moldado poderão ser recuperados. A sua estrutura é formada por um conjunto contíguo, sem junções convenientes em que possam ser separadas. Os elementos estruturais são pesados e difíceis de transportarem. Os componentes estruturais têm, muitas vezes, um *design* personalizado para a sua aplicação. E é impossível ver como os membros são reforçados a partir do exterior, de modo que o engenheiro, no futuro, não terá a informação sobre como será a sua manutenção e reutilização. A melhor opção para concreto, hoje em dia, será a reciclagem. O concreto pré-moldado oferece maior potencial de reutilização do que o concreto moldado no local. Os pré-fabricados vêm frequentemente em tamanho padrão e com quantidades padrão de reforço (WEBSTER; COSTELLO, 2005).

Na maioria dos edifícios com estrutura em concreto, são colocadas armações em aço no local e, portanto, precisam ser demolidos destrutivamente. Os elementos de concreto não podem, dessa forma, ser reutilizados na sua forma original. Por outro lado, as armações no concreto pré-moldado incorporado em vigas, pilares, lajes de escada e alveolares são mais simples de serem desmontadas, já que as articulações são simplesmente suportadas. Uma barreira que existe, entretanto, é a de não haver nenhuma norma sobre os sistemas de articulação, além de não serem projetados considerando seu desmonte, embora estejam sendo desenvolvidos métodos novos e inovadores e que, esperançosamente, incluem sistemas de desmontagem de juntas. Os sistemas de pavimento pré-moldado são frequentemente usados e são, talvez, os mais simples dos componentes do concreto a serem desmontados e reutilizados. No entanto, eles são por vezes cobertos com uma camada de concreto de 50 mm, moldada no local, o que significa que é necessário recorrer à demolição destrutiva. As vigas pré-moldadas são frequentemente pré ou pós-tensionadas e podem ser muito perigosas para demolir, pois necessitam de cuidados especiais (HOBBS; HURLEY, 2001).

A alta pressão do jato de água, presente na técnica mais conhecida como hidrodemolição, é frequentemente usada para cortar concreto em situações

de reparação e deixa tanto o aço de reforço como o concreto circundante limpos e reutilizáveis. A lança térmica e outros métodos de demolição de aquecimento poderiam ser mais amplamente utilizados no futuro, como a aplicação de técnicas que cortam concreto armado, deixando uma maior parte do elemento intacto. No entanto, existe um crescimento na área da reutilização de componentes de concreto na sua forma original. Um exemplo disso é a pavimentação de blocos de concreto que está sendo usada cada vez mais nas calçadas, parques e estacionamento. Tais blocos podem ser desmontados e reutilizados rapidamente e com baixo custo quando necessário (HOBBS; HURLEY, 2001).

O concreto tem uma grande durabilidade como material estrutural e resistência à compressão. É utilizado como reforço para a formação de pavimentos e elementos integrantes e também pode atuar como envolvente e acabamentos do edifício. Esse material é altamente reciclável, mas não é fácil de ser reaproveitado quando está contaminado por outros componentes de construção. Assim, é necessário avaliar os custos para removê-lo, com a finalidade de reciclar os componentes de concreto, a menos que sejam utilizados meios mecânicos (GUY; SHELL, 2002).

A indústria cimenteira já considera o foco ambiental como parte de sua estratégia competitiva, valorizando economicamente os seus resíduos e diversificando o seu mercado consumidor. Esse interesse levou à construção da primeira fábrica brasileira de cimento que não dispõe de forno próprio para a produção de clínquer a cimento Mizu. Essa fábrica opera produzindo cimento CPIII que é adquirido pelo Oriente e também pelo mercado nacional. Os efeitos ambientais desse tipo de cimento são substancialmente menores do que os gerados pelo cimento *Portland* comum, significativamente perceptíveis quando se avalia o ciclo de vida do novo cimento. Notadamente, as emissões ao meio ambiente e o consumo de matérias-primas são reduzidos. (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

