

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

HENRIQUE RIBEIRO LACERDA

**A BIOCONSTRUÇÃO COMO ALTERNATIVA VIÁVEL PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2021

HENRIQUE RIBEIRO LACERDA

**A BIOCONSTRUÇÃO COMO ALTERNATIVA VIÁVEL PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**THE BIOCONSTRUCTION AS A VIABLE ALTERNATIVE FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Volmir Sabbi

PATO BRANCO – PR

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

HENRIQUE RIBEIRO LACERDA

**A BIOCONSTRUÇÃO COMO ALTERNATIVA VIÁVEL PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23/novembro/2021

VOLMIR SABBI

Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

NORMELIO VITOR FRACARO

Mestrado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

PAULO CEZAR VITORIO JUNIOR

Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI

Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

PATO BRANCO – PR

2021

Foi acreditando na capacidade transformadora do ser humano que eu executei este estudo. Por isso, dedico este trabalho a todos os seres vivos a quem esta pesquisa possa contribuir de forma direta ou indireta. Dedico também este trabalho à nossa moradia primária como espécie, a Terra.

Em extensão, dedico este trabalho a todos os trabalhadores da construção civil, para que estes se conscientizem do impacto natural atualmente causado pelo setor construtivo e juntos possamos fazer as mudanças e adaptações necessárias para construir de forma permanentemente sustentável.

AGRADECIMENTOS

Venho por meio de palavras, tentar expressar minha gratidão a todas as pessoas envolvidas em meus anos de aprendizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Pato Branco. Agradeço primeiramente à Deus e aos meus pais que me proporcionaram o privilégio, por meio dos recursos e apoio necessário durante todos esses anos de estudo. Em segundo plano, agradeço à Lara Tonin, grande amiga e ex-estudante de Engenharia Civil, que me acolheu e me situou em Pato Branco.

Agradeço os esforços de todos os trabalhadores da universidade, que proporcionam a todos alunos um ambiente de estudo, seguro, limpo, organizado, estruturado, agradável e acolhedor, munido de ótimos Doutores, Mestres, profissionais e recursos de ensino. Mais especificamente, agradeço o prof. dr. Volmir Sabbi, que me auxiliou no processo de desenvolvimento deste trabalho como meu orientador.

Sou grato também por todos os amigos e experiência de vida incríveis que a Universidade me proporcionou.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar os principais aspectos da bioconstrução como alternativa sustentável à construção civil. Para tanto, demonstra a partir de dados, os impactos ambientais e sociais da construção civil, que fazem com que o setor seja um dos (senão, o maior) responsáveis pela poluição e utilização inconsciente dos recursos naturais, causando sérias ameaças à sobrevivência e bem estar das gerações atuais e futuras. Apresenta a ideia de desenvolvimento sustentável e as discussões internacionais sobre o tema, para situar o ramo da construção civil como um dos atores fundamentais para a consolidação das metas globais de sustentabilidade. Introduce, então, o conceito de bioconstrução a partir do entendimento da permacultura, delineando seus principais princípios e perspectivas, como uma metodologia construtiva que visa ao menor impacto possível ao planeta, articulando conhecimentos milenares com tecnologias modernas. A partir daí, apresenta as técnicas de fechamento mais utilizadas, seus materiais e características principais, assim como descreve possibilidades de tratamento e economia de água e demais recursos no projeto bioconstrutivo. O trabalho não tem a intenção de esgotar a diversidade das técnicas, tampouco oferecer material suficiente para sua aplicação prática, mas apresentá-las de forma mais panorâmica para possibilitar uma introdução ao tema, visando estudos mais aprofundados.

Palavras chaves: Bioconstrução. Desenvolvimento Sustentável. Construção Sustentável.

ABSTRACT

This work aims to show the main aspects of bioconstruction as a sustainable alternative to the building and construction industry. Therefore, it demonstrates, based on data, the environmental and social impacts of civil construction, which make the sector one of (if not the most) responsible for the pollution and excessive use of natural resources, causing serious threats to survival and welfare of the current and future generations. It presents the idea of sustainable development and international discussions on the subject, to place the civil construction industry as one of the fundamental actors for the consolidation of global sustainability goals. Then it introduces the concept of bioconstruction based on an understanding of permaculture, outlining its main principles and perspectives, as a constructive methodology that aims at the least possible impact on the planet, articulating ancient knowledge with modern technologies. From there, it presents the most used closure techniques, their materials, and main characteristics, as well as describes possibilities for treatment and saving water and other resources in the bioconstructive project. The work isn't intended to exhaust the diversity of techniques, nor offer enough material for its practical application, but to present them in a more panoramic way to enable an introduction to the theme, aiming at further studies.

Keywords: Bioconstruction. Sustainable development. Sustainable Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cadeia resumida da construção civil	17
Figura 2 - Partes da técnica mista utilizando bambu	47
Figura 3 - Tramas de bambu para construção de pau-a-pique	47
Figura 4 - Prensamento da argamassa de barro na taipa de mão	48
Figura 5 - Casa de Pau-a-pique	49
Figura 6 – Construção em Cob na Inglaterra	49
Figura 7 – Casa Contemporânea de Cob (1)	50
Figura 8 – Casa Contemporânea de Cob (2)	50
Figura 9 – Cafeteria construída em Adobe, Minas Gerais	53
Figura 10 – Arame farpado na construção em superdobe	55
Figura 11 – Colocação de porta na construção em superadobe	55
Figura 12 – Casa de superadobe	55
Figura 13 – Paredes de hiperadobe	56
Figura 14 – Confecção de paredes em taipa de pilão	57
Figura 15 – Forma de Taipa de Pilão (1)	58
Figura 16 – Forma de Taipa de Pilão (2)	58
Figura 17 – Pintura feita com caiação	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo Geral.....	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
1.3	METODOLOGIA.....	13
1.4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2	IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	15
2.1	MINERAÇÃO DE AGREGADOS.....	18
2.2	PRODUÇÃO DE CIMENTO.....	19
2.3	PRODUÇÃO DE FERRO E AÇO (SIDERURGIA).....	20
2.4	RESÍDUOS DO SETOR CONSTRUTIVO.....	23
3	COMPROMISSOS INTERNACIONAIS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	25
3.1	RIO 92.....	27
3.2	RIO+20.....	32
3.3	REALIDADE BRASILEIRA.....	33
3.4	A CONSTRUÇÃO CIVIL E AS CIÊNCIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	33
4	BIOCONSTRUÇÃO NO CONTEXTO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	36
4.1	PERMACULTURA.....	38
4.2	BIOCONSTRUÇÃO.....	39
5	TÉCNICAS BIOCONSTRUTIVAS	46
5.1	TÉCNICAS DE FECHAMENTO.....	46
5.1.1	Pau a pique ou casa de taipa.....	46
5.1.2	Cob.....	49
5.1.3	Adobe.....	51
5.1.4	Superadobe e hiperadobe.....	53
5.1.5	Taipa de Pilão.....	57

5.2 ECONOMIA E REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA E DEMAIS TÉCNICAS BIOCONSTRUTIVAS	60
6 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

A construção civil está presente na sociedade desde os primórdios de sua existência. Segundo Verçosa (2000), as técnicas primitivas utilizavam apenas de matérias-primas naturais, como a madeira, a pedra, o barro e, em menor escala, fibras vegetais e metais, sendo necessário apenas moldá-los de acordo com sua necessidade de utilização. Com o desenvolvimento da ciência, o crescimento populacional e a constante expansão dos centros urbanos, apareceram novas necessidades de construção, às quais exigiam materiais com melhores propriedades físicas, capazes de vencer maiores vãos com uma maior resistência e durabilidade.

O surgimento do cimento e, posteriormente, do concreto armado, assim como novas técnicas de construção, geraram um grande avanço socioeconômico mundial, mas também geraram um consumo descontrolado de matéria-prima. Este avanço colocou a construção civil como uma das indústrias mais poluentes, responsável por consumir mais da metade da matéria-prima produzida no planeta. Atualmente, o consumo de cimento é maior que o de alimentos e o de concreto só perde para o de água (AGOPYAN, 2013). A indústria da construção possui suas especificidades macroeconômicas, contribuem para o desenvolvimento e para um sistema financeiro com políticas de crédito favoráveis ao desempenho do homem, sendo fundamentada na geração de empregos. (Scherer 2007)

Além dos impactos citados acima, há também aqueles associados à produção de resíduos sólidos líquidos e gasosos proveniente da construção, que, segundo o Conselho Internacional da Construção (CIB), correspondem à metade do total de resíduos gerados pela população. O modelo de desenvolvimento hegemônico levou à construção de grandes centros urbanos com constantes crises de abastecimento de água, impactos ambientais dos sistemas de esgoto e déficits energéticos, unidos à utilização de recursos industrializados de alto custo ambiental (MAURICIO, 2017).

Há um elevado consumo de energia, principalmente no beneficiamento, produção e transporte de materiais, mas também é grande na utilização das edificações, projetadas sem uma geração energética própria. Ademais, o enorme consumo de recursos naturais tem relação com, dentre outros fatores, o grande

desperdício de materiais, a vida útil das construções e as obras de reparos e adaptações (CASTRO; GASQUES; MIOTTO; NETO; OKAWA, 2014).

Na tentativa de reduzir os impactos ambientais e também contribuir para um despertar de consciência ambiental na sociedade para uma relação de harmonia entre meio ambiente e o desenvolvimento, foram abordadas metas na CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992) na Agenda 21 (global),

[...] os Estados decidiram estabelecer uma nova parceria mundial. Essa parceria compromete todos os Estados a estabelecer um diálogo permanente e construtivo, inspirado na necessidade de atingir uma economia em nível mundial mais eficiente e eqüitativa, sem perder de vista a interdependência crescente da comunidade das nações e o fato de que o desenvolvimento sustentável deve tornar-se um item prioritário na agenda da comunidade internacional (CNUMAD, 1992a).

No contexto de desenvolvimento sustentável os desafios para o setor construtivo são diversos, pois, a maioria do patrimônio já construído não considera questões de sustentabilidade e durabilidade, os materiais mais utilizados são responsáveis por impactos ambientais que geram danos saúde humana, nos ecossistemas e recursos naturais do planeta. Atualmente, o setor se depara com o desafio de conciliar sua atividade, de grande importância econômica, a um desenvolvimento sustentável que inclua as dimensões social e ambiental. O aumento da demanda, que tende a crescer cada vez mais, impõe que as decisões tomadas nesse âmbito terão consequências em grande escala para a natureza e a existência da humanidade.

Com o intuito de conciliar o uso de recursos, se faz necessário uma mudança de paradigmas e conceitos no que se diz respeito ao modo de extrair, construir, projetar e habitar. Desta forma, surge o conceito de Bioconstrução, que é “[...] um sistema construtivo que se apropria de materiais naturais e ou materiais industrializados, analisando o impacto ambiental gerado em todo seu ciclo de vida, da extração, descarte e pós consumo” (GHATTAS; OBATA, 2012).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar as principais técnicas tipológica construtivas como alternativa sustentável à construção civil.

1.1.2 Objetivos Específicos

Por meio de uma revisão bibliográfica e documental procura-se:

- Apresentar e identificar os impactos ambientais e sociais da construção civil;
- Introduzir o conceito e perspectivas da bioconstrução;
- Apresentar as principais técnicas bioconstrutivas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo, Castro, Gasques, Miotto, Netto e Okawa (2014), os impactos causados pela indústria da construção civil envolvem o desmatamento, alterações na ocupação do solo e nos cursos d'água, contaminação do ar, do solo e da água, erosão, emissão de poeira, resíduos sólidos, perda da biodiversidade, emissões de gases de efeito estufa, etc. Toda essa condição leva a graves danos à saúde humana e nas condições de vida na Terra, tornando urgente a adoção de alternativas que possibilitem uma redução dos impactos e danos causado pelo setor construtivo.

O termo sustentabilidade, nos últimos tempos, ganha visibilidade no panorama global e no mercado, mas muitas vezes vem acompanhado de uma imagem de “arquitetura verde” que não tem compromisso efetivo com a preservação do meio ambiente. Muitos “eco produtos” estão vinculados a pesados processos industriais e dependem de grandes investimentos financeiros (MAURICIO, 2017). A bioconstrução, como alternativa de tecnologia sustentável propõe uma nova forma de se pensar a própria construção, traz “[...] um conceito amplo e real para conservação do planeta terra” (GHATTAS; OBATA, 2012, p. 151).

Considerando o já disposto sobre a gravidade dos impactos ambientais da construção civil, faz-se necessário a realização de mais estudos, como se pretende brevemente tratar nesse trabalho, pesquisando sobre algumas técnicas e perspectivas da bioconstrução. Somente com pesquisas e sua consequente aplicação nos meios construtivos, unida ao comprometimento das demais áreas do conhecimento, é que se pode contribuir para um desenvolvimento sustentável que aborde “[...] a sobrevivência das futuras gerações em um planeta saudável, apresentando a bioconstrução como a arquitetura do futuro” (MAURICIO, 2017, p. 6-7).

1.3 METODOLOGIA

O percurso metodológico adotado neste trabalho parte, inicialmente, de uma pesquisa bibliográfica em textos de diferentes áreas de estudos, para o entendimento amplo da realidade da construção civil em seu modelo hegemônico e seus impactos ambientais, assim como da bioconstrução enquanto alternativa sustentável, abrangendo seus conceitos e técnicas. Buscando por estudos que envolvem a temática da sustentabilidade na construção Civil foram elencados aqueles que melhor contribuem em cumprir os objetivos do trabalho, construindo um referencial teórico que abrange a área da engenharia civil, arquitetura, organismos internacionais, órgãos federais e conteúdos fundadores do conceito.

A pesquisa bibliográfica, segundo Severino (2007), é aquela que se desenvolve a partir de pesquisas anteriores, contidas em documentos impressos ou digitais, sejam livros, teses, artigos, etc. Os dados apresentados nesses textos já foram trabalhados por outros/as autores/as, que contribuíram com estudos analíticos que são utilizados para novas análises.

Em seguida, foi realizada uma pesquisa documental em declarações produzidas no Rio 92 e no Rio+20, sobre desenvolvimento sustentável, e em normas técnicas para construções sustentáveis, de forma a subsidiar as técnicas construtivas apresentadas. A pesquisa documental, por outro lado, tem como fonte documentos, cujos conteúdos ainda não tiveram tratamento analítico, ou seja, ainda são matéria-prima sobre a qual se desenvolve determinadas análises (SEVERINO, 2007).

1.4 REFERENCIAL TEÓRICO

Os textos utilizados para a pesquisa bibliográfica serão dentre outros documentos encontrados nas referências:

- Impactos ambientais dos materiais da construção civil: breve revisão teórica, de Gasques, Okawa, Neto, Miotto e Castro, publicado na Revista Tecnológica, Maringá-PR, 2014;
- Painel Internacional de Recursos, publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNEUMA) ou, em inglês, United Nations Environment Programme (UNEP) a partir de três relatórios, em 2007;
- A publicação do Ministério da Saúde sobre Construção Sustentável, sem data;
- Vivências de bioconstrução: um caminho para a leitura da paisagem, de Amaro, no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual Paulista, Bauru-SP, 2017;
- Bioconstrução: a forma básica para a sustentabilidade das construções, de Obata e Ghattas, no XII Safety, Health and Environment World Congress, São Paulo-SP, 2012;
- Bioconstrução. Estudo de caso: Projeto e construção da casa ecológica modelo, de Mauricio, no Programa de Iniciação Científica do Centro Universitário de Brasília (UniCEUB), Brasília-DF, 2017;
- Serie Curso de Design em Permacultura, de Bill Mollison, 15 panfletos publicados no início da permacultura, Wilton NH USA, 1981;
- Demais textos complementares que foram sendo utilizados conforme necessidade para o desenvolvimento do trabalho.

