



**REDE DE ENSINO DOCTUM  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA**

**FERNANDO LUIZ VIEIRA ALKMIM  
ALENCAR DE FREITAS**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM OBRAS DE  
PEQUENO E MÉDIO PORTE**

**BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MINAS GERAIS**

**2015**

REDE DE ENSINO DOCTUM  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA

FERNANDO LUIZ VIEIRA ALKMIM  
ALENCAR DE FREITAS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM OBRAS DE  
PEQUENO E MÉDIO PORTE**

Monografia apresentada à Banca  
examinadora da faculdade Engenharia Civil  
do Instituto Doctum de Educação e  
Tecnologia com requisito parcial de obtenção  
do grau de bacharel em Engenharia Civil, sob  
orientação do Professor Thales  
Leandro de Moura

MINAS GERAIS

2015

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeira a Deus que em sua infinita bondade e conhecendo nossas lutas diárias nos permitiu alcançar o sucesso com a execução deste trabalho. Aos familiares que a todo instante não nos deixaram desanimar. Ao professor orientador que a todo tempo esteve conosco nesta caminhada que nos propomos. A vocês o nosso muito obrigado!

## RESUMO

O país vem passando por momentos favoráveis ao desenvolvimento da construção civil, isto beneficia o surgimento de novas técnicas de investimento que por consequência favorece a toda uma população. Por este motivo, houve um grande crescimento nos investimentos na construção civil, muitos empreendimentos surgiram e ainda há muitos a serem construídos. Desta maneira, muitas são as empresas que buscam em decorrência a um investimento mais rentável a escolha de um sistema construtivo ideal para seus interesses. Assim, o estudo em questão busca apresentar a melhor solução do ponto de vista econômico para um edifício residencial de tamanho e padrão médios. Na comparação entre os sistemas de estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural, obteve-se que o custo com o conjunto alvenaria, supra estrutura e revestimento é mais baixo na alvenaria estrutural. Além disso, por apresentar maior produtividade em certas atividades o custo com mão-de-obra na alvenaria estrutural também é mais barato. Na soma de todos os itens da obra, o sistema em alvenaria estrutural apresentou uma redução de 8% para este perfil de obra. Verificou-se também que este percentual pode ser potencializado em obras de padrão mais baixo, nas quais a estrutura tem um peso maior no custo final e o inverso ocorrendo em empreendimentos de alto padrão.

**Palavras-Chave:** Concreto Armado; Alvenaria Estrutural; Orçamento.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tabela de mistura de concreto .....	13
Figura 2: Estrutura de Concreto Armado com vedação em alvenaria .....	19
Figura 3: Alvenaria Estrutural .....	27
Figura 4: Fluxograma .....	32
Figura 5: Detalhamento de Estacas .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cálculo de Benefícios de Despesas Internas (BDI).....	32
Tabela 2: Execução de Serviços.....	35
Tabela 3: Execução em Serviços de Concreto Armado.....	36
Tabela 4: Vantagens e Desvantagens de estrutura de concreto armado.....	32
Tabela 5: Alvenaria Estrutural.....	38
Tabela 6: Comparação entre estrutura de concreto armado x alvenaria estrutural.....	39

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>1. ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....</b>	<b>10</b>
1.1 ORIGEM E FUNÇÕES DAS ESTRUTURAS.....	11
1.2 ESTRUTURAS MAIS UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	14
1.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS.....	14
1.4 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	18
1.4.1 Processo em Execução.....	20
1.4.2 Conservação e Manutenção.....	21
1.4.3 Aspectos Ambientais.....	23
1.4.4 Normas Técnicas para o uso do concreto armado.....	25
1.5 ALVENARIA ESTRUTURAL.....	27
1.5.1 Definição e Elementos Construtivos.....	27
1.5.2 Processos Construtivos.....	29
1.5.3 Aspectos Ambientais.....	29
<b>2. DADOS PARA ANÁLISE ECONÔMICA.....</b>	<b>31</b>
2.1 ANÁLISE COMPARATIVA E ECONÔMICA PARA CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS DE CONCRETO.....	34
2.2 COMPARATIVO E FINANCEIRO GERAL.....	37
2.3 – ANÁLISE COMPARATIVA GERAL.....	37
<b>3. CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>48</b>