Critérios para a Avaliação do Potencial de Desmonte e Reciclagem Relativamente aos Materiais e Componentes:

C25. Considerar a desmontagem dos materiais utilizados na edificação para aumentar as chances de reutilização – é importante aumentar o ciclo de vida dos materiais usados nas edificações, posto que isso consequentemente reduz o desperdício e a poluição, além de contribuir

para a economia dos recursos naturais na fabricao de novos produtos (CROWTHER, 1999; CROWTHER, 2005, GUY e SHELL, 2002);

- C26. Padronizar os materiais** - torna mais prtica a desmontagem. Muitos materiais, como revestimentos, no so padronizados e mudam muito ao longo dos anos; alm de dificultar a manuteno tambm atrapalha na desmontagem;
- C27. Considerar os diferentes ciclos de vida** - com intuito de programar o melhor momento para substituir os diferentes materiais e evitar que prejudiquem os outros na desmontagem (CROWTHER, 2005; GUY e SHELL, 2002);
- C28. Evitar materiais txicos e danosos** - Alguns materiais, como tintas especficas, podem contaminar o ambiente interno e at mesmo outros materiais. Alm disso, podem poluir o meio ambiente se forem descartados de maneira incorreta (WEBSTER; COSTELLO, 2005; GUY; SHELL, 2002; ROMEIRO FILHO, 2010);
- C29. Incentivar a reutilizao de materiais de outras construes** - diversos materiais, como as madeiras, telhas e peas metlicas, podem ser reutilizados, pois muitas vezes a obra foi demolida no porque estava degradada, e sim por outros motivos, como alterao de uso. Dessa maneira, possvel reutilizar diversos materiais, sem que precisem ser reciclados (WEBSTER; COSTELLO, 2005; HERIQSON; ROCHA e SATTTLER, 2008);
- C30. Considerar as dimenses e pesos dos materiais para facilitar o desmonte e o transporte** - importante utilizar materiais de fcil manuseio, transporte e armazenamento para que o processo se torne vivel (HERIQSON; ROCHA e SATTLE, 2008; GUY e SHELL, 2002; CROWTHER, 1999);
- C31. Considerar materiais que facilitem a desmontagem** - a estrutura metlica aparafusada, por exemplo, mais fcil de ser desmontada e reutilizada do que a estrutura de concreto armado moldado no local. Esta se torna difcil de ser separada, sobretudo sem que sofra danos que impeam sua reutilizao. As estruturas de madeiras tambm podem ser muito bem reaproveitadas, principalmente se forem encaixadas,

uma vez que, dessa forma, não se danificam tanto na desmontagem. Os acabamentos, por sua vez, quando estão encaixados, como os assoalhos de madeira e pisos vinílicos, possuem remoção facilitada em comparação ao porcelanato assentado com argamassa. Também no caso da construção em pedra natural com fixação em argamassa de barro, a desmontagem é muito produtiva, pois permite que se reutilize a pedra natural e que a argamassa se desfaça. No entanto, nas construções com concreto armado moldado no local, o ato de desmontar é mais complicado, pois a estrutura torna-se uma única peça difícil de separar, desmontar, transportar, armazenar e até mesmo reciclar. Nesse caso, é pouco provável a reutilização (WEBSTER; COSTELLO, 2005);

C32. Utilizar materiais duráveis e resistentes - muitos materiais podem ser danificados na desmontagem, portanto, devem ser resistentes para que não percam as suas funções mecânicas (WEBSTER; COSTELLO, 2005, GUY; SHELL, 2002; HERIQSON; ROCHA e SATTTLER, 2008);

5. Informação\Identificação dos Materiais

Um dos meios para projetar para a desmontagem é agilizar a compreensão e a viabilidade de uma sequência de desmontagem, tanto para elementos de construção, como para todo o edifício. É necessária a criação simultânea de um plano de desmontagem, juntamente com um plano de construção e a rotulagem de componentes dos materiais que constituem a edificação, contribuindo significativamente com o processo. Vincular aos produtos uma etiqueta plástica com códigos numéricos para indicar o tipo de plástico, por exemplo, fornecendo instruções para a disposição de materiais, auxiliando o contratante e o processo de desmonte (GUY; SHELL, 2002).