Os documentos utilizados para a pesquisa documental serão:

- Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, desenvolvido no Rio 92, Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), Rio de Janeiro, 1992;
- Agenda 21, desenvolvido no Rio 92, Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), Rio de Janeiro, 1992;
- O futuro que queremos, desenvolvido no Rio+20, Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), Rio de Janeiro, 2012;

2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O consumismo da sociedade no último século é responsável por impactos ambientais e sociais de grandes escalas, colocando em risco a existência da humanidade como espécie. A utilização de recursos naturais duplicou nos últimos 100 anos e em média 9 toneladas de recursos naturais são utilizados hoje, anualmente, por cada indivíduo. Este cenário tende a continuar crescendo de forma acelerada de acordo com indutores de consumo, como: o crescimento populacional, o desenvolvimento econômico, a globalização e uma mudança nos padrões de consumo da classe média/alta. Com o intuito de satisfazer a demanda do mercado, as indústrias exploram de forma inconsequente e utilitarista o meio ambiente desconsiderando os limites naturais para manter este elevado padrão de consumo da sociedade (MAURICIO, 2017).

Como aponta a UNEP (2007), no Painel Internacional de Recursos, o resultado da demanda por recursos tem como consequência: aumento da extração de recursos, aumento da escassez de recursos, aumento de preços e volatilidade, perda de biodiversidade, emissões de gases de efeito estufa, degradação do solo, poluição hídrica e poluição atmosférica. Tal condição, que vem se aprofundando a cada ano, leva a sérios danos na saúde humana.

Este padrão de consumo provocado pela inovação tecnológica fez com que empresas da construção civil se adaptassem rapidamente a este cenário, levando em conta três fatores: qualidade dos produtos finais, modernização tecnológica (racionalização dos processos) e desenvolvimento de inovações tecnológicas (desenvolvimento de novos produtos), como apontado por Francklin Jr e Amaral (2008). Analisando apenas esses três fatores, pode-se observar a ausência de aspectos relacionados à sustentabilidade da fonte de recursos naturais, o meio ambiente.

Os impactos da sociedade industrial, que se baseia no consumo para ser considerada desenvolvida e que consome os recursos naturais sem nenhum critério, está gerando, além de ambientes degradados, paradigmas que fazem com que os próprios homens acreditem serem dependentes dessa sociedade industrial e consumista (MAURICIO, 2017, p. 8).

Para entendimento do conceito de impacto ambiental, será utilizado aquele descrito pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução CONAMA-001, qual seja:

Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - A saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - As atividades sociais e econômicas; III - A biota; IV - As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - A qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

A falta de uma consciência ecológica na indústria da construção civil no Brasil e a enorme demanda por novas habitações, devido ao grande aumento da imigração ocorrido após a segunda metade do século passado, resultou em danos ecológicos irreparáveis. Áreas foram degradadas em consequência do descontrole nas etapas do processo construtivo: na aquisição de materiais através da retirada de matéria prima da natureza, na fabricação de produtos, na etapa da construção propriamente dita e nos resíduos gerados pela construção (SCHENINI; BAGNATI; CARDOSO, 2004).

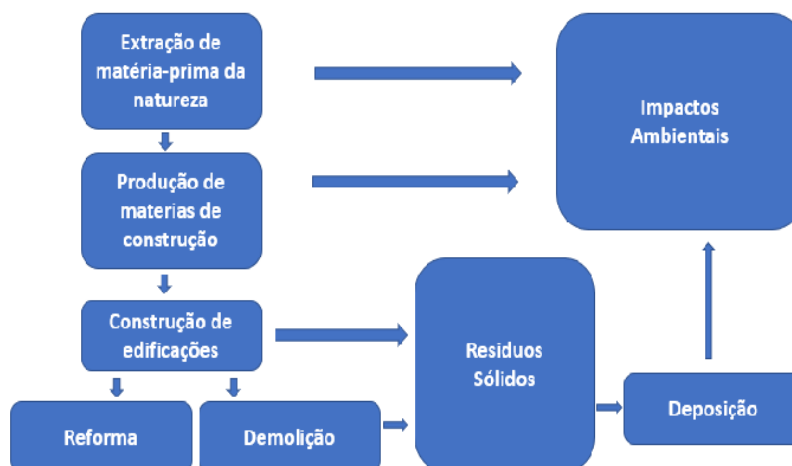
De acordo com Garcias (2009), o modelo de construção civil brasileiro, além de gerar todo um prejuízo ambiental causado pela ampla extração de matéria-prima não renovável da natureza e o consumo de elevadas quantidades de energia em toda a cadeia construtiva, que vai desde a extração até o transporte e processamento de insumos, é responsável também por gerar grande quantidade de resíduos dentro da sociedade, devido ao gasto excessivo e desperdício.

Segundo dados das Nações Unidas, a construção civil consome 40% de toda energia, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água e ocupa 12% das terras. Em países desenvolvidos como nos EUA, o consumo de materiais pelo setor corresponde a 75% do total consumido pelo país. Desta forma, pode-se afirmar que a construção civil, além de ser a indústria mais poluente do planeta, é também a que mais consome matéria-prima e energia. Ela causa, assim, inúmeros impactos ambientais consideráveis, inclusive sendo responsável também por um terço do total de emissões de gases de efeito estufa (BENITE, 2011).

A cadeia produtiva do setor construtivo, como mostra a Figura 3, é composta resumidamente por: extração, produção de materiais, construção de edifícios,

reforma, demolição e deposição de resíduos sólidos, assim impactos ambientais são gerados em todas etapas da cadeia produtiva.

Figura 1 – Cadeia resumida da construção civil



Fonte: Castro; Gasques; Miotto; Neto; Okawa, 2017 adaptado pelo autor

Embora o número de casas construídas com técnicas de baixo impacto ambiental venha aumentando nas últimas décadas, este crescimento ainda é pouco significativo quando comparado ao patrimônio construído de habitações convencionais. Isso é consequência da arquitetura moderna, que utiliza um modelo de desenvolvimento adotado como substancial, que tem levado a humanidade para uma elevada concentração urbana com cidades dependentes de recursos industrializados para a sua construção, manutenção e expansão. No entanto, a base de recurso que viabilizaram estes projetos até agora está escassa e a sua extração ou mineração causa grande parte da contaminação ambiental (MAURICIO, 2017, p. 17).

Ainda segundo o autor, a problemática da moradia contemporânea pode ser observada em dois aspectos: o primeiro é o modo de organização territorial voltada para o desenvolvimento de grandes cidades, com elevado adensamento populacional dificultando os projetos de abastecimento, como por exemplo o abastecimento hídrico; e o segundo é a construção civil por si só, que utiliza em grandes quantidades materiais industrializados como o ferro e o cimento recursos provenientes de mineração produtora de energia poluente e que provocam uma drástica alteração no

ambiente natural. A seguir, será comentado sobre os impactos referentes aos materiais construtivos mais comuns à construção civil hegemônica.

2.1 MINERAÇÃO DE AGREGADOS

A história da atividade mineradora no Brasil começou junto aos processos de colonização do país. A exploração de riquezas minerais era realizada por mão de obra escravizada e visava somente o mercado externo (PESSOA, 2006). No Brasil, os materiais predominantemente extraídos são, segundo Silva (2007): carvão, ouro, chumbo, zinco, prata, agregados para construção civil e garimpos, ferro, calcário. De acordo com Valverde, 2002 minerar consiste na exploração das minas subterrâneas e de superfície, as pedreiras e os poços, incluindo-se todas as atividades complementares para preparar e beneficiar minérios em geral, na condição de torná-los comercializáveis, sem provocar alteração, em caráter irreversível, na sua condição primária. No entanto, a matéria-prima da mineração são os bens não renováveis que tendem a acabar à medida que sua exploração aumenta.

Os agregados, na construção civil, são materiais minerais, granulares e inertes, utilizados principalmente em obras de infraestrutura e edificações, sendo os mais comuns a areia e a pedra britada. Os agregados são os insumos minerais mais consumidos mundialmente (VALVERDE, 2002), sua produção corresponde à aproximadamente 50% do consumo mundial de minerais (PENNA, 2010). De acordo com Serna (2010), o setor de agregados é o maior segmento da indústria mineral, contando com o maior número de empresa e trabalhadores.

Os impactos ambientais referentes à produção de pedra britada estão relacionados às diversas fases do processo de exploração mineral: começando pela abertura da cava, que gera supressão da vegetação e drástica modificação da paisagem original; em seguida, pela utilização de explosivo no desmonte de rocha que, devido à magnitudes das explosões, resulta em vibração do terreno, ruídos, lançamento de fragmentos, fumos, gases e poeiras; e na etapa final de transporte e beneficiamento do minério, gera-se a emissão de gases, poeira e ruído, contaminando os meios e afetando também a saúde e o bem estar da população local (SERNA, 2010).

A areia encontrada no leito dos rios é um mineral que pode ser utilizado *in natura*, ou seja, sua utilização não depende da adição ou eliminação de componentes ou substâncias químicas (NOBRE FILHO et al., 2012). A extração de areia acontece principalmente nas várzeas (wetlands) e leitos de rios, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, arenito e pegmatitos decompostos. Os impactos ambientais decorrentes da mineração de areias correspondem a alterações dos cursos d'água, aumento do teor do material sedimentado em suspensão (promovendo assoreamento), desmatamento, descaracterização do relevo, formação das cavas, assoreamento de cursos d'água, destruição de áreas de preservação permanente, destruição da flora e fauna, alteração do meio atmosférico (aumento da quantidade de poeira em suspensão no ar), alteração dos processos geológicos (erosão, voçorocas, hidrogeologia), entre outros.

Silva (2007) afirma que os principais impactos decorrentes da mineração são: desmatamento e queimadas, alteração nos regimes hidrológicos, queima de mercúrio ao ar livre e poluição química na biosfera e atmosfera, desencadeamento dos processos erosivos, turbidez das águas, e fuga de animais silvestres.

2.2 PRODUÇÃO DE CIMENTO

O início do desenvolvimento do cimento foi dado em 1756 pelo inglês John Smeaton, que obteve um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Mas foi em 1824 que o construtor inglês Joseph Aspdin queimou pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Obteve uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras utilizadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (BEUER 1986).

Segundo Maury e Blumenschein (2012), o cimento tem sido, desde o início do século XX, uma grande solução para o problema de moradia, bem como grandes obras da engenharia moderna. Porém, sua produção e utilização gera impactos no meio ambiente e na saúde pública, tais como: contaminações no ar, na água ou no solo. Ele passa por várias etapas em seu processo de fabricação, dentre as quais o

maior índice de poluição ocorre na mineração (extração do calcário), transporte de material particulado ao longo da cadeia produtiva e no forno onde é fabricado o clínquer, o cimento numa fase básica de fabrico (SEBASTIÃO, 2013).

A Produção de Cimento hoje é responsável por aproximadamente 28% da emissão de CO² mundial segundo o instituto de pesquisa britânico Chatham House (LEHNE e PRESTON, 2018). Ademais, é necessária uma grande quantidade de energia utilizada para nutrir os fornos rotativos durante a etapas de calcinação e clinquerização da matéria prima. Isso gera um volume imenso de dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, metais pesados e particulados originados da utilização de combustíveis fósseis durante o processo produtivo (CAMÕES, 2005). Pesquisas americanas de órgãos ambientais demonstram que, na fabricação do cimento, além de emitir os principais poluentes, são emitidos também poluentes perigosos como as dioxinas, furanos, metais pesados (mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio e cromo), resíduos de combustão incompleta e ácidos halogenados (SANTI; SEVÁ FILHO, 2004).

O cimento polui ao longo de, praticamente, todo o seu processo de fabricação. Na fase de produção do cimento propriamente dita, um dos principais problemas são aqueles relacionados à saúde humana. A emissão de material particulado, repleta de óxidos químicos, pode produzir doenças pulmonares graves, irritação das fossas nasais, ouvido e dos olhos. Na fase de extração de matéria prima, há a contaminação de solos e cursos d'água, erosões, cavas abandonadas e rios assoreados, que é o fenômeno caracterizado pelo acúmulo de detritos e outros sedimentos sobre o seu leito (MAURY; BLUMENSCHIN, 2012).

2.3 PRODUÇÃO DE FERRO E AÇO (SIDERURGIA)

O desenvolvimento da indústria siderúrgica no Brasil deu-se em 1917 com a criação da companhia Siderúrgica Mineira. O surgimento de empresas estatais e a criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em 1941, impulsionaram o desenvolvimento do setor, porém, a produção só se intensificou no país depois de 1960. De acordo com dados do INSTITUTO AÇO BRASIL (2020), contemporaneamente o setor possui capacidade anual de produção instalada de 51

milhões de toneladas de aço e é produzido pelo setor 31,4 milhões de toneladas de aço bruto. O parque produtor possui 31 usinas em operação, administradas por 12 empresas. A produção do setor visa o mercado global, por meio da produção de produtos semiacabados com menor tecnologia empregada na produção, como blocos, tarugos e placas, que são exportados para a Europa e os EUA.

O processo de produção do aço começa com a extração do minério de ferro. Em seguida, produz-se o ferro-gusa, uma forma impura de ferro produzida em alto forno, que utiliza carvão vegetal e coque de carvão mineral como redutores do ferro existente no minério de ferro. A última etapa do ciclo produtivo consiste na produção do aço semiacabado ou refinado, utilizando como matéria-prima o ferro-gusa. Impactos ambientais, como a poluição e contaminação ambiental, são gerados em todas as etapas da produção do aço. Além destes, problemas sociais como riscos ocupacionais, acidentes e doenças são enfrentados pela população que habita os arredores das usinas siderúrgicas. Mesmo sendo um setor de produção nocivo ao meio ambiente, o mesmo tende a expandir com novos empreendimentos nos estados do Maranhão, Ceará, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro (REDE BRASILEIRA DE JUSTIÇA AMBIENTAL, 2008).

Dentre todos os impactos gerados pela siderurgia, os principais consistem em emissões atmosféricas. Na produção do sinter (material obtido pela aglomeração, sob alta temperatura, de pequenas partículas de minério de ferro misturado com o cal, o coque ou carvão vegetal), são emitidos óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, além de monóxido de carbono e diferentes hidrocarbonetos aromáticos. Já na produção do coque a partir do carvão mineral (coqueificação), gera-se o “gás do coque”, um composto de carbono, metano, etano, hidrogênio e nitrogênio, que resulta em subprodutos de material particulado, compostos orgânicos voláteis (benzeno, tolueno e xileno), fenóis, gás sulfídrico, e amônia. Estes podem provocar problemas respiratórios e aumento na incidência de câncer. Na etapa de produção do ferro-gusa, é gerado o gás de alto forno (CO₂, carbono, nitrogênio e hidrogênio). A queima do carvão na redução do minério de ferro é o principal responsável pela emissão de CO₂ e metano, gases que contribuem para as mudanças climáticas (MIRANDA, et al., 1999 apud MILANEZ; PORTO, 2008). Além da produção destes poluentes citados acima, a queima do carvão gera a emissão de óxido de enxofre e óxido de hidrogênio que, junto com a umidade do ar formam o ácido de enxofre e de nitrogênio, originando a “chuva

ácida”, fenômeno causador de desastres ecológicos, como a morte de peixes, plantas e outros animais que são frágeis as alterações de PH em seu habitat natural, além de danificar estruturas e edifícios.

As emissões das siderúrgicas são problemáticas também devido aos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e ao benzeno. A exposição crônica ao benzeno causa impactos nos sistemas nervoso, endócrino e imunológico, e pode causar doenças como leucopenia e leucemia (MIRANDA, et al., 1999 apud MILANEZ; PORTO, 2008).

Em adicional, os efluentes das usinas siderúrgicas são contaminados, primeiramente, na operação dos altos-fornos, por sólidos em suspensão, cianetos, fluoretos e zinco. Em seguida, no processo de refino do aço, os efluentes possuem elevada concentração de sólidos suspensos, óleos, cobre, chumbo cromo e níquel. (BARTON, 1998 apud REDE BRASILEIRA DE JUSTIÇA AMBIENTAL, 2008). Embora algumas usinas estão munidas de estações de tratamento de efluentes adequados, estas não extinguem o problema. Apenas o transpassa, agrupando os poluentes líquidos em resíduos sólidos na forma de lama que precisa de tratamento da mesma forma (MILANEZ; PORTO, 2009).