## INTRODUÇÃO

A economia brasileira atravessa, nos últimos anos, um ótimo momento ao que se diz novas pesquisas no ramo da construção civil. Desta forma encerrou o ano de 2010 com um crescimento no PIB de 7,5% (SARAIVA, 2011) e continuará crescendo esse ano, apesar da Federação Brasileira de Bancos (FEBRABAN) apontar uma diminuição no ritmo de crescimento, estimando em 3,9% o aumento do PIB para este ano. Este período que houve o bom desempenho econômico se refletiu nos investimentos no setor da construção civil e seus estudos que buscaram beneficiar a todas as classes, mas principalmente as menos favorecidas. Estas obras geralmente aparecem principalmente nos grandes centros, que apresentam maior demanda e, por sua vez, maior liquidez dos imóveis.

Assim o presente trabalho busca apresentar um estudo comparativo entre os sistemas construtivos de estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural, buscando trazer foco principalmente em sua diferença de custos, visando buscar a melhor solução construtiva para uma obra de porte e padrão semelhantes ao do projeto estudado.

Desta forma no desenvolvimento do estudo sobre a aplicação do concreto armado ou alvenaria estruturada será necessário estudar as definições e aplicações dos sistemas construtivos e analisar a situação atual dos sistemas no Brasil.

Esta pesquisa visa portanto o estudo comparativo de custo de dois métodos estruturais, que estão sendo utilizados com frequência entre os empreendedores do ramo no mercado nacional, devido à rapidez e facilidade de execução oferecida por estas duas tecnologias: Alvenaria Estrutural e Concreto Armado trazendo como objetivo a demonstração da viabilidade econômica e construtiva para edificações que utilizem estes métodos.

Desta forma, este trabalho, além de expor e comparar as duas tecnologias, levará um conhecimento sobre vantagens, desvantagens e utilização para os métodos citados.

Por fim, para desenvolver toda essa pesquisa não há como desconsiderar as possibilidades que o mercado imobiliário das classes C e D predisuseram e as vantagens de atender a essas novas classes sociais que em decorrência de

programas governamentais favorecem a aquisição de tais imóveis de uma forma menos onerosa para todos.

## 1. ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Toda construção necessita de uma estrutura suporte, que por sua vez necessita de projeto, planejamento e execução própria; estrutura em uma construção: função prioritária de garantir a forma espacial idealizada, com segurança, por um determinado período de tempo.

As estruturas se caracterizam por serem as partes mais resistentes de uma construção. São elas que absorvem e transmitem os esforços, sendo essenciais para a manutenção da segurança e da solidez de uma edificação. Uma estrutura é formada por elementos estruturais, que combinados dão origem aos sistemas estruturais. A finalidade de uma estrutura é receber e transmitir os efeitos das ações sofridas para o solo (SANTOS, 2011).

Dessa forma, as estruturas devem ser construídas com materiais que não são perfeitamente rígidos, chamados materiais estruturais. A execução de uma construção, seja ela de grande ou pequeno porte, implica obrigatoriamente na construção de uma estrutura suporte, que necessita de um projeto, planejamento e execução própria. Desta forma, a estrutura em uma construção tem como finalidade assegurar a forma espacial idealizada garantindo integridade à edificação por tanto tempo quanto o necessário. Durante o período de atividades do presente projeto, foi possível estudar a fundo vários importantes sistemas estruturais, sistemas esses que foram encontrados nas estruturas analisadas. São eles: treliças planas, vigas treliçadas, treliças espaciais, blocos de alvenaria estrutural, vigas, pilares, lajes, grelhas e cascas cilíndricas. Além dos sistemas estruturais, foi possível também estudar importantes materiais, dentre eles: o aço estrutural (em especial, os aços patináveis), a madeira e o concreto armado (material do qual são feitos os blocos de alvenaria estrutural, lajes e vigas (SANTOS, 2011).