Critérios para a Avaliação do Potencial de Desmonte e Reciclagem Relativamente à Informação e Identificação dos Materiais:

C33. Especificar os materiais que possam ser identificados - a identificação dos materiais é um ponto importante, pois facilita a remoção, venda e reutilização. Diversas tecnologias estão a ser desenvolvidas para que os materiais sejam identificados com mais precisão. Questões sobre

o ano em que foram fabricados, de onde vieram, qual o consumo de dióxido de carbono (CO₂) e até mesmo sobre as propriedades mecânicas que possuem, facilitam na programação da reutilização dos materiais (WEBSTER e COSTELLO, 2005; GUY e SHELL, 2002; CROWTHER, 1999);

C34. Numerar e identificar os conectores para facilitar a montagem e evitar perdas – os projetistas devem documentar os pontos de desmontagem e manter os documentos atualizados para acelerar o processo de desmontagem, pois isso auxilia na racionalização da desmontagem e remoção do processo (CROWTHER, 1999; CROWTHER, 2005; GUY e SHELL, 2002; WEBSTER e COSTELLO, 2005);

C35. Atualizar as informações de projeto - visto que pode haver divergências entre o que foi construído e o que foi projetado, é importante guardar com segurança o projeto “as built” (WEBSTER; COSTELLO, 2005);

Ao considerar estes critérios ao longo do desenvolvimento do projeto, é possível obter melhores resultados na desmontagem, além de diversas outras vantagens. Para Crowther (1999) algumas delas são: a redução do consumo de recursos naturais, a redução da perda de espécies e *habitats*, a redução na geração de resíduos e poluição, além da melhoria da saúde humana e das condições sociais.

Por fim, é necessário repensar sobre o desenvolvimento do projeto e não apenas projetar para que dure o maior tempo possível, pois em muitos casos os edifícios são demolidos porque o contexto urbano e as necessidades mudaram e não somente porque os materiais estavam degradados. Dessa maneira, é possível avaliar melhor os sistemas construtivos inovadores, para que não agravem ainda mais a poluição do meio ambiente. Prever soluções para facilitar a montagem pode tornar a construção mais rápida e eficiente, além de contribuir para a manutenção do edifício. Ao considerar possibilidades para facilitar a desmontagem, é possível reduzir o grande número de materiais desperdiçados, e assim, aumentar a possibilidades de reciclagem e até o reuso dos sistemas e materiais que compõe a edificação.

Considerar o DfD é importante também para diminuir o tempo e o custo da desmontagem, pois apenas questões sustentáveis não são suficientes para convencer empresas e clientes a optarem pela desmontagem no lugar da demolição, que é mais rápida. Portanto, é preciso possibilitar a desmontagem

em um curto prazo e ainda proporcionar a obtenção de lucro com a revenda dos materiais para tornar esse processo mais atrativo.

6. **Checklist de Caracterização**

A Tabela a seguir foi desenvolvida com base nas diretrizes discutidas anteriormente com o intuito de orientar os técnicos de uma Instituição Técnica Avaliadora (ITA) na caracterização e avaliação preliminar do potencial de um sistema construtivo inovador. Apresenta como solução a desmontagem não destrutiva dos seus elementos e de reaproveitamento ou reciclagem de seus componentes e materiais constituídos.

A *checklist* também pode orientar os desenvolvedores de sistemas construtivos inovadores na realização de Projetos para o Desmonte do sistema e também pode ser utilizada pelos projetistas de arquitetura e engenharia com o intuito de avaliar as possibilidades de desmonte do sistema construtivo a ser projetado ou caracterizado.

Além disso, a *checklist* é um importante documento que pode ser utilizado no momento da desmontagem, pois demonstra as características do sistema construtivo que foram consideradas em relação ao DfD.