A geração de resíduos sólidos é outro problema enfrentado pela siderurgia. O setor é responsável pela produção de resíduos, como óleos, graxas, escória do alto-forno, fino de carvão e lama de lavagem. Um dos materiais mais tóxicos gerados é pó de balão, material coletado pelo sistema de limpeza dos gases do alto forno, que apresenta uma quantia considerável de fenóis. Da mesma forma, as escórias de alto-forno e de aciaria possuem grande quantidade de metais, como alumínio, antimônio, cádmio, cromo, estanho, manganês, molibdênio, selênio, tálio e vanádio (REDE BRASILEIRA DE JUSTIÇA AMBIENTAL, 2008).

A atividade siderúrgica, além de provocar sérios impactos ao meio, apresenta também altas taxas de acidentes de trabalho muito superiores à média nacional. Os principais setores que mais registram ocorrência são a produção do coque, de aços não-planos, do ferro-gusa e na fabricação de tubos com costura e de laminados planos. No setor de produção do ferro-gusa, as condições inadequadas de trabalho são as causadoras do alto índice de acidentes no trabalho que os estados do Pará e Maranhão possuem, devido à existência concentrada destas usinas “guseiras” (MILANEZ; PORTO, 2009).

Ainda assim, um dos maiores impactos também relacionado à siderurgia é o consumo de energia, principalmente térmica, necessária para fundir o ferro-gusa. A utilização do carvão vegetal como fonte energética seria uma opção para diminuir o impacto causado pelo carvão mineral, pois o CO₂ produzido em sua queima é reciclado no processo de desenvolvimento das árvores. Contudo, esta utilização acaba provocando outros problemas ambientais, como o desmatamento de florestas nativa, pois somente 50% do carvão consumido é proveniente das zonas de reflorestamento, a outra metade é oriunda de matas nativas (CAMPOS, 2009).

2.4 RESÍDUOS DO SETOR CONSTRUTIVO

Como descrito na Resolução do CONAMA N. 307/02 (BRASIL, 2002), os resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, como tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc. Quando estes resíduos da construção civil são depositados de forma inadequada em áreas irregulares e ilegais, como área de preservação ambiental, vias públicas ou em terrenos baldios, ocasionam impactos ambientais, sociais e econômicos.

Ainda, Roth (2009) aponta que os resíduos sólidos gerado em uma obra não são apenas tijolos e argamassa desperdiçados, mas sim uma variedade de materiais gerados desde o início até o término da obra como plásticos, papel, restos de terra e vegetação, ferragens, madeiras, além de sobra de alimentos, restos de cigarros entre outros. Resíduos estes que são difíceis de serem separados se forem depositados de forma inadequada.

Sua deposição irregular, segundo Pinto (2001), talvez seja a principal causadora de impactos ao meio ambiente, causando desequilíbrio na vida nas cidades, poluição visual, degradação dos mananciais, obstrução dos sistemas de drenagem, assoreamento dos cursos d'água, dificuldade de circulação de pessoas e veículos, além de proliferação de vetores causadores de doença como os ratos, baratas, escorpiões, moscas e outros. Esta deposição irregular, comum em diversos

municípios brasileiros, como os “bota foras” ilegais, às margens de riachos e terrenos baldios implica no entupimento de esgotos e de bueiros, provocando enchentes e a degradação dos grandes centros urbanos. Uma das grandes geradoras da necessidade de desobstrução contínua do sistema de drenagem é a deposição irregular de Resíduos de Construção e Demolição (RCDs) ao longo dos cursos d'água, que causa obstrução no sistema de drenagem superficial e obstrução de córrego, componentes estes importantes do sistema de drenagem, gerando assim ambientes propícios às enchentes (PINTO, 1999).

De acordo com Bueno e Duarte (2006), um ecossistema é degradado quando a sua cobertura vegetal e a fauna sofrem processo de destruição. Isso causa a perda da camada fértil do solo, mudança na vazão e qualidade do sistema hídrico e ocorre devido à mineração, processo de terraplanagem, erosão, deposição de lixo e construções, entre outros.

O aumento da contaminação do solo, água e ar, como demonstra DEGANI (2003), é agravado por RCDs que contêm substâncias perigosas como adesivos, tintas, óleo, baterias, biocidas incorporados a madeiras tratadas, sulfatos provenientes da dissolução de gesso e outros. Os RCDs, além de provocar impactos negativos ao meio ambiente e à qualidade de vida, geram também prejuízos em relação aos custos sociais, sejam eles pessoais ou públicos. Isso porque, devido à falta de soluções para a captação de resíduos provenientes de serviços considerados informais como reforma, ampliação e demolição, os pequenos coletores ou os seus geradores buscarão áreas livres irregulares nas imediações para a deposição dos RCDs. Mesmo sendo ilegal, estes locais passam a ser absorvedores de entulhos, necessitando, assim, de custos adicionais por parte da administração pública ou pessoal para retirada destes resíduos (PINTO; GONZÁLEZ, 2005).

3 COMPROMISSOS INTERNACIONAIS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Nesse contexto de urgência em relação às pautas ambientais, visto sua tamanha importância para a vida das futuras gerações e para a biodiversidade, ganham força os movimentos ambientalistas e seus desdobramentos. Segundo Amaro (2017), eles vêm demonstrar essa necessidade de minimizar os impactos que vêm sendo causados ao meio ambiente, juntamente com a importância da participação de todas as pessoas envolvidas nesse processo, que são a humanidade como um todo.

Para tanto, apontam a diferença entre a ecologia rasa e a ecologia profunda. Enquanto, para uma, os seres humanos estão separados da natureza, cujos ecossistemas são utilizados de forma instrumental, para outra, nada se separa do meio ambiente natural (inclusive a vida humana), percebendo o universo como fenômenos interconectados e interdependentes e não como um conjunto de objetos isolados (ADAM, 2001, apud MAURICIO, 2017). Dessa forma, estudar os ecossistemas, recursos, a maximização do uso de energias renováveis e seu consumo eficiente é uma das peças chaves para a perpetuação da espécie humana e para a qualidade de vida na Terra. São, também, “[...] instrumentos de qualificação arquitetônica e de solidariedade, além de exigir reflexão e ação de todos os profissionais envolvidos na construção” (ADAM, 2001, apud MAURICIO, 2017, p. 10).

Diversos ramos de estudo se dedicaram a desenvolver propostas de um desenvolvimento sustentável que, como define Brundland (1987, apud MAURICIO, 2017), é aquele que garante o atendimento das necessidades do presente, permitindo também que as necessidades das gerações futuras possam ser atendidas. Toda a vida que habita o planeta Terra, assim como as gerações atuais e futuras, pode se beneficiar dessa relação saudável e recíproca do ser humano com seu meio. Ghattas e Obata (2012) ainda apontam que, visto o aumento atual da população e das demandas do mundo moderno, as ações que forem adotadas trarão consequências em larga escala (como já estão trazendo), de forma a degradar ou a preservar os recursos naturais. Mesmo com o modelo de desenvolvimento destrutivo que a sociedade vêm adotando, ainda há tempo de mudar a rota e passar a fazer escolhas

que busquem maior harmonia com a natureza e maior respeito com a nossa condição de dependentes do sistema terrestre.

É a partir dessa perspectiva que se desenvolvem os movimentos ambientalistas em todo o mundo, a partir da década de 1960, propondo um desenvolvimento sustentável a nível global que levou a conferências e pactos internacionais. Expondo e discutindo os impactos que a ação humana vem causando ao meio ambiente, de forma a proporcionar um panorama mundial dessa condição, propuseram planos de mudança para que as necessidades do presente pudessem ser atendidas sem o comprometimento da capacidade das gerações futuras.

Amaro (2017), a partir de outros/as autores/as, descreve brevemente tais avanços pactuados na arena internacional, que são (ou deveriam ser) norte para os/as diversos/as atores/as a nível do país, estados, municípios, no âmbito local e atuação profissional. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972 é fruto dos movimentos da década anterior e foi a primeira voltada de forma específica para as relações que o ser humano estabelece com o meio ambiente, que vinha sendo encarado como uma fonte inesgotável de recursos. Essa conferência expôs que esse modelo industrial predatório vinha a resultar em poluição atmosférica, formação de ilhas de calor e ressecamento de mananciais hídricos. Resulta, então, na Declaração de Estocolmo, um documento que afirmava a responsabilidade e obrigação do ser humano na proteção e melhoramento do meio ambiente de forma a beneficiar as gerações futuras.

Dez anos depois acontece a Assembleia Geral das Nações Unidas, que gera a Carta Mundial da Natureza. Nela, os países associados reconhecem a humanidade como parte que integra a natureza e toda forma de vida como merecedora de respeito, independente dos benefícios que traz ou não ao ser humano, e buscam a garantia de oportunidade para que todas as pessoas possam participar da elaboração de decisões que envolvam seu meio ambiente, com acesso a recursos jurídicos para a reparação em caso de degradação ou dano.

Na Assembleia Geral das Nações Unidas de 1983, cria-se “[...] a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), com o objetivo de propor estratégias ambientais mundiais de longo prazo para a obtenção do denominado desenvolvimento sustentável [...]” -AMARO, (2017). Isso resulta no relatório “Nosso

Futuro Comum”, que versa sobre a importância da participação pública nas decisões relacionadas ao meio ambiente.

Isso porque a lei em si não garante o interesse comum. Ele requer, em especial, o apoio da comunidade, que virá a partir da sua conscientização. Implica, assim, na maior participação pública nas decisões que afetam o meio ambiente. Segundo a Comissão (1983 apud AMARO, 2017), a melhor forma de se alcançar essa participação é descentralizando a administração dos recursos dos quais as comunidades locais são dependentes, de forma a dar-lhes voz ativa em relação ao uso dos mesmos. Também é necessário que existam ações concretas do poder público para estimular as iniciativas dos/as cidadãos/ãs, para fortalecer a democracia local e dar mais poderes às organizações populares.

3.1 RIO 92

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, então, como continuidade aos trabalhos iniciados, convoca a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que ocorreu no Rio de Janeiro em 1992 e recebeu o título de Rio 92. Essa conferência foi um marco internacional, pois foi o principal encontro mundial que reuniu Chefes de Estado com o objetivo de tratar sobre a preservação e a conservação do meio ambiente. Foi por meio dela que a ideia do desenvolvimento sustentável foi consagrada.

Estavam presentes governantes de 117 países e “[...] 22 mil representantes de 9 mil organizações não governamentais. Firmou-se, ao final da Conferência, um vasto conjunto de convenções, acordos e protocolos [...]” (AMARO, 2017, p. 37). Os dois documentos mais importantes produzidos nesse evento foram a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e a Agenda 21. Ambos apresentam a participação pública enquanto um dos fatores indispensáveis para que se possa realizar uma proteção ambiental efetiva e alcançar um desenvolvimento sustentável, segundo o Senado Federal (2012, apud AMARO, 2017).

A Declaração elenca vários princípios que precisam ser considerados para que a humanidade como um todo possa caminhar na direção de um planeta digno às futuras gerações. Ela tem como objetivo

[...] “estabelecer uma nova e justa parceria global mediante a criação de novos níveis de cooperação entre os Estados, os setores-chaves da sociedade e os indivíduos”, em busca do desenvolvimento sustentável (ONU, 1992, apud AMARO, 2017, p. 37).

Como exemplo, o Princípio 1 traz o ser humano como centro das preocupações, afirmando seu direito a uma vida saudável em harmonia com a natureza, enquanto o Princípio 3 aponta também a necessidade de que o desenvolvimento tenha atenção às demandas das gerações presentes e futuras. Tal desenvolvimento precisa, pelo Princípio 4, não ser considerado de forma isolada, mas integrado pela proteção ao meio ambiente.

Quanto aos Estados, estes devem cooperar mundialmente, de forma solidária, para a conservação, proteção e restabelecimento da saúde e integridade do ecossistema terrestre, uma vez que contribuíram para sua degradação, como elenca o Princípio 7. Devem, dessa forma, reduzir e eliminar os sistemas de produção e de consumo que não sustentam a qualidade de vida para todas as pessoas, fomentando políticas demográficas mais apropriadas. No mesmo sentido, devem buscar meios de aumentar o saber que contribua para o desenvolvimento sustentável, por meio do “[...] intercâmbio de conhecimentos científicos e tecnológicos, intensificando o desenvolvimento, a adaptação, a difusão e a transferência de tecnologias, notadamente as tecnologias novas e inovadoras” (UNCED, 1992b, p. 2).

O Princípio 10 desenvolve sobre a necessidade da participação de toda a sociedade civil interessada, em vários níveis, enquanto a melhor maneira de tratar sobre as questões ambientais e a responsabilidade dos Estados em garantir acesso a toda informação referente e sua presença em espaços de decisão, fomentando sua participação. Também é reforçada a urgência de leis eficazes sobre o meio ambiente, por meio de normas e materiais de regulação cujo conteúdo deve refletir seu contexto ambiental e de desenvolvimento.

Outro e mais completo documento produzido pelo Rio 92, a Agenda 21, ganhou grande visibilidade nos países participantes devido ao seu conteúdo que, além de muito relevante para as discussões acaloradas que ocorriam naquele período, trouxe alternativas concretas e possíveis para o desenvolvimento sustentável no século seguinte. No âmbito da construção civil, elencou diversas atitudes essenciais ao setor para sua aliança junto às forças que se propunham à reestruturação da vida

na Terra para a garantia de uma vida saudável às futuras gerações. Nela, a construção sustentável se define como

"[...] um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica". (UNCED, 1992a). No contexto do desenvolvimento sustentável, o conceito transcende a sustentabilidade ambiental, para abraçar a sustentabilidade econômica e social, que enfatiza a adição de valor à qualidade de vida dos indivíduos e das comunidades (BRASIL, 2002, p. 1).

Ela estabelece, então, que uma cidade sadia depende do aperfeiçoamento do manejo destinado aos assentamentos humanos, da integração da infraestrutura ambiental (manejo de resíduos sólidos, água, drenagem e saneamento), de sistemas sustentáveis de energia e transporte, do planejamento e manejo dos assentamentos urbanos que se localizam em áreas propensas a desastres, de atividades sustentáveis no que tange à indústria da construção e, também, de recursos humanos e capacitação técnica e institucional no que envolve os assentamentos humanos (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 1995 apud AMARO, 2017, p. 37-38).

A seguir, será analisado alguns tópicos elencados pela UNCED (1992a) na Agenda 21, que sejam relevantes para a proposta deste trabalho. De forma geral, fazia-se necessária uma mudança nos padrões de consumo e produção da sociedade global, em especial devido à grande demanda de recursos naturais que era – e ainda é – gerada pelo consumo insustentável. Para reduzir ao mínimo o esgotamento de tais recursos e minimizar também a poluição, deve-se criar estratégias de uso eficiente dos mesmos. A nova forma de consumir e produzir precisa promover a redução das pressões ambientais e atender as necessidades básicas da humanidade.

Será necessário, para que os objetivos sobre esse tema sejam alcançados, que haja maior eficiência na produção e mudanças em relação aos padrões de consumo que visem otimizar o uso dos recursos e a maior redução do desperdício. Então, deve-se buscar um uso mais eficiente de energia e de recursos por unidade de produção de bens e serviços. As formas indicadas para isso são: o estímulo à difusão de tecnologias que sejam ambientalmente saudáveis, já existentes; a promoção de pesquisas e o desenvolvimento de tais tecnologias; o estímulo ao uso de fontes de energia novas e renováveis e recursos renováveis como um todo.

Também é necessária a redução ao mínimo da geração de resíduos, uma vez que estes vinham sendo eliminados num volume cada vez maior. Conjuntamente, as

indústrias, os governos e o público em geral devem se esforçar para reduzir sua geração e o descarte de produtos. Para isso, é preciso que haja estímulo à reciclagem no nível do consumo e também dos processos industriais, à introdução de produtos ambientalmente saudáveis, a redução das embalagens e o auxílio da sociedade civil na tomada de decisões de compra que sejam saudáveis no sentido ambiental.

O maior interesse do público consumidor em produtos ecológicos, juntamente com a disposição de algumas indústrias em oferecê-los, é um acontecimento que chamava a atenção nesse período histórico. A conferência, atenta a isso, defende que essa tendência deveria ser estimulada. Os indicadores divulgados ao público consumidor precisam ser resultados de uma avaliação de impactos e dos ciclos de vida dos produtos durante a totalidade dos processos, com metodologias criteriosas.