Assim as estruturas ou sistemas estruturais são constituídas através da disposição racional e adequada de diversos elementos estruturais. Os elementos estruturais são os responsáveis por receber e transmitir as solicitações na estrutura, sofrendo como consequência deformações. Os elementos estruturais podem ser: Barras: possuem dimensões da seção transversal da mesma ordem de grandeza, e menores em relação ao seu comprimento e cujo eixo é uma linha reta ou curva aberta. As barras podem constituir diversos sistemas estruturais. Dentre os principais estão: Viga: estrutura formada por barras alinhadas; Arco: estrutura

formada por barra cujo eixo é uma curva única; Pórtico: estrutura formada de barras não-alinhadas; Cabo: formado por uma barra flexível, sem resistência à flexão (resiste bem a esforços de tração); Treliça: estrutura constituída por barras dispostas de modo a formar uma rede de triângulos. Folhas ou estruturas de superfície - São elementos estruturais que apresentam grandes superfícies em relação a sua espessura.

Nesta classe de elementos podemos ter as seguintes estruturas: Chapas: são estruturas formadas por dois planos paralelos muito próximos um do outro, estando as forças situadas no plano médio. Como exemplo prático podemos citar as vigas-parede. Quando a chapa é muito fina tem-se uma estrutura laminar; Placas: estruturas planas nas quais as cargas agem em planos diferentes da superfície (normalmente perpendiculares); Membranas: são placas ou cascas que não possuem resistência à flexão; Cascas: São estruturas limitadas por duas superfícies curvas. Exemplo: cúpulas. Blocos: Os blocos possuem as três dimensões com a mesma ordem de grandeza. Para os blocos não se pode desprezar nenhuma das três dimensões, por este motivo não deve ser considerado uma estrutura linear (barra) nem estrutura superficial (folha). Como exemplo de estrutura formada por bloco pode-se citar os blocos de fundações.

## 1.1 ORIGEM E FUNÇÕES DAS ESTRUTURAS

De forma simplificada, é a aplicação da mecânica dos sólidos ao projeto de edifícios, pontes, muros de contenção, barragens, túneis, plataformas de petróleo, navios, aviões, automóveis e outras estruturas.

O objetivo do projeto de uma estrutura é permitir que a mesma atenda à sua função primária sem entrar em colapso e sem deformar ou vibrar excessivamente. Dentro destes limites, os quais são precisamente definidos pelas normas técnicas, o engenheiro estrutural almeja o melhor uso dos materiais disponíveis e o menor custo possível de construção e manutenção da estrutura.

Resumidamente, as principais etapas do projeto estrutural são a criação do esquema estrutural, a definição das cargas ou forças que atuam na estrutura, o cálculo dos esforços e deformações, o dimensionamento das peças estruturais, e finalmente o detalhamento do projeto para execução.

O esquema estrutural é uma representação simplificada da estrutura em termos de seus elementos, conexões e apoios. Dentro das restrições do projeto arquitetônico, a definição do esquema estrutural é uma das etapas mais dependentes dos conhecimentos, da experiência e da criatividade do engenheiro estrutural.

Desde o início da história, os humanos passaram a construir seus próprios abrigos utilizando os elementos naturais ao seu redor. Posteriormente, as estruturas adquiriram características cada vez mais complexas, reflexo do desenvolvimento das técnicas. Passou-se então, a utilizar conhecimentos científicos nesta área, de forma que as dimensões, a resistência e outros atributos de uma determinada obra podiam ser estimados. Novos materiais passaram a ser utilizados, sobretudo ferro e cimento, que possibilitaram o surgimento das grandes estruturas que hoje compõem o cenário do mundo moderno (COÊLHO,2008).