O ideal é que se tenha o maior número de “atende” possíveis, para que facilite a desmontagem. A *checklist* pode passar por alterações, acréscimo itens e observações, conforme o desenvolvimento do projeto.

Checklist para Caracterização de Sistema Construtivo Quanto à Facilidade de Desmonte

Sistemas construtivos	Critérios referidos	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado
Projeto para o desmonte	C1, C13				
Sistema Construtivo Modular	C9				
O sistema evita elementos de grandes dimensões	C11				
Elementos pré-fabricados	C10				
Estrutura resistente a montagem e desmontagem	C21, C32				
Adoção de sistemas construtivos abertos	C7				
Evita junção de vários sistemas construtivos	C8				
Evita subsistemas embutidos	C15				
É possível acessar todas as partes das edificações	C7				
É possível desmontar com ferramentas manuais	C4, C19				
Foi considerado o transporte dos elementos e materiais desmontados	C11,				
É possível desmontar partes separadas do sistema construtivo sem danificar outras	C6, C13				
A desmontagem dos subsistemas são independentes	C14, C20				
Foi considerado o tempo ideal de desmonte	C5				
Foi prevista a sequência do desmonte na documentação do sistema construtivo	C1, C13				
Foi considerado o custo da desmontagem	C5				
Elementos a serem desmontados são compatíveis com a escala humana	C11				
Todos os elementos do sistema construtivos apresentam baixa toxicidade	C28				

Fonte: adaptado de Mattaraia, 2013.

Checklist para Caracterização de Sistema Construtivo Quanto à Facilidade de Desmonte

Ligações e conexões entre componentes	Critérios referidos	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado
Ausência de ligações químicas	C18				
Conectores resistentes	C21				
Conectores padronizados	C22				
Ligações independentes	C20				
Reuso dos conectores	C24				
Número reduzido de diferentes tipos de conectores	C23				
Conectores numerados segundo a ordem de desmontagem	C17, C34				
Materiais e componentes	Critérios referidos	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado
Materiais padronizados	C26				
Disponibilidade de inventários ACV dos materiais utilizados	C27				
Ausência de materiais tóxicos ou danosos	C28				
Evita materiais compostos	C31				
Materiais leves	C30				
Materiais duráveis	C32				
Priorizou materiais que possam ser reutilizados	C29				
Os materiais utilizados poderão ser desmontados	C25				
Ausência de Revestimentos e acabamento químicos	C31				
Informação e identificação dos materiais	Critérios referidos	Atende	Não atende	Não se aplica	Não verificado
Indicação de composição dos conectores	C33, C34				
Identificação da composição de materiais e componentes	C33, C34				
Projeto e documentos com dados atualizados	C35				
Os pontos de desmonte estão identificados	C34				

Fonte: adaptado de Mattaraia, 2013.

Referncias Bibliogrficas

NGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V.M. *Desenvolvimento Sustentvel e a Reciclagem de Resduos na Construo Civil*, 2001.

AMODA, R. P. C. *Concepo para a desconstruo: abordagem energtica avaliao da efetividade da desconstruo*. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade do Minho, Portugal, 2009.

BREWER, G.; MOONEY, J. A best practice policy for recycling and reuse in building. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, v. 161, n. 3, p. 173-180, Sep 2008.

CROWTHER, P. Design for Disassembly - Themes and Principles. *BDP Environment Design Guide*, 2005.

CROWTHER, P. Developing an Inclusive Model for Design for Deconstruction. In: CHINI, A. (Ed.) *CIB Task Group 39 - Deconstruction*, Annual Meeting, 2001, April 2001, Wellington, New Zealand.

CROWTHER, P. Design for Disassembly to Recover Embodied Energy. *PLEA*. Austrlia, 1999, 6 p.

DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifcios: a importncia da etapa de projeto arquitetnico. *NUTAU*. So Paulo, 2002.

DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. *A Sustentabilidade ao Longo do Ciclo de Vida de Edifcios: A Importncia da Etapa de Projeto Arquitetnico*. So Paulo: Escola Politcnica da Universidade de So Paulo, 2002.