Em relação aos assentamentos humanos, o documento produzido pela conferência dá como recomendação às cidades, além da promoção da organização social para a consciência ambiental em relação aos serviços públicos e de infraestrutura, a estruturação de programas de “obras verdes”. Estes devem possuir atividades auto-sustentáveis de desenvolvimento humano e proporcionar emprego aos/às moradores/as de baixa renda.

Os recursos terrestres, como aponta o documento, “[...] são a base para os sistemas de vida (humanos) e proporcionam solo, energia, água e possibilidade de realização para todos os tipos de atividade humana” (UNCED, 1992a, p. 61). Para que os assentamentos humanos possam atender às necessidades humanas, eles precisam de um planejamento físico unido a um uso da terra que seja ambientalmente saudável e, sobretudo, do acesso universal à terra, estimulando, quando possível, seu manejo comunal e coletivo. Uma infraestrutura ambientalmente saudável é um investimento que, além de tudo, melhora a qualidade de vida nas habitações, aumenta a produtividade e melhora a saúde, reduzindo a necessidade da medicina curativa.

A questão energética é outro ponto relevante nessa discussão, uma vez que a maior parte da energia produzida é utilizada nos, e para os, assentamentos humanos. Assim, anualmente, a necessidade de produção de energia pelos países vem aumentando. Além disso, a opção por fontes de energia não renováveis vem causando sérios problemas ao meio ambiente e à população. Por esse motivo, os países participantes se comprometem a buscar uma maior eficiência no uso da energia e promover a utilização de fontes renováveis.

O setor da construção tem papel importante em todo esse processo, como aponta o documento, sendo seu comprometimento com as metas estabelecidas, algo vital para que se possa alcançar o desenvolvimento sustentável. De acordo com esse documento, os países devem buscar fortalecer a produção de materiais com oferta local de recursos naturais, estimular sua utilização e adotar normativas que venham a promover projetos e tecnologias que usem a energia de forma eficiente e utilizem os recursos de forma sustentável. Também, como aponta o mesmo documento, devem regulamentar a proteção a regiões ecologicamente sensíveis, promover tecnologias de construção que utilizem mão-de-obra de forma intensiva, gerando emprego, e fortalecer construtores/as que trabalhem sob regime de mutirão.

Para que tudo isso seja possível, faz-se importante a ampliação do acesso aos conhecimentos produzidos pela ciência e pela tecnologia, além de seu fortalecimento, investindo em pesquisas tecnológicas sobre o desenvolvimento sustentável. Tanto as pessoas responsáveis pelas decisões acerca das políticas públicas, quanto a população em geral, precisam conhecer os avanços ocorridos nessas áreas. Também é preciso que a comunidade científica esteja aberta à opinião pública e à troca de experiências. As ciências têm um papel muito relevante

[...] no apoio ao manejo prudente de meio ambiente e desenvolvimento para a sobrevivência diária e desenvolvimento futuro da humanidade. [...] As ciências desempenham um importante papel na vinculação do significado fundamental do sistema Terra, enquanto sustentador da vida, com as estratégias apropriadas de desenvolvimento baseadas em seu desenvolvimento contínuo. (UNCED, 1992a, p. 344).

Dessa maneira, elas devem aprofundar seus olhares à busca pelo desenvolvimento sustentável, buscando maior eficiência no aproveitamento de recursos e a descoberta de novas alternativas. Precisam apresentar, inclusive, formas cada vez mais otimizadas de utilização de energia. Cada vez mais, as ciências vêm sendo compreendidas como componente indispensável nesse processo, necessitando de seu comprometimento. Pesquisas como a que se pretende neste trabalho são urgentes, assim como o desenvolvimento tecnológico e construtivo consciente, que pode - e vem ganhando cada vez mais espaço - retornar de forma muito lucrativa (Amaro. 2017).

3.2 RIO+20

Por fim, Amaro (2017) ainda aponta como essencial a Conferência das Nações Unidas sobre meio Ambiente Sustentável (CNUDS), realizada em 2012 também na cidade do Rio de Janeiro, 20 anos depois da primeira conferência, sendo intitulada de Rio+20. No evento, foi desenvolvido o documento “O Futuro que Queremos” que

[...] teve como objetivo geral a renovação do compromisso político dos Estados com o desenvolvimento sustentável, abordando dois temas principais: a economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza e a estrutura institucional para a promoção do desenvolvimento sustentável e podem ser mencionados nesse rol: água e saneamento, turismo, transporte e cidades (SENADO FEDERAL, 2012, apud AMARO, 2017).

Para o Desenvolvimento do Milênio, foram elencados alguns objetivos, dentre eles o de assegurar sustentabilidade ambiental. Já em relação ao Desenvolvimento Sustentável, cujos objetivos se relacionam aos anteriores, estão dentre eles o acesso a empregos adequados que sejam socialmente justos e ambientalmente corretos, o acesso a fontes adequadas de energia e de recursos hídricos, a inovação para a sustentabilidade e a “[...] adequação da pegada ecológica à capacidade de regeneração do planeta” (SENADO FEDERAL, 2012, apud AMARO, 2017, p. 38).

Por meio desse documento, os países participantes se comprometeram a promover uma estratégia coletiva e integrada que visasse o planejamento e construção de assentamentos urbanos e cidades sustentáveis. Isso realizado a partir da participação do público, sensibilizado pelo poder público, na tomada de decisões. A promoção de um ambiente seguro e saudável para toda a população também é um dos compromissos firmados nesse encontro, assim como a escolha por energias e transportes viáveis e socialmente justos. Ademais, firmaram a promoção, proteção e restauração, nas cidades, de espaços verdes seguros; “[...] água potável e limpa e saneamento; qualidade do ar; geração de empregos decentes; melhoria do planejamento urbano; e urbanização de favelas” (United Nations, 2012, apud AMARO, 2017, p. 28). Além de outros compromissos, afirmaram também seu apoio à gestão sustentável de resíduos por meio dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar).

3.3 REALIDADE BRASILEIRA

No Brasil, o aumento da conscientização popular a respeito da necessidade de proteção ao meio ambiente se deu na década de 1970, com o crescimento dos problemas ambientais, como aponta Amaro (2017). Surgem no Brasil, então, grupos e associações ambientalistas, levando à criação, em 1981, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Também em consequência da maior participação da população no tema, forma-se a Frente Nacional de Ação Ecológica na Constituinte, durante a redemocratização do país pós ditadura militar. Por meio dessa frente e das efervescentes discussões a esse respeito, foi possível a inserção do capítulo sobre o meio ambiente na Constituição Federal de 1988 (FURRIELA, 2002, apud AMARO, 2017, p. 38-39).

Mas a década de 1990 foi quando o movimento ambientalista brasileiro ganhou maior força por meio da aproximação definitiva com outros movimentos sociais, como de indígenas, mulheres, negros/as, trabalhadores/as urbanos e rurais, jovens, entre outros, segundo Silva-Sanchez (2000, apud AMARO, 2017, p. 39). Essa união foi proporcionada pela Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio 92, que teve um enorme impacto na sociedade brasileira, principalmente por ter sido realizada no Rio de Janeiro (AMARO, 2017)

3.4 A CONTRUÇÃO CIVIL E AS CIÊNCIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Diante de todo o conteúdo apresentado neste capítulo, vale-nos pensar a respeito do papel da construção civil na promoção de uma nova realidade em relação ao desenvolvimento sustentável, uma vez que este é o setor que mais causa impactos ao meio ambiente, como apresentado anteriormente. Além disso, muitos dos compromissos firmados nas conferências internacionais envolvem questões diretamente relacionadas à construção civil, cuja participação da sociedade é essencial para sua garantia.

Apesar de os desafios que se apresentam serem diversos,

[...] em síntese, consistem na redução e otimização do consumo de materiais e energia, na redução dos resíduos gerados, na preservação do

ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído. Para tanto, recomenda-se: mudança dos conceitos da arquitetura convencional na direção de projetos flexíveis com possibilidade de readequação para futuras mudanças de uso e atendimento de novas necessidades, reduzindo as demolições; busca de soluções que potencializem o uso racional de energia ou de energias renováveis; gestão ecológica da água; redução do uso de materiais com alto impacto ambiental; redução dos resíduos da construção com modulação de componentes para diminuir perdas e especificações que permitam a reutilização de materiais.” (BRASIL, 2002, p. 1-2)

Para tanto, surge o termo “construção sustentável”, que abrange diversas definições, tratadas no capítulo seguinte. A sustentabilidade, nas últimas décadas, ganha grande visibilidade no panorama global, levando a aprofundamentos na concepção de construção sustentável, que passa a ser percebida, segundo Mauricio (2017), não como um modelo que visa resolver problemas pontuais, mas como uma nova forma de se pensar a construção e os processos que a envolvem. Difundido em vários campos da vida humana, esse conceito nos leva a repensar o estilo de vida do ser humano na sociedade contemporânea, de forma a possibilitar a sobrevivência, num planeta saudável, das futuras gerações.

Portanto, a palavra sustentabilidade, no que diz respeito à construção civil, ultrapassa o emprego de determinadas técnicas e materiais de menores impactos ambientais, como apontam Kwok e Grondzik (2013, apud MAURICIO, 2017). Ela implica, como já apresentado acima, o atendimento às necessidades das gerações atuais sem que isso prejudique as gerações futuras, o que traz uma grande responsabilidade às pessoas envolvidas no setor que mais ameaça os recursos naturais e mais polui o meio ambiente.

Edificações ecológicas ou verdes, segundo os autores, se referem a projetos de arquitetura que sejam eficientes em consumo de água, energia e demais recursos, levando também em consideração, em todo o planejamento e desenvolvimento, os impactos ambientais causados no local e fora dele. O projeto se torna sustentável, então, quando não apresenta impactos líquidos negativos sobre o meio ambiente. Nesse sentido, é preciso se atentar para obras que se dizem ecológicas, mas que causam sérios impactos ambientais em alguma parte do seu processo produtivo. A trajetória dos materiais, do uso energético, as relações de trabalho que se estabelecem em cada etapa, assim como as condições de utilização futura da edificação, são essenciais para avaliar a sustentabilidade, dentre outros fatores apresentados mais adiante.

Apesar de parecer um desafio muito grande essa desconstrução do caminho destrutivo que a construção civil vem tomando em seu modelo hegemônico, alternativas mais conscientes e sustentáveis são possíveis e as iniciativas são inúmeras. O que falta é a divulgação dos conhecimentos e experiências já desenvolvidas, além da disposição do setor em investir nessa nova alternativa. Afinal, “[...] é possível habitar este planeta de maneira mais saudável, vivendo bem, sem destruir o meio ambiente, sem consumir à exaustão e sem poluir” (IPEC, 2016, apud MAURICIO, 2017), basta que a humanidade faça as melhores escolhas diante daquilo que já existe e produza novos conhecimentos que venham a contribuir para o suporte teórico e técnico dessa nova (ou muito antiga) forma de existir sobre a Terra.

4 BIOCONSTRUÇÃO NO CONTEXTO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Para que seja possível a compreensão mais completa do conceito de bioconstrução, precisa-se primeiro entender no que realmente se fundamenta a construção sustentável, um termo muitas vezes utilizado como marketing, mas sem uma avaliação criteriosa. Afinal, muitas empresas investem em produtos ecológicos diante da crescente demanda do mercado consumidor. Diante dessa “onda verde”, ramos da construção civil passaram a oferecer trabalhos de arquitetura verde que, segundo MAURICIO (2017), em muitos casos empregam sistemas de alta tecnologia que estão ligados a pesados processos industriais, utilizando, ainda, materiais não ecológicos. Apesar da aparência, tais obras ainda causam grande impacto ambiental e, em sua maioria, dependem de grande investimento financeiro, excluindo a maior parte da população do seu acesso.

No âmbito das edificações, o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2002) faz algumas recomendações sobre o que seria essencial para a sustentabilidade, qual seja: adequação ao clima local, para diminuir o consumo de energia interna e otimizando a ventilação; aquecimento e iluminação naturais; acessibilidade; orientação solar adequada, evitando utilizar o mesmo projeto em diferentes orientações; coberturas verdes; e, a depender do clima, sua suspensão do solo. Também orienta a escolha dos materiais, a priorizar: aqueles disponíveis no local, que sejam pouco processados, atóxicos, potencialmente recicláveis ou reciclados, aceitos culturalmente, propícios para serem utilizados por meio da autoconstrução ou em regime de mutirões. É importante evitar, além disso, materiais químicos que sejam prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana, “[...] como amianto, CFC, HCFC, formaldeído, policloreto de vinila (PVC), tratamento de madeira com CCA, entre outros” (BRASIL, 2002, p. 2).

Destaca, também, a atenção à redução e à destinação adequada dos resíduos, buscando a reciclagem e o reuso dos materiais. Para a diminuição do consumo energético, recomenda o coletor solar térmico para aquecer a água, a energia eólica para bombeá-la e a energia solar fotovoltaica, com possibilidade utilizar o excedente na rede pública. Com relação às águas e esgotos, propõe a coleta e

utilização de águas pluviais, reuso de águas, tratamento de esgoto adequado e, sempre que possível, o banheiro seco. Para as áreas externas, sugere

[...] a valorização dos elementos naturais no tratamento paisagístico e o uso de espécies nativas, a destinação de espaços para produção de alimentos e compostagem de resíduos orgânicos, o uso de reciclados da construção na pavimentação e de pavimentação permeável, a previsão de passeios sombreados no verão e ensolarados no inverno. (BRASIL, 2002, p. 4)

O Ministério do Meio Ambiente ainda aponta que as tendências da construção sustentável, portanto, caminham em dois sentidos. Se, por um lado, empresas apostam em “empreendimentos verdes” que, muitas vezes, ainda carregam sérios traços na construção convencional em seu processo construtivo e, outras tantas vezes, são economicamente inacessíveis, centros de pesquisa em tecnologias alternativas resgatam e aprimoram materiais e tecnologias vernáculos que se utilizam da terra crua, da pedra, do bambu, da palha, dentre outros menos processados, que podem se valer da mão-de-obra da própria comunidade.

Soares (IPEC, 2016 apud MAURICIO, 2017) acrescenta que as técnicas da arquitetura vernacular, algumas com centenas de anos de experiência, em muito reduzem os impactos ambientais. Nelas, grande parte do cimento, plástico e materiais tóxicos são substituídos por materiais em seu estado natural, disponíveis no local, como a terra, o que reduz os gastos com fabricação e transporte, reduzindo também os custos da construção. Além disso, podem oferecer um excelente conforto térmico.

A escola escandinava de paisagismo e arquitetura, de onde vieram muitos conceitos da arquitetura ambiental, procura observar a natureza e aprender com sua dinâmica, também buscando, antes de iniciar o projeto, o conhecimento que já existe no ambiente.

Busca saber como os elementos chegaram até lá e como eles se desenvolveram ao ponto de formar o ambiente atual, e fundamentalmente, saber como a construção poderá interferir naquele meio. Ao compreender como a natureza se formou naquele local, é possível entender como a forma arquitetônica poderá se encaixar em harmonia com os elementos da natureza circundante.” (LARSEN, 2001 apud MAURICIO, 2017, p. 10)

Assim, a bioconstrução surge não apenas com técnicas, mas como um conceito amplo e real que vem contribuir para a conservação do planeta. Segundo o mesmo autor, leva em consideração a ecologia profunda, com tecnologias de mínimo impacto ambiental, técnicas adequadas ao clima, com eficiência energética, uso de recursos

locais, tratamento adequado dos resíduos, integrando-se aos saberes das próprias comunidades envolvidas (MAURÍCO, 2017).

4.1 PERMACULTURA

Se o conceito de construção sustentável vem sendo utilizado na construção civil para abordar de forma genérica as iniciativas que visam a diminuição dos impactos ambientais, na abordagem da Permacultura, este termo tem designado coisas distintas, correntes diversas. Nela, o design permacultural que inclui moradias se vale da bioconstrução. Dessa forma, para que se possa compreendê-la, é necessário trazer o conceito de Permacultura, primeiramente. Ela foi criada na Austrália na década 1970 por Bill Mollison e David Holmgren, se referindo a uma cultura humana permanentemente sustentável.