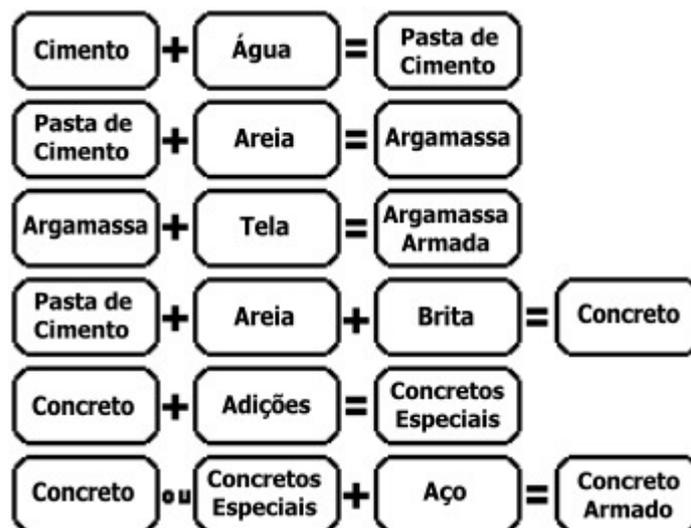
Durante a passagem dos séculos, muito as pessoas se surpreenderam com a capacidade e versatilidade do concreto; grandiosas obras foram construídas, mas nem sempre foi assim. A história do concreto deve ser remetida à do cimento, seu principal componente e que produz a reação química de formação da pasta aderente, a qual torna o concreto tão eficiente. O cimento tem em sua antiga história, passagem pelas pirâmides do Egito, que utilizaram em sua concepção uma espécie de gesso calcinado, entra pela Roma e Grécia antigas, que aplicaram em seus monumentos uma massa obtida pela hidratação de cinzas vulcânicas e ganha desenvolvimento nas mãos do inglês John Smeaton, em suas pesquisas para encontrar um aglomerante para construir o farol de Eddystone em 1756. Com James Parker, que descobriu em 1791 e patenteou em 1796 um cimento com o nome de Cimento Romano, composto por sedimentos de rochas da ilha de Sheppel e ganha destaque com as pesquisas e publicações feitas pelo engenheiro francês Louis José Vicat em 1818 (COÊLHO,2008).

Concreto é basicamente o resultado da mistura de cimento, água, areia e brita. Na mistura do concreto, o Cimento, juntamente com a água forma uma pasta mais ou menos fluida, dependendo do percentual de água adicionado. Essa pasta envolve as partículas de agregados com diversas dimensões para produzir um material, que, nas primeiras horas, apresenta-se em um estado capaz de ser moldado em fôrmas das mais variadas formas geométricas. Com o tempo, a mistura endurece pela reação irreversível da água com o cimento, adquirindo resistência

mecânica capaz de torna-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição.

No preparo do concreto, um ponto de atenção é o cuidado que se deve ter com a qualidade e a quantidade da água utilizada, pois ela é a responsável por ativar a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se sua quantidade for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e se for superior a ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando este excesso evaporar. Além disso, concreto deve ter uma boa distribuição granulométrica a fim de preencher todos os vazios, pois a porosidade, por sua vez, tem influência na permeabilidade e na resistência das estruturas de concreto conforme figura abaixo:

**Figura 1. Composição da argamassa e do concreto**



Fonte: Concreto o preparo e suas normas

## 1.2 ESTRUTURAS MAIS UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A estrutura é um dos fatores mais importantes em uma obra, pois todos os demais elementos dependem de sua solidez para a estabilidade da edificação. De forma concisa, a estrutura é o "esqueleto" da Obra, ela compreende as áreas de sustentação: fundação, alicerce, colunas, vigas, paredes, lajes e telhados. Pela estrutura é possível prever futuros problemas os menores que sejam.

Existem vários tipos de estruturas, como de madeira, ferro, aço, concreto e perfis metálicos. Agora faremos uma abordagem de alguns dos tipos (os 3 mais utilizados):

**Estrutura de madeira:** A madeira é um dos materiais de utilização mais antiga na construção civil, tendo como vantagem não oxidar. A madeira utilizada hoje tem alta resistência ao ataque de cupins, leveza (o que tornaria um projeto de fundação menos robusto). Comparando com o concreto, ganha-se tempo. Mas as estruturas de madeira têm menor resistência a torção ou compressão do que o concreto, e deve-se ter uma instalação elétrica bem planejada, para evitar qualquer tipo de acidente (DERKIAN, 2014).

**Estrutura metálica:** A tendência na área da construção civil é aumentar a utilização de estruturas metálicas, pois tem como vantagem a grande precisão dimensional e leveza estrutural. São de rápida montagem e utiliza-se um canteiro de obras menor do que o utilizado em um edifício construído com estrutura de concreto. Existem problemas, como a necessidade de uma maior proteção contra efeitos corrosivos, e também contra o calor, que poderá causar deformação na estrutura metálica (DERKIAN, 2014).

**Estrutura de Concreto Armado:** É o material mais utilizado para estruturas atualmente, diferencia-se do concreto normal por receber uma armadura metálica por resistir aos esforços como tração e compressão. É nada mais que a união do concreto simples e de barras de aço, com a perfeita aderência entre o concreto e o aço, resistindo juntos aos esforços (DERKIAN, 2014).