DURMISEVIC, E.; NOORT, N. Re-Use Potential of Steel in Building Construction. *Deconstruction and Materials Reuse*, CIB, Flrida, p. 352-361, 2003.

EDWARDS, S.; BENNETT. Construction products and life-cycle thinking. *UNEP Industry and Environment*, Reino Unido, p. 57-65, abr-set 2003.

GEHIN, A.; SWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase. *Journal of Cleaner Production*, Frana, v.16, p. 566-576, 2008.

GO, T. F. et al. Disassemblability of end-of-life vehicle: a critical review of evaluation methods. *Journal of Cleaner Production*, v.19, p. 1536-1546, set. 2011.

GUY, B.; ROCHA, C. A building lifecycle model based on a design for deconstructions approach. In: *SIMPSIO BRASILEIRO DE GESTO E ECONOMIA DA CONSTRUO*, IV., 2005, Porto Alegre.

GUY, B.; SHELL, S. Design for Deconstruction and Materials Reuse. *CIB Publication*, Rotterdam (Netherlands), 272, 20p., 2002. Disponvel em: < <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB951.pdf>>. Acesso em: fev. 2012.

HENRIQSON, J.; ROCHA, C.; SATTLER, M. Anlise e Descrio do Processo de Demolio de Edificaes. *ENTAC*. Fortaleza, 12, 10 p., 2008.

HOBBS, G.; HURLEY, J. Deconstruction and the Reuse of Construction Materials. CIB: Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy, TaskGroup 39: Deconstruction Meeting, 2001, p. 98-124.

JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil, São Paulo, 2000.

KLOHN, S. C.; FERREIRA, N. F. Sustentabilidade e design para desmontagem – estudo de caso. IN: *Congresso Internacional de Pesquisa em Design*, 5. 2009, Bauru.

KIBERT, C.J.; CHINI, A.R. Introduction: Deconstruction as an essential component of Sustainable Construction. CIB: Overview of Deconstruction in Selected Countries, TaskGroup 39: Deconstruction, 2000, pp. 6-13.

LEE, H. B.; CHO, N. W.; HONG, Y. S. A hierarchical end-of-life decision model for determining the economic levels of remanufacturing and disassembly under environmental regulations. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 13, p. 1276-1283, Sep 2010.

MATTARAI, L.F. *Arquitetura e Sustentabilidade: Considerações sobre o Desmonte das Edificações*. 2013. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

ROCHA, C. G.; SATTLER, M. A. A discussion on the reuse of building components in Brazil: An analysis of major social, economical and legal factors. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, p. 9, 2009.

ROMEIRO FILHO, E. (Coord.). *Projeto do Produto*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 408p.

SAGHAFI, M.D.; TESHNIZI, Z.A.H. Building Deconstruction and Materials Recovery in Iran: An analysis of major determinants. *Procedia Engineering*. 2011 International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities, v. 21, p. 853-863, 2011.

SANTINI, A. et al. Assessment of Ecodesign potential in reaching new recycling targets. *Resources Conservation and Recycling*, v. 54, n. 12, p. 1128-1134, Oct 2010.

SOARES, S. R.; SOUZA, D.M.; PEREIRA, S. W. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: SATTLER, M. A.; PEREIRA, F.O.R. (Eds.) *Coletânea Habitare*, v.7. Rio de Janeiro, 2000, 296p. Disponível em <http://habitare.infohab.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_cap4.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2012.

TESSARO, A. B.; SÁ, J. S.; SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. *Ambiente Construído*, v. 12, n. 2, p. 10, 2012.

THORMARK, C. *Recycling Potential and Design for Disassembly in Building*. Lund, Suécia: KFS AB. 104p. 2001.

WEBSTER, M. D., COSTELLO, D. T. *Designing structural systems for deconstruction: How to extend a new building's useful life and prevent it from going to waste when the end finally comes*. Greenbuild, Conference, Atlanta, GA November, 2005.

YUBA, A. N. *Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais*. 213f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.