Ela é, segundo Holmgren (2013 apud AMARO, 2017), paisagens planejadas de forma a imitar padrões e relações da natureza, enquanto produzem alimento, fibra e energia em abundância para as necessidades locais. As construções, seu modo de organização e as pessoas são peças centrais na permacultura. Inclui atenção à paisagem, à agricultura orgânica, à produção sustentável, às construções energeticamente eficientes, mas não se resume a isso. Tem potencial para projetar, administrar e aprimorar os esforços em busca de um futuro sustentável. É, ainda, “[...] uma engenharia de ecossistemas, cujo princípio básico é trabalhar “com” ou “a favor”, e não “contra” a natureza” (IPEC, 2016 apud MAURICIO, 2017). Como uma ferramenta de design, proporciona habitats humanos harmônicos com o meio ambiente, beneficiando a vida social e natural. Os projetos buscam o máximo de benefício com o mínimo de espaço e energia, em um sistema produtivo que perdura no tempo e integra a vida humana e os ciclos naturais (SOARES, 2013 apud MAURICIO, 2017).

Como citado, ela surge na Austrália, em Melbourne, como descreve a introdução dos 15 panfletos publicados por Mollison (1981) na Série Curso de Design em Permacultura. Ela fica nacionalmente conhecida a partir de uma entrevista na rádio com Bill Mollison, espalhando-se rapidamente no interesse público. Junto com David Holmgren, seu orientando de doutorado, nasce o livro *Permaculture One*, que foi

rapidamente vendido. Surgem, então, muitos grupos de pessoas que queriam se reunir para falar sobre o tema, criando também associações, num entusiasmo acalorado. Aconteciam várias palestras e logo foi lançado o Permaculture Two, que teve bastante visibilidade em todo o mundo. Mollison foi para os Estados Unidos e Canadá, onde realizou muitas palestras, inclusive na Futures Conference, em Toronto. A partir de então, a ideia se espalha pelo mundo e muitos grupos, apesar de pouco conhecidos, se dedicam a desenvolvê-la em diferentes contextos.

A ética permacultural “[...] permeia aspectos ambientais, comunitários, econômicos e sociais baseada no cuidado com a Terra, cuidado com as pessoas e contribuição do excedente” (MOLLISON, 1994 apud AMARO, 2017, p. 41). Seu cerne é o design, que conecta os elementos, colocando-os no lugar que mais potencializa seu funcionamento e de forma que se auxiliem mutuamente. Um mesmo elemento exerce o máximo de funções possíveis, apoiado por todo o sistema. Além disso, os princípios da permacultura ainda envolvem o planejamento eficiente no uso das energias e sua reciclagem local, a preferência a recursos biológicos aos combustíveis fósseis, a utilização das plantas como parte funcional do sistema, dentre outros.

Nas cidades, recebe o nome de Permacultura Urbana, propondo o uso da terra disponível, de modo cooperativo, para a produção de alimento, mesmo que numa pequena horta. Com um planejamento cuidadoso, é possível incluir o verde nos espaços urbanos. Seja no espaço urbano ou rural, é possível a aplicação dos princípios éticos e de design na busca por uma sociedade sustentável (AMARO, 2017).

4.2 BIOCONSTRUÇÃO

A partir do entendimento da permacultura, aprende-se a bioconstrução como um de seus aspectos, a partir da “[...] construção de ambientes sustentáveis por meio do uso de materiais de baixo impacto ambiental, adequação da arquitetura ao clima e tratamento de resíduos [...]” (AMARO, 2017, p. 44). Pode utilizar tanto materiais naturais, como industrializados, desde que haja a análise dos impactos ambientais gerados por todo seu ciclo de vida, inclusive no descarte. O fundamento, segundo

Ghattas (2012), é aproveitar ao máximo as infinitas possibilidades que cada material oferece, evitando o descarte irresponsável. seus métodos construtivos

[...] buscam a integração homem e ambiente através da:

- análise do ciclo de vida de cada material utilizado;
- análise da procedência e destino de cada material;
- não utilização de materiais tóxicos e descartáveis;
- valorização dos materiais e técnicas locais;
- racionalização do uso da água e promoção de tratamentos naturais dos efluentes (esgoto);
- reciclagem e reuso de resíduos líquidos orgânicos e sólidos;
- busca pela utilização de fontes de energias renováveis;
- trabalho com eficiência energética através do desenho bioclimático (SOARES, 2008 apud MAURICIO, 2017, p. 6).

Dois pontos centrais da diferenciação da bioconstrução em relação aos demais métodos construtivos diz respeito à ênfase na utilização de recursos naturais locais, com eventuais materiais industrializados reciclados ou reutilizados, e à ideia de autoconstrução, ou seja, valorizando a participação direta do/a futuro/a morador/a, de sua família e comunidade em todas as etapas do processo. Assim, Mauricio (2017) a considera como uma metodologia, pois seus princípios norteadores, ao serem aplicados, apresentarão as técnicas específicas que são adequadas a cada caso, individualmente.

A bioconstrução se banha de conhecimento multidisciplinar, integrando saberes populares com recursos tecnológicos de áreas como “[...] Agronomia, Arquitetura, Biologia, Design, Ecologia, Engenharia (Civil, Mecânica, Elétrica, Eletrônica, etc), Geologia, Sociologia, etc.” (GHATTAS; OBATA, 2012, p. 149). Sendo assim, não pode ser vista como uma técnica ou descoberta tecnológica, mas como uma mudança de paradigmas e conceitos, que tem como centro uma visão integrada dos impactos ambientais que são gerados durante todo o ciclo de vida do projeto e de seus recursos.

Como explica Colombo e Araújo (2004 apud MAURICIO, 2017), é um modelo que alia tecnologias do presente com um modelo do passado, sendo mais orgânico, causando menores impactos ao meio ambiente e preservando o conforto no interior da moradia, sem que, necessariamente, sejam utilizados padrões estéticos rústicos. Devem ser observadas algumas características, como a adequação ao clima, estar orientada em relação aos ventos, ao sol, às chuvas e à vegetação, de forma a ser termicamente agradável. Também deve

- respeitar a topografia local e incorporar-se à paisagem sem agredi-la;
- usar materiais e técnicas de construção saudáveis e sustentáveis;
- conseguir reutilizar e reciclar as chamadas águas cinzas (de banho, pias e tanques) e usar o telhado para coletar água de chuva;
- tratar adequadamente dejetos líquidos e sólidos, reintroduzindo-os, de forma positiva, aos ciclos naturais da região;
- incorporar vida vegetal para purificar o ar externo e interno (MAURICIO, 2017, p. 11).

Outros pontos relevantes dizem respeito à otimização do espaço construído e do uso dos materiais; à reciclagem dos resíduos; à função múltipla dos elementos envolvidos; ao movimento cíclico da natureza, de forma que o resíduo de um processo possa ser o recurso de outro; à integração com o meio, em suas características sociais e culturais; à eficiência no consumo e no aproveitamento da água e da energia; à vida útil mais longa e de baixa manutenção, amortizando seus impactos ambientais; ao reuso dos espaços, permitindo utilizações diferentes do planejado; à adaptabilidade para modificações futuras; e ao favorecimento da saúde de seus/suas ocupantes. As principais especificidades que devem ser observadas são “[...] localização, habitabilidade, água, energia, resíduos, materiais, e como relacionado, porém com menor ênfase, alimento e fluxo socioeconômico” (MAURICIO, 2017, p. 14).

Assim como na permacultura, na bioconstrução o design tem um papel fundamental. Ele deve permitir a composição de elementos diversos para a construção de um ambiente que proporcione uma convivência sustentável de pessoas, baseando-se na cultura, nas energias naturais do sistema, na vegetação ao entorno, nas escolhas das pessoas envolvidas e no bom senso.

O autor ainda afirma que ela pode ser aplicada a partir de 3 pontos de vista, quais sejam: do ponto de vista da construção, com seus impactos materiais e processos construtivos; de sua relação com o ambiente; e do seu efeito na saúde dos/as usuários/as. Em relação à construção, destaca-se a escolha dos materiais, considerando o consumo de energia e de recursos. Os critérios de escolha são, primeiramente, os materiais locais e, em seguida, os materiais naturais. Nesse sentido, dá-se prioridade ao que existe na localidade, mesmo que seja industrializado, como refugos de tijolos descartados por uma indústria, por exemplo, ou materiais de demolição, diminuindo também o gasto energético com transporte. Já os materiais naturais são aqueles utilizados em sua forma original ou pouco transformados, como terra, pedras, palhas, bambus, madeiras, etc. A otimização energética também inclui

a adequação à topografia, evitando ao máximo os cortes da paisagem, terraplanagens ou aterros, com um projeto estrutural exequível.

Do ponto de vista da sua relação com o ambiente, o que importa é relação da edificação com seus projetos complementares, buscando “[...] eficiência energética; adequação bioclimática; inserção adequada ao local: eco-integração; criação de microclimas ao redor; uso correto da água; tratamento dos efluentes” (MAURICIO, 2017, p. 19). A eficiência energética implica iluminação, climatização e ventilação natural pelo bom posicionamento de portas, janelas, além de outras opções como, no caso da iluminação, chaminés de luz, tetos reflexivos, claraboias ou materiais translúcidos. A adequação bioclimática, por outro lado, supõe a atenção ao clima, aos solos e à vegetação local, evitando, por exemplo, a impermeabilização de solos encharcados, com alto valor ambiental, ou casas que necessitam de condicionamento térmico.

Já em relação à saúde das pessoas que convivem na edificação, é um aspecto sutil, atrelado aos acabamentos e ao uso de eletrodomésticos, como ar condicionado. Nas bioconstruções, a intenção é promover a ventilação e iluminação natural, evitar contaminação química e eletromagnética. Além disso, as tintas industrializadas, como complementa Adam (2001 apud MAURICIO, 2017), possuem substâncias tóxicas, nocivas à saúde e ao meio ambiente, além de um processo de fabricação altamente poluente. Uma das soluções possíveis é a utilização de tinturas naturais feitas da própria terra ou vernizes naturais como resinas, essências de plantas, própolis, cera natural de abelhas, óleos de sementes, dentre outras.

Para uma boa climatização, são necessárias estratégias de projeto que busquem aproveitar os condicionantes naturais visando a economia energética e o conforto dos/as habitantes. Para tanto, é preciso conhecer as exigências climáticas do local da obra, para avaliar as opções mais adequadas. Mauricio (2017) apresenta como instrumento importante o Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Ele traz várias recomendações de projetos bioclimáticos para regiões diferentes do território, com informações sobre propriedades térmicas de paredes e coberturas, dimensões para as aberturas de ventilação, dispositivos de sombreamento, dentre outras. O desenho da edificação precisa se guiar por princípios relacionados a cada região climática, mesmo que não consiga suprir todas as suas necessidades.

O criador da permacultura destaca que, “[...] com as tecnologias disponíveis, não é necessário – nem de bom senso – construir uma casa que não economize ou gere sua própria energia” (MOLLISON & SLAY, 1991 apud MAURICIO, 2017, p. 12). É necessário, no entanto, que haja um esforço do poder público para tornar mais acessível às famílias de baixa renda, opções como coletores solares para aquecimento da água e outros dispositivos.

Um dos pontos que requer grande cuidado do/a bioconstrutor/a, de relevante importância, é o ciclo de vida dos materiais, ou seja, todos os processos pelos quais eles são submetidos, desde a extração da matéria-prima, manejo e transporte até a durabilidade, degradação e reintegração, analisando seus impactos em relação à natureza e à saúde humana (AMARO, 2017). Uma ferramenta básica para o desenvolvimento de uma obra sustentável, como aponta Araújo (2008 apud MAURICIO, 2017), é a Análise de Ciclo de Vida (ACV). Este estudo “[...] tem sido aceito por toda a comunidade internacional como a única base legítima sobre a qual comparar materiais, tecnologias, componentes e serviços utilizados ou prestados” (MAURICIO, 2017, p. 11). Assim, é possível escolhas mais conscientes e ambientalmente responsáveis, que preservem o futuro da Terra e, em consequência, da humanidade. Ao identificar o edifício com um organismo vivo, que acorda, dorme e respira, também se observa seu tempo de vida, suas transformações e necessidades.

Ghattas; Obata (2012) nos trazem conceitos que têm sido muito utilizados em diversos contextos e que devem ser bem observados e considerados na bioconstrução: reduzir/reutilizar/reciclar. Reduzir o consumo é a medida mais efetiva e urgente, diante da enorme quantidade de lixo na qual a humanidade está afundada, grande parte dele proveniente da construção civil. A reutilização consiste em mudar a perspectiva sobre um material que seria descartado, sendo a melhor opção para ele, uma vez que não requer novas energias destinadas para a reciclagem, como queima, fundição e trituração. Se não for possível, reciclar é uma opção benéfica do ponto de vista da redução da extração de matéria-prima. No entanto, alguns processos, além de consumir muita energia, utilizam produtos químicos. Em relação a isso, as empresas de reciclagem precisam ser cobradas a respeito do descarte de águas e gases gerados no processo de reciclagem, pois é recorrente a contaminação da água e do ar decorrente de tais processos químicos.

O material de construção mais abundante do planeta, como considera Soares (2007 apud AMARO, 2017), é a terra, utilizada para construir mais da metade das construções ao redor do mundo, sendo a arquitetura de terra uma das mais antigas da história. Usada há mais de 10 mil anos, suas tecnologias têm avançado de maneira muito importante nos últimos anos, melhorando em qualidade, durabilidade e conforto térmico. A opção pelo uso desse material tem se destacado na bioconstrução porque

Durante o preparo, transporte e trabalho numa construção com terra, necessita-se de 1% da energia despendida para o mesmo serviço em uma construção que utiliza concreto armado, além de ser um material que nunca causará contaminação do meio ambiente (MINKE, 2006 apud AMARO, 2017, p. 45).

Outra atenção importante é em relação à água, cujo consumo é apenas um dos aspectos envolvidos na busca por uma otimização do seu uso. Dentre outros aspectos, também é preciso garantir “[...] a coleta da água pluvial, o tratamento de águas fecais [...] e até mesmo a possibilidade produzir água própria para uso, por meio de tecnologias de tratamento de água” (BURKE; KEELER, 2010 apud MAURICIO, 2017, p. 12). Apesar da grande necessidade de tais cuidados, diante da iminência de uma crise hídrica global, o reuso da água ainda tem sido visto como algo exótico. No entanto, para Santos (2003 apud MAURICIO, 2017) e demais pesquisadores/as, a sobrevivência da espécie humana tem relação com sua capacidade de reaproveitar os recursos escassos, principalmente a água, além de estratégias de proteção, recuperação e uso consciente.

Uma das grandes preocupações de quem quer investir em casas sustentáveis, ou de quem pensa em se especializar na área, é o custo da construção, uma vez que projetos de arquitetura verde têm, frequentemente, oferecido opções que são completamente inacessíveis à maior parte da população. A bioconstrução, no entanto, apresenta uma proposta que pode ser realizada sem nenhum custo extra e, em muitos casos, com custos bem abaixo e maior lucratividade, como demonstram Hawken, Lovins e Lovins (2000 apud MAURICIO, 2017).

Para quem quer se especializar, é um caminho que pode trazer grandes vantagens também no sentido financeiro. Tais novidades podem ser convertidas em vantagens no mercado se o/a profissional fizer com que o/a investidor/a entenda as vantagens do sistema bioconstrutivo. Para tanto, é preciso que ele/a próprio/a acredite na qualidade desse modelo e, assim, tenha capacidade para não se render às

tendências contrárias do mercado. Afinal, como reforçam os autores, projetar construções não é somente uma atividade lucrativa, mas também a possibilidade de criar os espaços onde se vive, cresce e aprende, destacando que o modo de vida da sociedade é muito influenciado pelos ambientes onde vive.