**Estrutura de Blocos de Concreto:** Este é um tipo de estrutura muito utilizado hoje, devido a sua praticidade. É a estrutura feita somente com blocos de concreto, dispensando os pilares, madeiras, metais. Toda a estrutura e "parede" são os blocos. É muito utilizado em obras baixas e casas (DERKIAN, 2014).

### 1.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS

Enquanto que os engenheiros podem aprender através de erros estruturais o que não fazer, eles não necessariamente aprendem através de sucessos como fazer alguma coisa, exceto repetir o sucesso sem mudanças. E mesmo isto pode ser temeroso, pois uma combinação de boa sorte em que temos uma ponte

construída com um material ótimo, com manutenção bem feita e nunca sobrecarregada, pode estar completamente ausente em uma outra ponte com projeto idêntico, mas feita com material de qualidade inferior, e com pouca manutenção e constantemente sobrecarregada. Por isso, o engenheiro necessita de meios racionais de se lidar com todas as incertezas de projeto e construção, como possíveis falhas de materiais, pior ou melhor manutenção (quando existente), eventuais sobre carregamentos, etc.

Um desses recursos, empregado em todos os projetos de engenharia, é o coeficiente de segurança, um número a que frequentemente se refere como “fator de ignorância”. O objetivo dos coeficientes de segurança é, por exemplo, tornar possível que uma ponte metálica construída com o pior lote imaginável de aço suporte o mais pesado dos caminhões passando sobre (ou dentro, no caso das rodovias brasileiras) o maior buraco imaginável da pavimentação, tudo isso durante o maior dos vendavais. O coeficiente de segurança é calculado dividindo-se a carga necessária para causar a ruína pela máxima carga prevista para atuar sobre a estrutura. Assim, se um cabo com capacidade de 50 kN é utilizado para levantar um objeto com não mais que 10 kN por vez, o fator de segurança é  $50 / 10 = 5$ . Não importa o quão bem o engenheiro de hoje compreenda o funcionamento de suas estruturas, ele não pode determinar e introduzir em seus cálculos todas as incertezas que existem. Mesmo uma sofisticada estrutura da engenharia moderna, assim como a simples corrente da antiguidade, não é mais forte que o seu elo mais fraco. Como nenhum projetista quer ver insucesso em suas estruturas, quando o assunto é segurança nenhuma estrutura é deliberadamente subdimensionada. Por exemplo, as consequências de falha estrutural em usinas nucleares são tão terríveis que enormes margens de segurança são adotadas em seus projetos.

Um material estrutural para ser considerado como tal, deve possuir outras características, que não sejam somente a resistência à tração e/ou compressão, ele deve apresentar características como plasticidade e elasticidade. Quando tensionado, um material estrutural pode apresentar comportamento elástico ou plástico. Possui comportamento elástico quando retorna a sua posição original após sofrer uma tensão, sem deixar, portanto deformações residuais. Em contrapartida um material estrutural apresenta comportamento plástico quando fica com alguma deformação residual após sofrer um esforço de tensão (ALVES, 2007).

Os aços patináveis são obtidos pela adição de cobre e cromo, podendo também ser adicionados níquel, vanádio e nióbio. Podem ser encontrados na forma de chapas, bobinas e perfis laminados e apresentam resistência à corrosão atmosférica até oito vezes maior que os aços-carbono comuns, além de resistência mecânica na faixa de 500Mpa e boa soldabilidade. A sua utilização não exige revestimento contra corrosão, devido a formação da "pátina (camada de óxido compacta e aderente) em contato com a atmosfera. O tempo necessário para a sua completa formação varia em média de 2 a 3 anos conforme a exposição do aço, ou pré-tratamento em usina. Os aços apresentam bom desempenho em atmosferas industriais não muito agressivas, sendo que em atmosferas industriais altamente corrosivas seu desempenho é bem menor, porém superior à do aço-carbono. Em atmosferas marinhas, as perdas por corrosão são maiores do que em atmosferas industriais, sendo recomendado a utilização de revestimento, devido a salinidade que intensifica a corrosão (DORO, 2000).