É preciso fazer com que a bioconstrução vire moda, mostrando o lucro sócio-ambiental e também financeiro que ela oferece, além da consciência coletiva de sua necessidade e urgência tanto para as gerações presentes quanto futuras. Os autores ainda afirmam, a partir de seus estudos, que

[...] se cada Engenheiro fosse responsável pela produção de equipamentos de vinte a cinquenta por cento mais eficientes, a sua produção em trinta anos de carreira, geraria uma significativa economia de dinheiro (entre 6 e 15 bilhões de dólares por profissional), além de outras economias. Segundo os autores, isso justifica um investimento melhor na formação desses profissionais, pois os ganhos seriam de, no mínimo, cem vezes os custos (HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 2000 apud MAURICIO, 2017, p.13).

Apesar de todas as vantagens apresentadas a respeito da bioconstrução, ela ainda é muito pouco conhecida e aceita, tanto pelo senso comum, como no setor da construção civil. Para que tal conhecimento se torne acessível e chegue a mais pessoas, é preciso que haja ações de conscientização e investimento em pesquisas. O conceito e as técnicas bioconstrutivas são válidas e aplicáveis “[...] não só em meios rurais onde a matéria-prima é abundante, mas também no meio urbano onde se faz necessário uma logística viável, preservacionista e imediata” (GHATTAS; OBATA, 2012, p. 151).

5 TÉCNICAS BIOCONSTRUTIVAS

Neste capítulo, será abordado superficialmente algumas das técnicas da bioconstrução voltadas para a substituição, redução e até mesmo extinção do uso dos principais materiais industrializados que foram citados no primeiro capítulo como responsáveis por inúmeras atividades degradantes ao meio onde se vive. Também abordará, brevemente, técnicas que visam à economia e reuso da água. No entanto, sugere-se que as demais estratégias de reaproveitamento energético sejam aprofundadas por quem tenha interesse em se aprofundar no estudo da bioconstrução. Como pressuposto para este capítulo, tem-se que a utilização de matéria-prima local e natural, tendo em vista todo o ciclo de vida do material, em conjunto com a adoção de técnicas sustentáveis de construção, seria o primeiro passo rumo ao convívio em harmonia do setor construtivo com o meio ambiente.

5.1 TÉCNICAS DE FECHAMENTO

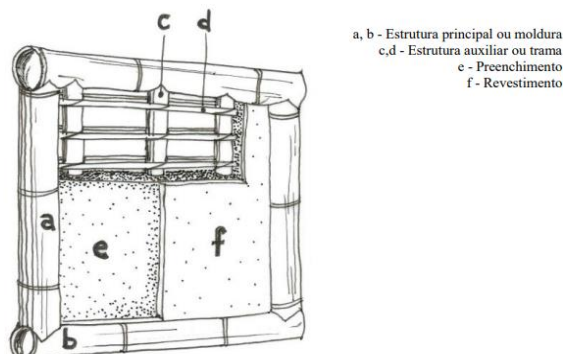
5.1.1 Pau a pique ou casa de taipa

A técnica do pau-a-pique foi criada pelos árabes e trazida para o Brasil pelos europeus na época da colonização (LEMOS, 1979). É considerada uma técnica de enchimento porque utiliza-se, além do barro para cobrir, de armação de galhos entrelaçados e preenchidos por bambu, assim a terra necessita de uma estrutura para estabilidade. Depois de montada, a armação é preenchida com terra e posteriormente rebocada (MINKE, 2012).

Pela sua simplicidade do ponto de vista tecnológico, essa técnica é a mais difundida no Brasil. Cordeiro et al. (2019) acrescenta que, para a permanência da técnica na atualidade, faz-se necessário o desenvolvimento de um procedimento técnico com normas específicas para aperfeiçoar a execução da estrutura, dos sistemas de amarração, ancoragens e montagens, ampliando assim a sua durabilidade.

A trama do entrelaçamento da madeira ou do bambu a pique sobre a fundação ou base é fixada com os tocos numa distância de, no mínimo, um palmo no sentido horizontal e vertical, amarrando-as com cipó ou pregando-as com parafusos ou pregos. Depois, coloca-se o barro, comprimindo-o, simultaneamente, com as mãos sobre a trama do lado de fora e de dentro, cobrindo assim todo o espaço entre os tocos. A massa do barro deve ser argilosa (VASCONCELOS, 1979).

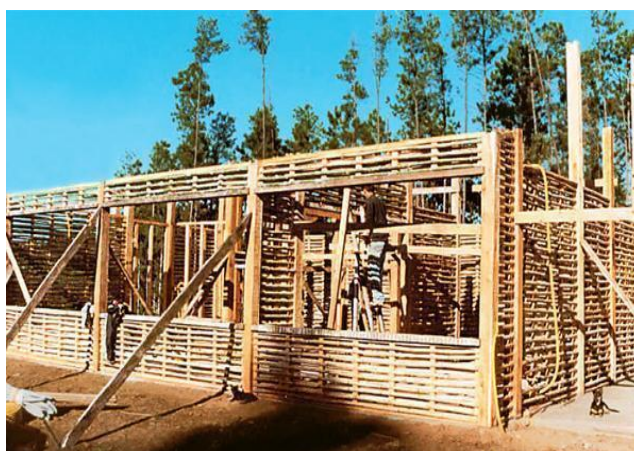
Figura 2 - Partes da técnica mista utilizando bambu



Fonte: HAYS; MATUK (2003)

Cordeiro et al. (2019) relatam que o bambu sempre deve ser tratado antes de sua aplicação para melhorar a sua durabilidade. O tratamento do bambu pode ser feito por meios naturais ou químicos e deve ser feito logo após o corte. Os tratamentos naturais dividem-se em cura na mata ou avinagrado, por imersão em água, pela ação do fogo, ação da fumaça ou defumação. Já os tratamentos químicos, mais eficientes do que os naturais, dividem-se em imersão em produtos oleosos, solúveis, hidrossolúveis, ou por substituição de seiva por sais

Figura 3 – Tramas de bambu para construção em pau-a-pique



Fonte: Piratininga (2008)

As argamassas são constituídas basicamente por dois componentes, o aglomerante e o agregado, os quais misturados com água obtêm o endurecimento e aderência, e ainda, ocasionalmente pode ser utilizado aditivo (KANAN, 2008). A fase do “barreamento” se divide em 3 camadas, sendo que a primeira e a segunda camadas são responsáveis por cobrir toda a trama vertical e horizontal, deixando a parede inteiriça, sem que as madeiras apareçam.

Figura 4 – Prensamento da argamassa de barro na taipa de mão



Fonte: Piratininga (2008)

Para proteger a construção das intempéries, vedar as rachaduras e principalmente vedar a parede contra a instalação do inseto transmissor da Doença de Chagas, o “barbeiro”, é feita uma terceira e última, que consiste uma mistura da terra com um elemento estabilizador, como fibras da palha, cal ou cimento (THAUMATHURGO, 2000). Kanan (2008) relata que os revestimentos a base de cal em paredes de terra têm como vantagens a boa porosidade e permeabilidade, contribuem na aparência e conservação da construção, durabilidade, possibilidade de manutenção periódica e inércia térmica.

Após o acabamento final com argamassas à base de cal, é indicado o uso de caiação, que é uma pintura composta de cal hidratada com partículas muito finas e água. Pode ser usado pigmentos utilizados tradicionalmente como óleo de linhaça, caseína, gordura animal, sabão, leite e outros para dar a coloração (KANAN, 2008).

Figura 5 – Casa de pau-a-pique**Fonte: Piratininga (2008)**

5.1.2 Cob

O termo Cob refere-se a uma técnica de construção na qual o terreno é escavado, misturado com água, palha, areia ou pedra e o levantamento da estrutura é feito utilizando essa “lama” enquanto maleável, em um processo manual, parecido com escupir uma grande escultura de argila. Após o processo de ressecamento do material, o produto resultante é uma estrutura monolítica capaz de suportar cargas. As primeiras estruturas em Cob surgiram na Inglaterra, por volta do século XIII, moradias como à ilustrada na figura 9 foram construídas na Inglaterra até o século XIX, quando o assentamento de tijolos se tornou o método construtivo mais popular (EVANS, 2002).

Figura 6 – Construção em Cob na Inglaterra**Fonte: Traditional British Style Cob Buildings (2019)**

A partir do século XX, a procura por técnicas de baixo impacto ambiental trouxe popularidade ao Cob, deixando de ser visto como uma construção primitiva e passando a ser um método associado à conservação do meio ambiente. Nas figuras 10 e 11, pode-se observar casas contemporâneas de Cob (EVANS, 2002).

Figura 7 - Casa contemporânea de Cob (1)



Fonte: Natural homes (2019)

Figura 8 – Casa contemporânea de Cob (2)



Fonte: SOOD, Gaurav (2018)

O Cob é uma alternativa para obras de baixo orçamento, pois a matéria-prima, em sua maioria, é o próprio solo, sendo uma técnica de simples execução. As paredes possuem espessura que variam de 60 a 90 cm e normalmente são assentadas sobre base de alvenaria de pedra, removidas do subsolo, sem a utilização de ferramentas pesadas ou produtos tóxicos. Esta técnica também pode ser construída sob regime de mutirão (EVANS, 2002).

De acordo com estudos desenvolvidos por KEEFE (1992), uma boa dosagem para a construção de Cob deve ser constituída pelos seguintes componentes: 30 a 40% de cascalho, 25 a 30% de areia, 10 a 20% de silte e de 10 a 25% de argila. Os vazios existentes nos cascalhos serão preenchido pela areia; o silte, material mais fino, ocupará os espaços restantes; e a argila proporciona coesão à mistura. A utilização de materiais fibrosos é fundamental para que o processo de secagem do material seja de forma uniforme, sem fissuras, sendo também um reforço estrutural e

térmico para a edificação. WATSON (2011) cita como exemplo de materiais fibrosos a utilização de: palha, trigo, aveia, urze, cabelo de animal, feno e galhos.

Evans, 2002 relata que as desvantagens do Cob como componente estrutural estão relacionadas à limitação construtiva de 2 pavimentos, devido às propriedades mecânicas dos materiais utilizados serem baixas. Além disso, contém grande quantidade de argila, o que resulta em uma pobre drenagem e acúmulo de água, que pode danificar o edifício. Sendo assim, é necessária a construção em base de pedra e telhados com beirais extensos. Porém, com a manutenção devida, reparos adequados e sendo protegida do impacto da chuva, as construções possuem grande durabilidade, comprovada pelo fato de que existem estruturas de Cob centenárias em bom estado. Relata como vantagem o conforto térmico da estrutura, pois as massivas paredes absorvem calor durante o dia e, durante a noite, este calor é liberado, sendo uma importante característica para edificações localizadas em climas quentes e secos. WARGOCKI (1999) descreve que a umidade adequada para a saúde humana é entre 40 a 60%. Outra vantagem importante do cob é que, quando demolida, a construção de terra simplesmente retorna à terra (LOURENÇO, 2002).

5.1.3 Adobe (Tijolo de barro e palha)

Segundo Oliveira Brasil (2016), o adobe é uma técnica tradicional de alvenaria, onde a principal matéria prima é a terra crua. O processo de fabricação do tijolo de adobe consiste em amassar a terra, originalmente com os pés e deixar essa massa descansar por alguns dias. O passo seguinte consiste na moldagem. Com a massa ainda úmida, deve-se moldar a terra em fôrmas de madeira, desenformar, e os tijolos devem ser deixando para secar lentamente à sombra e posteriormente curados ao sol. Atualmente, o tijolo também é feito com processo de secagem à sombra (CAMPOS ET AL., 2019).

Existem construções com adobe em todos os continentes do planeta, em climas quentes ou frios, subtropicais ou temperados, em todas as latitudes e quase todas as culturas e civilizações pré-industriais se utilizaram dele para edificar (Dethier, 1985).

O tijolo de adobe foi trazido para o Brasil pelos portugueses no século XVI. Atualmente, o tijolo adobe é valorizado por se tratar de uma técnica altamente

sustentável, que não utiliza o cimento e não necessita de combustível para secagem dos tijolos, além de possuir um ótimo conforto térmico, proporcionado pela palha em sua composição (ABNT, 2020).

Como qualquer outra técnica construtiva, o adobe apresenta vantagens e desvantagens, que serão melhor descritas a seguir segundo PEREIRA (2019)

- Vantagens:

- Facilidade de fabricação, de secagem e armazenamento;
- Considerando a porosidade da matéria prima, é considerado um material com considerável capacidade isolante;
- Permite a diversidade de formas e dimensões;
- O material é 100% reciclável, ainda que não produza resíduos;
- Não requer mão-de-obra especializada e equipamentos complexos específicos ou mecanizados para sua produção;
- É usado para construir paredes, arcos, abóbadas e cúpulas; – A matéria-prima é amplamente disponível e abundante.

- Desvantagens:

- O processo construtivo é um pouco mais lento, considerando a necessidade de se produzir os tijolos;
- A baixa resistência à tração e à flexão em relação às alvenarias executadas com blocos de terra compactada ou outro tipo de componente (tijolo e bloco cerâmico, bloco de concreto).
- A fabricação artesanal do componente requer esforço humano considerável e área ampla e arejada para a secagem;
- Existe a necessidade de muita água na sua fabricação, o que pode ser uma desvantagem, considerando a demanda ambiental por economia deste recurso;
- A dificuldade de obter as dimensões regulares do componente, ainda que sejam utilizadas as fôrmas de madeira;
- A qualidade do componente está condicionada à mistura e ao repouso de alguns dias da mistura para sua hidratação ("dormir" o barro);
- Absorve muita água devido a sua porosidade e não é indicado no caso de construção em locais com altos índices de umidade.

Acredita-se que dos fatores apontados, todos são passíveis de controle e intervenção, mas o que gera maiores preocupação é a proteção contra umidade que pode afetar significativamente a funcionalidade da edificação.

Figura 9 – Cafeteria construída em adobe, Minas Gerais



Fonte: CAMPOS ET AL., 2019

5.1.4 Superadobe e Hiperadobe

Técnica de bioconstrução que utiliza sacos com terra comprimida para fazer paredes em formatos retangulares ou curvos. Foi criada pelo arquiteto iraniano Nader Khalili. Esta técnica ganhou popularidade depois de ser apresentada em um simpósio realizado pela Agência Espacial Norte Americana - NASA em 1984 que consistia em apresentar uma técnica que fosse viável para construção de uma base na lua.

O superadobe se destacou como uma das melhores soluções arquitetônicas, tendo como vantagens: qualidade física, por utilizar grande parte dos materiais no próprio local, evitando o transporte; conforto térmico; além de evitar grandes extrações no meio ambiente na realização da construção (BRANDÃO, 2009). Durante muito tempo, Khalili utilizou tijolos de barro no desenvolvimento da técnica. Porém, ele chegou à conclusão que a utilização de sacos seria mais simples, criando assim a técnica do superadobe, que é uma técnica com facilidade de construção, otimiza tempo e necessita de baixo investimento (GOUVEIA, 2008).

O processo construtivo consiste na sobreposição de camadas de sacos, que são preenchidos com terra local compactada. É uma técnica simples, não necessitando de mão de obra especializada, gerando assim diminuição dos custos. Devido ao problema de baixo atrito entre os sacos, é recomendado o uso de arame

farpado entre as fiadas para aumentar seu atrito e resistência à tração, dependendo do tipo de saco e do projeto. Outro problema é com a dificuldade na execução do acabamento, seja com o reboco de cimento ou acabamentos naturais (SANTOS, 2015).

Tem como vantagens: baixo custo, grande resistência, suporta oscilações de solo, impactos, rápida execução, não necessita de mão de obra especializada, conforto térmico em dias quentes e frios e conforto acústico, técnica de construção ecológica. Como desvantagens: fragilidade à umidade, limitação vertical, a contração do barro ao secar origina fissuras (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

A fundação é uma etapa de grande importância nesse processo construtivo, ela deve suportar a estrutura e protegê-la da subida da água. Pode ser em radier concretado ou uma alternativa mais econômica, a trincheira escavada ao longo de toda a área que receberá as paredes. Essas trincheiras, ou valetas, devem ser de 10 a 15 centímetros mais largas que a espessura da parede (sacos preenchidos) e cerca de 30 cm de profundidade, preenchidas até o topo com britas livres de areia ou de silte. Recomendam também a estabilização da terra com cimento nas duas ou três primeiras fiadas da construção. A adição de 6 a 15% de cimento permite que ele aja como estabilizante nesse processo e deixe o solo mais resistente aos efeitos da umidade (HUNTER; KIFFMEYER, 2004).