Os aços patináveis também podem ser utilizados com revestimento. Nesse caso, devem receber pintura aqueles utilizados em locais onde as condições climáticas não permitam o desenvolvimento da pátina protetora, quando expostas à atmosfera industrial muito agressiva, atmosfera marinha severa, regiões submersas e locais onde não ocorram ciclos alternados de molhagem e secagem, ou quando for uma necessidade imposta no projeto arquitetônico. Os aços patináveis apresentam boa aderência ao revestimento com desempenho duas vezes maior que o aço-carbono comum. Além da excelente soldabilidade, os aços patináveis podem apresentar alta ou média resistência mecânica. No primeiro caso, proporcionam economia no peso da estrutura, pela redução da espessura da chapa. Quanto maior a quantidade de carbono na liga, maior a resistência esperada para o aço, porém diminui a sua ductilidade (DORO, 2000).

A madeira é um dos materiais estruturais mais antigos utilizados pelo homem em edificações. Acrescente-se ainda o fato da madeira possuir um vasto campo de aplicação em construções, como por exemplo, pontes, residências, igrejas, passarelas, curtumes, e em edificações inseridas em ambientes altamente corrosivos, etc. Apesar da madeira ter qualidades estruturais bastante apreciáveis, ainda há muito preconceito em relação a sua utilização como material estrutural. Em grande parte, devido à falta de conhecimento adequado a respeito deste material, da

falta de projetos específicos, assim como da cultura da construção civil brasileira (DORO, 2000).

As espécies de madeiras mais utilizadas em estruturas no Brasil são: Peroba Rosa, Ipê, Eucalipto, Pinho, Jatobá, Maçaranduba, Garapa, Cumaru, Aroeira e Itaúba. A madeira apresenta um comportamento estrutural bastante apreciável, pois possui resistência mecânica tanto a esforços de tração como a compressão, além de resistência a tração na flexão e tem resistência a choques e cargas dinâmicas absorvendo impactos que dificilmente seriam absorvidos com outros materiais (DORO, 2000).

O concreto é um material resultante da mistura de cimento, água, agregado graúdo (brita ou cascalho) e agregado miúdo (areia). No estado fresco, o concreto possui consistência plástica, podendo ser moldado em formas com dimensões desejadas. O concreto no estado endurecido tem elevada resistência à compressão, porém sua resistência a tração é bastante reduzida (cerca de 10% da resistência à compressão (EDIFIQUE, 2011).

É obtido através da colocação de barras de aço no interior do concreto. As armaduras são posicionadas, no interior da fôrma, antes do lançamento do concreto plástico que envolve as barras de aço (que possui excelente resistência à tração). O resultado é uma peça estrutural que pode resistir solidariamente aos esforços de compressão e tração. As barras de aço, colocadas no interior do concreto, são protegidas contra a corrosão pelo fato de o concreto ser um meio alcalino. Por outro lado, a fissuração do concreto armado pode permitir o acesso de ar e água junto às armaduras, reduzindo o grau de proteção das mesmas contra oxidação o que reduz a eficiência e durabilidade do concreto armado (EDIFIQUE, 2011).

Portanto os elementos estruturais podem ser: Barras: possuem dimensões da seção transversal da mesma ordem de grandeza, e menores em relação ao seu comprimento e cujo eixo é uma linha reta ou curva aberta. As barras podem constituir diversos sistemas estruturais. Dentre os principais estão: Viga: estrutura formada por barras alinhadas; Arco: estrutura formada por barra cujo eixo é uma curva única; Pórtico: estrutura formada de barras não-alinhadas; Cabo: formado por uma barra flexível, sem resistência à flexão (resiste bem a esforços de tração); Trelça: estrutura constituída por barras dispostas de modo a formar uma rede de triângulos. Folhas ou estruturas de superfície - São elementos estruturais que apresentam grandes superfícies em relação a sua espessura. Nesta classe de

elementos podemos ter as seguintes estruturas: Chapas: são estruturas formadas por dois planos paralelos muito próximos um do outro, estando as forças situadas no plano médio. Como exemplo prático podemos citar as vigas-parede. Quando a chapa é muito fina tem-se uma estrutura laminar; Placas: estruturas planas nas quais as cargas agem em planos diferentes da superfície (normalmente perpendiculares); Membranas: são placas ou cascas que não possuem resistência à flexão; Cascas: São estruturas limitadas por duas superfícies curvas. Exemplo: cúpulas. Blocos: Os blocos possuem as três dimensões com a mesma ordem de grandeza. Para os blocos não se pode desprezar nenhuma das três dimensões, por este motivo não deve ser considerado uma estrutura linear (barra) nem estrutura superficial (folha). Como exemplo de estrutura formada por bloco pode-se citar os blocos de fundações (PETRUCCI, 1976).