Os estabilizantes químicos são necessários para estabilizar a terra das fundações, cintas de amarração, domos, arcos e vergas. Nas paredes, a estabilização química só é fundamental se o solo tiver menos de 5% de argila (HOUBEN E GUILLAUD, 1989).

HUNTER E KIFFMEYER, 2004 descrevem que, depois da fundação pronta, os sacos de propilenos devem ser preenchidos com terra argilosa. A melhor composição é a de 70% de areia e 30% de argila. Após o preenchimento do saco, a terra deve ser bem compactada através do apiloamento. Os próximos sacos são preenchidos e apilados em cima dos primeiros, e assim sucessivamente. A cada duas ou três fiadas, é recomendado colocar arame farpado, evitando assim que os sacos não deslizem.

Figura 10 – Arame farpado na construção em superadobe



Fonte: Assim que faz (2017a)

As paredes, após serem erguidas, devem ser compactadas lateralmente para facilitar a aplicação do reboco. As aberturas de portas e janelas vão sendo delimitadas à medida que as paredes vão sendo construídas, com a colocação de guias, que podem ser provisórias ou definitivas.

Figura 11 – Colocação de porta na construção em superadobe



Fonte: É assim que faz (2017b)

O reboco natural é uma alternativa ao uso do reboco de cimento. A cobertura pode ser de estilo convencional. O superadobe, quando bem feito, suporta grandes cargas (HUNTER; KIFFMEYER (2004).

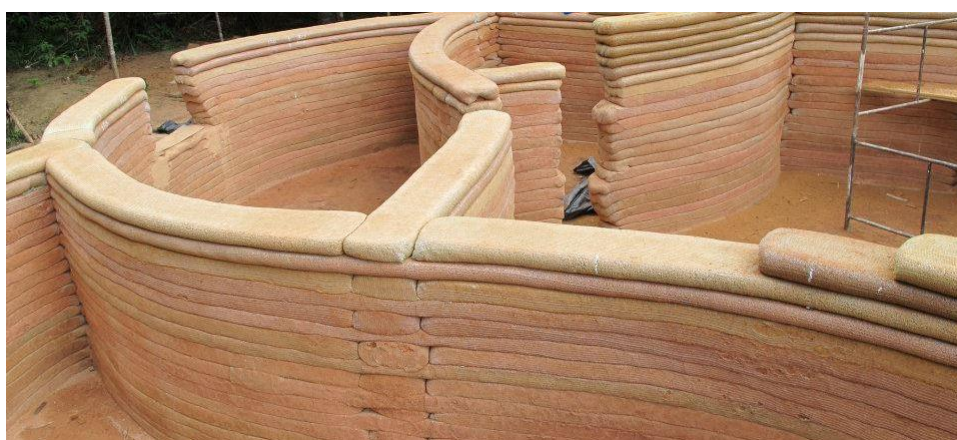
Figura 12 – Casa em superadobe



Fonte: Branco, 2017

Uma melhoria do superadobe desenvolvida no Brasil pelo engenheiro Fernando Pacheco no começo dos anos 2000 é o hiperadobe. O que diferencia uma técnica da outra é praticamente a fibra do material de ensacamento da terra. O superadobe utiliza bobinas de sacos contínuos de polipropileno de aproximadamente 50cm de largura, enquanto que o hiperadobe utiliza sacos de raschel. O hiperadobe não precisa usar arame farpado entre os sacos, a não ser juntas, arcos ou camadas inclinadas (PROMPT, 2012).

Figura 13 Paredes de Hiperadobe



Fonte: Azevedo; Duarte (2018)

5.1.5 Taipa de Pilão

A palavra “taipa” surgiu na França, na cidade de Lyon, no ano de 1562. É uma construção de paredes grossas, onde a terra é prensada entre tramas de madeira retangulares, e são retiradas à medida que as paredes vão ficando prontas (DETHIER, 1982). É um dos sistemas construtivos mais utilizados na antiguidade. Em Marrocos existem muralhas fortificadas, feitas de taipas no século XIII, que foram tombadas como patrimônio histórico na humanidade. É considerada uma das técnicas mais sólidas do sistema construtivo em terra crua devido às paredes serem construídas de forma inteira, monoliticamente (THAUMATURGO, 2000).

Utiliza-se terra socada com pilão (figura 14) em formas de madeiras que variam geralmente de 1 a 1,5 m de altura e de 2 a 4 m de comprimento. Técnica antiga utilizada principalmente nas igrejas no período colonial do Brasil (BRASIL, 2008, p.34).

)
Figura 14 – Confeção de Taipa de Pilão



Fonte: Recriar com você (2017)

Antes de iniciar a obra, verifica-se o local que deve ser, em terrenos naturalmente planos, não sendo indicado construir em baixadas e aterros. Isso acontece por conta das formas, que em terreno acidentado, não distribuem o peso das paredes de forma igual.

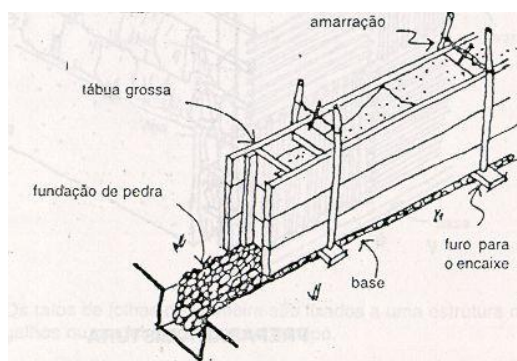
Como em qualquer construção com terra crua, o sistema construtivo de taipa de pilão precisa de uma fundação impermeabilizada, que fique acima do solo. A opção normalmente utilizada são as sapatas corridas, que permitem uma distribuição de cargas uniformes no solo e dificultam a capilaridade (fenômeno natural, onde a água do solo infiltra a base das paredes). As sapatas corridas podem ser feitas com concreto ou só com pedras.

A boa qualidade da taipa depende, principalmente, da seleção/dosagem do solo e a compactação. A escolha da terra pode ser feita através do método instrumentalizado e empírico. No método instrumentalizado, deve-se retirar uma amostra do solo. Essa coleta deve ser feita em torno de 30cm de profundidade, pois a primeira camada contém muita matéria orgânica, o que não é interessante para esse tipo de construção, pois a matéria orgânica compromete a resistência do material. O método empírico é por meio da experiência prática que, na maioria das vezes, funciona muito bem. Contudo, a probabilidade de que o produto final tenha a qualidade desejada é menor do que seria com a utilização do método instrumentalizado. O ideal é que o solo adquirido já tenha as características adequadas para a taipa, pois a realização da mistura irá aumentar o custo da obra (MONTORO, 1994).

Depois da seleção do solo, faz-se o processo de compactação dentro do taipal (armação retangular de madeira), colocando a terra por camadas de 15cm e depois usando um pilão para a compactação da mesma. Isso deve ser feito por camadas, umedecendo sempre que necessário, até que as camadas passem a ter cerca de 10 cm. Depois que o taipal estiver totalmente preenchido com terra compactada, desarma-se a forma e arma-se mais acima, até formar a parede inteira (MONTORO, 1994).

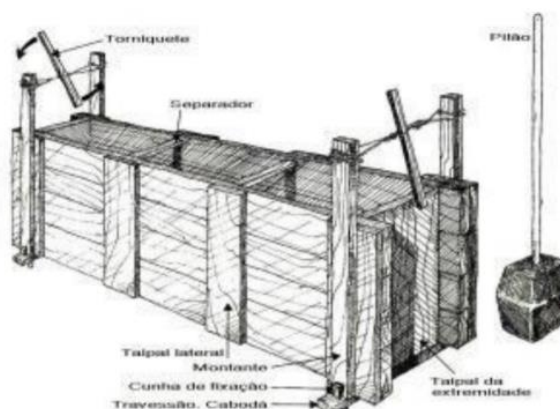
Para a montagem das formas, utilizam-se duas pranchas compostas de tábuas presas por montantes, espaçadas por separadores e travessas que delimitam a largura da parede. O conjunto é fixado por cunhas em baixo e por torniquetes em cima (figura 16). As extremidades são fechadas por tábuas laterais.

Figura 15 – Forma da Taipa de Pilão (1)



Fonte: Recriar com você (2017)

Figura 16 – Forma da Taipa de Pilão (2)



Fonte: BARDOU, 1981, p. 19

MINKE (2012) descreve que, após o preenchimento da primeira fiada do taipal, acima e em contato com o taipal cheio é montado outro taipal seguindo os prumos e níveis do taipal inferior. O processo de preenchimento e apiloamento é repetido até que o novo taipal esteja completo. O taipal inferior é desmontado e então remontado na posição superior ao taipal preenchido e este processo segue sucessivamente até alcançar a altura desejada para a parede.

Os vãos das aberturas, como portas e janelas, são deixados prontos à medida que as paredes são construídas, posicionando-se caixilhos de madeira e devendo seguir a lógica estrutural da construção, reforçando com vergas e contravergas. Devido as paredes serem autoportantes, que impossibilitam futuros reparos, é aconselhável que a instalação hidráulica e elétrica seja colocada externamente às paredes (MONTORO, 1994). A cobertura deve ser posicionada assim que as paredes forem finalizadas, impedindo que estas tomem chuva. Beiral largo para proteger a parede da ação da chuva. Montoro (1994) descreve, para o acabamento das paredes, a utilização de reboco de terra, pois este permite o “respiro” do sistema e “acusa” logo qualquer infiltração que tenha ocorrido. Não é indicada argamassa de cimento, pois esta pode soltar com o tempo, devido ao coeficiente de expansão ser diferente da terra. Empregam-se, ainda, como revestimento, azulejos lisos e tábuas.

Para Thaumaturgo (2000), do ponto de vista térmico e acústico, uma estrutura construída com a técnica taipa-de-pilão, com paredes com espessura entre 40 e 80cm, será uma casa resistente e confortável. A pintura das paredes é comumente feita com cal (caiação) ou com tintas de origem vegetal e mineral.

Figura 17 Pintura feita com caiação



Fonte: Montoro (1994)

5.2 ECONOMIA E REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA E DEMAIS TÉCNICAS BIOCONSTRUTIVAS

Como já trabalhado anteriormente, a água é um dos recursos cuja bioconstrução coloca um olhar especial no sentido da sua economia, tratamento e reuso em diversos contextos. Será apresentado rapidamente aqui, o reuso de águas cinzas, a captação da chuva e a construção de banheiros secos que, além de proporcionarem economia de recursos, também possibilita outros benefícios.

Efluentes do uso doméstico, que não possuem dejetos humanos, são conhecidos como “águas cinzas”. Este nome foi dado devido à coloração final do produto, que possui, em sua maioria, resíduos de sabão. A reutilização desta água pode ser aplicada na irrigação de alimentos (quando tratada), lavagem de pisos, descarga sanitária, entre outros usos não potáveis. Em alguns casos, como no de irrigação paisagística, as águas cinzas podem ser utilizadas sem nenhum tipo de tratamento. (MAURICIO, 2017).

Já o sistema de captação de águas da chuva é uma das formas mais simples de reutilizar este recurso. Em sua grande maioria, a água captada já está limpa, o que faz com que não sejam necessários processos de purificação, como aponta MAURÍCIO (2017). Para isso, é feita a coleta em pisos, coberturas, etc, sendo direcionada a reservatórios cuja dimensão precisa ser projetada de acordo com a vazão estimada. Lá, ela pode ser ou não tratada, dependendo do seu uso final, que pode ser, por exemplo, para a irrigação paisagística, usos não potáveis como bacias sanitárias, torneiras, lavagem de pisos e ruas, ou usos potáveis caso seja feito o tratamento adequado, de acordo com as exigências sanitárias. O reaproveitamento das águas da chuva é muito vantajoso, pois, além do baixo custo de implementação, ainda possui grande facilidade de manutenção e controle.

Além disso, a água tratada de maneira simples, pode ser aplicada com vantagens quando comparada com o sistema de reutilização de águas residuárias, embora dependa de períodos chuvosos para o abastecimento. E ainda apresenta benefícios ambientais, como redução de consumo de água potável, controle de drenagem pluvial, prevenção de enchentes, e manutenção do equilíbrio hidrológico (MAURICIO, 2017).

Outro sistema de tratamento de efluentes domésticos, é o banheiro seco quando possível. A humanidade vem utilizando o banheiro seco há séculos,

principalmente no oriente. Ele possibilita a economia de água e o reuso das excreções na agricultura, além de serem de baixo custo e de fácil instalação (Amaro 2017).

O banheiro seco é classificado em dois tipos de acordo com o tratamento dado às fezes: de desidratação ou de compostagem. No primeiro, o princípio é a secagem do material através do calor, por meio da evaporação, ventilação e adição de material secante, diminuindo os patógenos e impedindo a presença de odores e moscas. Já no segundo, há a decomposição biológica dos excrementos pelas bactérias aeróbias e outros microrganismos, em condições controladas (DEMENIGHI, 2012 apud AMARO, 2017, p.47).

Basicamente, o banheiro seco por compostagem, o mais utilizado, consiste num sistema de dois vasos, um para cada câmara, sendo utilizado um enquanto o outro permanece fechado. Com as fezes, a temperatura da câmara aumenta e organismos termofílicos entram em ação, decompondo a matéria fecal. Elas devem ser pintadas de preto para aumentar ainda mais a temperatura. A cada utilização, deve ser colocada matéria seca (como serragem), de forma a evitar odores e insetos, além de acelerar a compostagem. Ao encher uma das câmaras, coloca-se uma tampa pesada e a outra passa a ser utilizada até ser totalmente preenchida, tempo suficiente para que a matéria fecal da primeira tenha virado um adubo de alta qualidade, que pode ser usado na agricultura (MAURICIO, 2017).

Atualmente, com a falta de investimentos em saneamento e a alta exploração de recursos naturais para geração de energia, alternativas como as dos biodigestores têm se mostrado cada vez mais pensadas e aplicadas. O saneamento básico é um direito humano afirmado pela Organização das Nações Unidas. No Brasil, é um direito assegurado pela Constituição Federal de 1988 e pela Lei nº Lei 11.445/2007 (ANA, 2007). Assim sistema de tratamento de esgotos por biodigestores é uma opção simples de viabilidade de construção e como alternativa para a produção de energia limpa. Resumidamente biodigestores são câmaras hermeticamente seladas, onde resíduos orgânicos são decompostos, de maneira anaeróbia, resultando em produtos como biogás e fertilizantes (LENGEN, 2004). Não será detalhado suas construções aqui, mas são algumas das opções sanitárias sustentáveis a serem avaliadas no desenvolvimento do projeto bioconstrutivo.

Pela limitação de um trabalho de conclusão de curso, não será possível abordar todas as técnicas voltadas para a questão da água, tampouco as inúmeras

alternativas de geração energética própria e a amplitude das estratégias possíveis para a construção de edificações que tenham vida e coexistam com o planeta em harmonia e cooperação. No entanto, reforça-se a necessidade de novos estudos e pesquisas na área, que possibilitem a ampliação dos conhecimentos técnicos para uma efetiva transformação no *modus operandi* da engenharia civil.

6 CONCLUSÃO

Diante dos temas abordados no trabalho, pode-se dizer que o grande aumento do desenvolvimento intelectual e tecnológico da sociedade, atrelado à exploração em excesso e inconsequente dos recursos naturais do planeta nos últimos séculos, colocou a construção civil como o setor com grande responsabilidade destrutiva do meio ambiente. Felizmente, o conceito de sustentabilidade tem sido amplamente discutido nas últimas décadas num âmbito global, com diversos atores sociais apelando pela necessidade de uma relação harmônica e ecológica com o planeta.

A permacultura, em toda a sua amplitude, traz uma boa opção de transformação da maneira como o ser humano habita a Terra e utiliza seus recursos. Logo, a bioconstrução, como expressão permacultural da construção civil, traz boa abordagem de sustentabilidade.