#### 1.4 ESTRUTURA DO CONCRETO ARMADO

Estrutura de concreto armado ou convencional como também é conhecida, ainda é a mais empregada no Brasil por conta de sua enorme popularidade e, por este motivo, da familiaridade que os trabalhadores da construção civil têm com o sistema. Esse sistema construtivo utiliza barras de aço (armaduras) inseridas no concreto moldado “in loco”, em formas de madeira. Com esse sistema é possível obter estruturas que resistam a qualquer tipo de carga. (EDIFIQUE, 2011)

Entretanto, para isso acontecer é realizado um cálculo estrutural por engenheiros e arquitetos especialistas nessa área, que resultam em um projeto estrutural. Nesse processo são definidas, em função das cargas a que estará submetido o edifício, entre outras, as dimensões dos pilares, vigas e lajes, e também as armaduras e a composição do concreto a ser utilizado. Esse cálculo não invalida os riscos que podem ocorrer decorrentes da execução empírica ou inadequada de estruturas de concreto armado. Relevante também no ponto de vista econômico e ambiental é o estudo das formas de madeira. Deve-se sempre buscar um número ótimo de reutilização das mesmas sem, no entanto, comprometer a qualidade final da estrutura (EDIFIQUE, 2011).

**Figura 1 : Estrutura de Concreto Armado com vedação em alvenaria**



Fonte: < <http://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/estrutura-em-concreto-armado-com-vedacao-em-alvenaria>>

Portanto a estrutura de concreto armado é a denominação de estruturas compostas de concreto, cimento + água + agregados (e às vezes + aditivos) com barras de aço no interior. Essas barras de aço são posicionadas em locais específicos da peça de concreto com o objetivo de reforçá-la. As estruturas de concreto armado apresentam bom desempenho porque, sendo o concreto de ótima resistência à compressão, esse ocupa as partes comprimidas ao passo que o aço, de ótima resistência à tração, ocupa as partes tracionadas, basicamente. É o caso das vigas de concreto armado (RICARDO, 1978).

O sucesso do concreto armado se deve, basicamente, a três fatores: aderência entre o concreto e a armadura; valores próximos dos coeficientes de dilatação térmica do concreto e da armadura; proteção das armaduras feita pelo concreto envolvente. O principal fator de sucesso é a aderência entre o concreto e a armadura. Desta forma, as deformações nas armaduras serão as mesmas que as do

concreto adjacente, não existindo escorregamento entre um material e o outro. A proximidade de valores entre os coeficientes de dilatação térmica do aço e do concreto torna praticamente nulos os deslocamentos relativos entre a armadura e o concreto envolvente, quando existe variação de temperatura. Este fato permite que se adote para o concreto armado o mesmo coeficiente de dilatação térmica do concreto simples. Finalmente, o envolvimento das barras de aço por concreto evita a oxidação da armadura fazendo com que o concreto armado não necessite cuidados especiais como ocorre, por exemplo, em estruturas metálicas.

#### 1.4.1 Processo em execução

O concreto, assim como todo material, possui coeficiente de dilatação térmica, suas características mecânicas podem ser representadas por um diagrama tensão deformação, possui módulo de elasticidade (módulo de deformação), etc. Apresenta também, duas propriedades específicas, que são a retração e a fluência (CEOTTO, 2007).

O concreto armado pode ter surgido da necessidade de se aliar as qualidades da pedra (resistência à compressão e durabilidade) com as do aço (resistências mecânicas), com as vantagens de poder assumir qualquer forma, com rapidez e facilidade, e proporcionar a necessária proteção do aço contra a corrosão. O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Pode também conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (ABCP, 2007).

Esquemáticamente pode-se indicar que a pasta é o cimento misturado com a água, a argamassa é a pasta misturada com a areia, e o concreto é a argamassa misturada com a pedra ou brita, também chamado concreto simples (concreto sem armaduras (MARTIN, 2005).