A descrição das técnicas bioconstrutivas apresentadas neste trabalho não tinha como intenção esgotar o conteúdo sobre o assunto, tampouco abordar todas as estratégias possíveis, visto que a bioconstrução não é um aglomerado de técnicas, mas uma metodologia. Mesmo que seja essencial estudos mais minuciosos sobre tais técnicas, é importante, antes de tudo, entender suas bases e princípios e também adquirir um panorama de como elas se apresentam em casos específicos. As estratégias adotadas dependerão, a priori, da realidade local, dos recursos disponíveis e das pessoas usuárias do ambiente.

Espera-se que este trabalho possa ter ajudado de alguma forma as/os leitoras/es, inspirando a repensar o modelo hegemônico de construção civil, de forma a buscar novas alternativas, mais equilibradas e com maior consciência a respeito do papel do nosso setor na qualidade de vida dessas e das futuras gerações. Somente com a mudança de atitude de todas as pessoas e, em especial, daquelas atuantes em setores que envolvem mais impactos ambientais, é que se pode cumprir os acordos estabelecidos mundialmente, do qual o Brasil fez e faz parte.

Por fim, destaca-se a urgência de pesquisas aprofundadas na área da engenharia civil, que se aproveitem dos conhecimentos compartilhados por escolas de bioconstrução, outras áreas e também profissionais da área que dedicam sua prática a essa temática, de forma a inserir este conteúdo no quadro teórico do curso.

Assim, com uma base mais sólida, recém-formados/as podem escolher com mais propriedade sua especialização na bioconstrução. Além disso, o ramo da construção civil, tão relevante para a definição dos rumos do planeta Terra com relação às condições de vida da humanidade, pode passar a cumprir um papel mais consciente rumo ao desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16814**: Adobe - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: 2020.

AGOPYAN, V. **Construção Civil consome até 75% da matéria-prima do planeta.**

In: Globo Ciência. 2013. Disponível em:

<<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construcao-civil-consome-ate-75-da-materia-prima-do-planeta.html>>. Acesso em 05 Dez 2021

AMARO, Eliane Katayama Pricoli. **Vivências de bioconstrução**: um caminho para a leitura da paisagem. Programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Bauru, 2017.

ANA – **Agência Nacional de Águas**. Lei nº 11.445/2007-Saneamento Básico.

Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alocacao-de-agua/oficina-escassez-hidrica/legislacao-sobre-escassez-hidrica/uniao/lei-no-11-445-2007-saneamento-basico/view>>. Acesso em 03 dez 2021

ASSIM que faz. **Amarração de sacos**. Disponível em:

<<https://www.assimquefaz.com/wp-content/uploads/2017/01/amarração-sacos-7-720x516.jpg>>. Acesso em: 30 out. 2021. [s.l]: 2017a.

ASSIM que faz. **Superadobe**. Disponível em: < <https://www.assimquefaz.com/wp-content/uploads/2017/01/superadobe-12a.jpg>>. Acesso em: 30 out. 2021. [s.l]: 2017b.

AZEVEDO, B.; DUARTE, F. **Construção com Hiperadobe – Manual Terra Ensacada**. Edição 2018.

BARDOU, Patrick; ARZOUMANIAN, Varoujan. **Arquitecturas de adobe**. Barcelona: Gustavo Gili, 1981.

BENITE, A. **Emissões de carbono e a construção civil**. Centro de Tecnologia de edificações: São Paulo, 2011. Disponível em:

<<http://www.cte.com.br/imprensa/2011-02-27-emissoes-decarbono-e-a-construcao-civ/>>. Acesso em: 15 out. 2021.

BERALDO, A. L.; PEREIRA, M. A. R. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6, 2007.

BEUER, M.B. Encyclopedia of Material Science and Engineering. In: **Pergamon Press**. v. 1, Great Britain, 1986.

BRANCO, Alice. **Casas de Superadobe** – Baratas, fáceis de fazer e ecológicas: Conheça essa técnica de bioconstrução. Geenme, 2017. Disponível em: <https://www.greenme.com.br/morar/bioarquitetura/5524-casas-de-superadobe>. Acesso em 07 out. 2021

BRANDÃO, M. G. S. **Ecologia Urbana** - Potencialidades e Possibilidades: Sustentabilidade na Construção Civil. 2009. 73 Monografia (Especialização). Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Publicação - Diário Oficial da União - 17/02/1986. Brasília, 1986.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 307, de 17 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável. **Curso de Bioconstrução**. Brasília, DF, 2008. 64p.

CAMÕES, Aires. Betões de Elevado Desempenho com Incorporação de Cinzas Volantes. In: **Revista de Engenharia Civil**, Azurém, Portugal, v. 23, p.55-64, 2005.

CAMPOS, Alessandro; NASCIMENTO JUNIOR, João Batista do; BRITO, Larissa Tessari. **Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura**. Interações (Campo Grande), Campo Grande, v. 20, n. 1, p. 283-296, jan. 2019.

CAMPOS, André. Carvão vegetal, no rastro da siderurgia. Uso sem controle da mata nativa produz conflitos, desmatamento e trabalho escravo. In: **Revista Problemas Brasileiros**, n. 394, jul-ago 2009.

CASTRO, Tainara Rigotti de; GASQUES, Ana Carla Fernandes; MIOTTO, José Luiz; NETO, Generoso De Angelis; OKAWA, Cristhiane Michiko Passos. Impactos ambientais dos materiais da construção civil: breve revisão teórica. In: **Revista Tecnológica**. v. 23, p. 13-24, Maringá, 2014.

CORDEIRO, C. C. M.; BRANDÃO, D. Q.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019006, 2019. DOI: 10.20396/parc.v10i0.8651212. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8651212>. Acesso em: 3 dez. 2021.

DEGANI, C. M. **Sistema de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios**. 2003. 223p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DEJA, J; ULIASZ-BOCHENCZYK, A.; MOKRZYCKI, E. CO₂ emissions from Polish cement industry. In: **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 4, p.583–588, 2010.

DETHIER, Jean e Centre Georges Pompidou. **Arquitetura de Terra ou o futuro de uma tradição milenar**. Rio de Janeiro: Avenir, 1982.

DUARTE, M. R.; BUENO, M. S. G., Fundamentos ecológicos aplicados à RAD para matas ciliares do interior paulista. In: **Manual para recuperação de áreas degradadas do Estado de São Paulo**: Matas Ciliares do Interior Paulista, Guaratinguetá, SP, 2006.

EVANS, Ianto; SMITH, Michael G; SMILEY, Linda; BEDNAR, Deanne. **The Hand-Sculpted House**. United States, 2002.

FRANCKLIN JUNIOR, Ivan; AMARAL, Tatiana Gondim. Inovação tecnológica e modernização da indústria da construção civil. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Rio de Janeiro, out. 2008.

GERAQUE, Eduardo. Carvão vegetal para siderurgia ameaça o Pantanal, diz FGV. Folha de S. Paulo, 09 fev. 2008. In: **Nosso futuro comum**, 14 fev. 2009. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe0902200801.htm>>. Acesso em: 07 out 2021.

GHATTAS, Michel Habib; OBATA, Sasquia Hizuru. Bioconstrução: a forma básica para a sustentabilidade das construções. In: **XII Safety, Health and Environment World Congress**. São Paulo, 22-25 jul 2012.

GOUVEIA, Douglas; VILLELA, Felipe; DAMÁSIO, Luana; RAMIRO, Renato. **Superadobe**: Materiais e técnicas II. Universidade Federal Fluminense, 2008.

HAYS, Alain; MATUK, Silvia. Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra. Versão digitalizada. PROTERRA: **Tecnologías de Construcción con Tierra Subprograma XIV Tecnología para Viviendas de Interés Social**, CYTED, 2003. 350 p.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Traité de construction en terre**. Marseilles: Parenthèses, 1989. ISBN 2863640410.

HUNTER, K.; KIFFMEYER, D. **Earthbag building**: the tools, tricks and techniques. Gabriola Island, BC: New Society Publishers: 257 p. 2004.

INSTITUTO Aço Brasil. **Números de mercado**, 2020. Disponível em: <<https://acobrasil.org.br/site/dados-do-setor/>>. Acesso em: 03 dez. 2021.

KANAN, M. I. C. Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos a Base de Cal. In: **Cadernos Técnicos 8**. IPHAN/Programa Monumenta, Brasília, 2008.p 176.

KEEFE, Larry. **The COB Building of Devon 2 - Repair and Maintenance**. Devon, 1992.

LEHNE, J.; PRESTON, F. **Making Concrete Change - Innovation in Low-carbon Cement and Concrete**. Chathan House Report. Londres, p. 138. 2018. (978 1 78413 272 9).

LEMOS, Carlos. **Arquitetura Brasileira**. São Paulo: Melhoramentos EDUSP/ Universidade de São Paulo, 1979.

LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. Rio de Janeiro: Tibá Livros, 2004.

LÓPEZ, O. H. **Bamboo, the gifts of the gods**. Colombia, Bogota: D'vinni Ltda, 2003.

LOURENÇO, PL. **Earth constructions**. Master thesis, UTL-IST, Lisbon, Portugal, 2002.

MAURICIO, Cauê Cesar. **Bioconstrução**. Estudo de caso: Projeto e construção da casa ecológica modelo. Programa de Iniciação Científica. Centro Universitário de Brasília – UniCEUB. Brasília, 2017.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHHEIN, Raquel Naves. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**. In: **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 3, n. 1, p.75-96, jun. 2012.

MILANEZ, Bruno; PORTO, Marcelo Firpo de Souza. **A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990**. IV Encontro Nacional da Anppas, Brasília (DF) 4 - 6 jun. 2008

MILANEZ, Bruno; PORTO, Marcelo Firpo. **Parecer Técnico sobre o Relatório de Impacto Ambiental da Usina da Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA)**. ENSP e FIOCRUZ; jul 2009.

MINKE, G. **Building with earth: design and technology of a sustainable architecture**. 2. ed. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser: Publishers for Architecture, 2012. 208 p.

MOLLISON, Bill. **Introdução à Permacultura**. Yankee Permaculture, USA, 1981.

MONTORO, Paulo. **Como Construir Paredes de Taipa**. ILAM - Instituto Latino Americano; Escritório Arquiteto Paulo Montoro e Associados. São Paulo, 1994.

NATURAL Homes. **Building with cob; a home out of mud**. [S.l.]: 2018. Disponível em: <<http://naturalhomes.org/permahome/building-with-cob.htm>>. Acesso em: 05 nov 2021.

NOBRE FILHO, Pedro Aguiar et al. **Sustentabilidade ambiental da extração de áridos**: a lavra de areia no canal atvo do Rio Canindé – Paramot, Ceará. Revista de Geociências. São Paulo: v. 31, n. 1, p. 5-12, 2012.

PENNA, Paulo C. V. **Expansão da Mineração de Agregados para a Construção Endossa Crescimento da Economia**. IBRAM, Brasília, 20 set. 2010.

PEREIRA, Luiz Henrique Meneses. **Edificações sustentáveis**: Construção com Tijolo Adobe. Escola de Engenharia da UFMG - Belo Horizonte, 2019

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6, 2007.

PESSOA, G. A. **Avaliação de projetos de mineração utilizando a teoria das opções reais em tempo discreto** - um estudo de caso em mineração de ferro. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Empresarial) – Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 2006.

PINTO T. P. Gestão dos resíduos de construção e demolição em áreas urbanas – da ineficácia a um modelo de gestão sustentável. In: **Reciclagem de Entulho para a produção**. Salvador: Editora da UFBA, 2001.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. (Coord.) Manejo e gestão dos resíduos da construção civil. Volume 1 – **Manual de orientação**: como implementar um sistema de manejo e gestão nos municípios. 194p. Brasília, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.

PIRATININGA, Carlos. Um refúgio de pau-a-pique. In: **Casa Abril**. Texto de Eliana Medina e Marianne Wenzel. Disponível em: <<https://casa.abril.com.br/casas-apartamentos/um-refugio-de-pau-a-pique/>>. Acesso em: 05 nov 2021.

PROMPT, C. H. **Arquitetura de terra em unidades agrícolas familiares**: estudo de caso no oeste catarinense. 2012. 176 (Dissertação). PósArq, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

RECRIAR com você. **Taipa de Pilão** - Paredes. [S. l.]: 2017. Disponível em: <http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/?s=taipa+de+pilão>. Acesso em: 05 nov 2021.

REDE Brasileira De Justiça Ambiental. **Siderurgia e Justiça Ambiental**. Parte I, Tendências na Siderurgia no Brasil e no Mundo. Rede Brasileira de Justiça Ambiental, mai 2008.

ROTH, C. das G.; GARCIAS, C. M. **Construção Civil e a degradação ambiental**. Desenvolvimento em Questão, v. 7, n. 13, p. 111-128, 2009 .

SANTI, A. M. M.; SEVÁ FILHO, A. O. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento: casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações. In: **Encontro da ANPPAS - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade**, 2., 2004, Piracicaba. Anais... Encontro da ANPPAS, p.1-18, 2004.

SANTOS, R. N. D. S. **Novo orçamento para a mão-de-obra do protótipo**. SANTOS, J. R. R. D. Brasília 2015.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. B.; CARDOSO, A. C. F. Gestão de resíduos da construção civil. In: **Cobrac — Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis: UFSC, de 10 a 14 de outubro de 2004.

SCHERER, Flávia Luciane. A consolidação de empresas brasileira de construção pesada em mercados externos. Belo Horizonte: UFMG, 2007.
SEBASTIÃO, M. **Estudo da emissão de poluentes atmosféricos na indústria cimenteira**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SERNA, Humberto A. Agregados para Construção Civil. In: **Sumário Mineral 2010**. Brasília: DNPM, 2010.

SEVERINO, A. J. Metodologia do Trabalho Científico. São Paulo, SP: Cortez, 2007.

SHANNON. Uma casa de espiga construída dentro de uma cúpula geodésica no Ártico. In: **OffGrid World**. [S. l.]: 2019. Disponível em: <<https://offgridworld.com/a-cob-house-built-inside-a-geodesic-dome-in-the-arctic/>>. Acesso em: 05 nov 2021.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração**. Revista Espaço da Sophia, n. 8, ano 1, nov. 2007.

SOOD, Gaurav. **Why Cob House is an Eco-Friendly Building Option**. Homecruz, 2018. Disponível em: <<https://www.homecruz.com/cob-house-cost-why-cob-house/97115/>>. Acesso em: 07 out 2021.

THAUMATURGO, Claudia Gonçalves da Silva. **Conceitos e reconceitos relativos às Construções em Terra Crua**. Dissertação de Mestrado em Saúde Pública Escola Nacional de Saúde Pública/ Fundação Oswaldo Cruz, Subárea Saneamento e Saúde Ambiental. Ministério da Saúde. Março, 2000.

TRADITIONAL BRITISH STYLE COB BUILDINGS. 2019. Disponível em: <<http://www.cobcottage.com/galleries/traditional-british-style-cob-buildings>>. Acesso em 3 Dez. 2021.

UHLIG, A.; GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T. O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. In: **Revista Brasileira de Energia**. São Paulo, v. 14, p. 67-85, 2º sem. 2008. Disponível em: <<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/224>>. Acesso em: 07 out 2021.

CNUMAD, Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Agenda 21 (global)**. Tradução do Ministério do Meio Ambiente – MMA. Rio de Janeiro, 1992a.

CNUMAD, Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 1992b.

UNEP. Buildings and climate change: status, challenges, and opportunities. Paris: United Nations Environmental Programme, 2007

VALVERDE, Fernando Mendes. **Sumário mineral brasileiro 2002**: Agregados para a construção civil. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2002. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>>. Acesso em 08 out 2021.

VASCONCELLOS, Sylvio de. **Arquitetura no Brasil**: sistemas construtivos. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 1979.

VERÇOSA, Enio. **Materiais de construção**. Porto Alegre. Editora da UFRS. 2000

WATSON, L; MCCABE, K. **The cob building technique**. Past, present and future. University of Plymouth. United Kingdom, 2011.

WARGOCKI, Pawel; WYON, David P; BAIK, Yong K.; CLAUSEN, Geo; FANGER, P. Ole. **Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads**. Munksgard. Denmark, 1999.