O concreto é um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão, porém, apresenta baixa resistência à tração (cerca de 10 % da sua resistência à compressão). Assim sendo, é imperiosa a necessidade de juntar ao concreto um material com alta resistência à tração, com o objetivo deste material, disposto convenientemente, resistir às tensões de tração atuantes. Com esse material composto (concreto e armadura – barras de aço), surge então o chamado

“concreto armado”, onde as barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão, no que pode ser auxiliado também por barras de aço (caso típico de pilares, por exemplo). No entanto, o conceito de concreto armado envolve ainda o fenômeno da aderência, que é essencial e deve obrigatoriamente existir entre o concreto e a armadura, pois não basta apenas juntar os dois materiais para se ter o concreto armado. Para a existência do concreto armado é imprescindível que haja real solidariedade entre ambos o concreto e o aço, e que o trabalho seja realizado de forma conjunta. Em resumo, pode-se definir o concreto armado como “a união do concreto simples e de um material resistente à tração (envolvido pelo concreto) de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes”. De forma esquemática pode-se indicar que concreto armado é: Concreto armado = concreto simples + armadura + aderência. Com a aderência, a deformação  $\epsilon_s$  num ponto da barra de aço e a deformação  $\epsilon_c$  no concreto que a circunda, devem ser iguais, isto é:  $\epsilon_c = \epsilon_s$  (NETO, 2005).

A armadura do concreto armado é chamada “armadura passiva”, o que significa que as tensões e deformações nela aplicadas devem-se exclusivamente aos carregamentos aplicados nas peças onde está inserida. Como armadura tem-se que ter um material com altas resistências mecânicas, principalmente resistência à tração. A armadura não tem que ser necessariamente de aço, pode ser de outro tipo de material, como fibra de carbono, bambu (NETO, 2005).

#### 1.4.2 Conservação e Manutenção

A conservação das estruturas de concreto armado, quase sempre altera a autenticidade do material e dá origem a questionamentos que desafiam a teoria da conservação.

O concreto armado aparente é, sem dúvida alguma, um atributo qualificador de grande importância para os bens da engenharia moderna. Ele agrega valor ao edifício como bem patrimonial. Entretanto, o concreto armado é um sistema construtivo e, como tal, necessita de manutenção constante e preventiva, principalmente, pelo fato de ser um sistema, ou seja, a junção de materiais de diferentes naturezas que precisam trabalhar ao mesmo tempo e atender às necessidades estruturais das construções. Isso significa dizer que um dano em um dos materiais do sistema pode trazer prejuízo a todo o conjunto (EDIFIQUE, 2011).

Os consumidores da construção civil, públicos e privados, têm sofrido com a falta de durabilidade das estruturas de concreto armado. Edifícios comerciais e residenciais, de pequeno e grande porte, pontes, viadutos, túneis, obras hidráulicas, no país e em todo mundo, com alguns anos de vida, podem apresentar manifestações patológicas relacionadas com uma ou mais formas de deterioração do concreto armado (EDIFIQUE, 2011).

No Brasil, quanto ao levantamento das manifestações patológicas existentes nas obras d'arte (pontes e viadutos), ainda não existe uma estimativa, mesmo que aproximada da intensidade e gravidade do problema. Caso existissem, os resultados não seriam animadores (PERDRIX, 1992).

O termo manutenção pode ser entendido como o conjunto de ações tomadas com o objetivo de conservar as condições de funcionalidade de um bem ao longo da sua existência. Tal conceito remonta ao início do século passado, quando as atividades desenvolvidas pela incipiente industrialização começavam a exigir níveis de produção para atendimento das demandas incompatíveis com as constantes paradas para reparos e consertos de máquinas. Com a evolução da indústria seriada e a constante busca por otimização de processos, as ações de manutenção passaram a ser mais ativas, no sentido de se prevenir quanto à ocorrência de problemas e consequentes paradas na produção. Foi quando as indústrias passaram a adotar as manutenções de rotina, que já deviam constar dos seus estudos de tempos para avaliação da produtividade. Uma evolução nesse conceito foi a análise prognóstica dos problemas potenciais a partir do acompanhamento constante do estado de conservação dos componentes, reduzindo ainda mais as perdas de tempo com maquinário parado, além da substituição prematura de componentes (RESENDE, 2004).

Infelizmente, a indústria da construção civil, especialmente no caso de edifícios regidos por regime condominial, ainda carece de um maior amadurecimento desses conceitos, que passa por questões técnicas, gerenciais e até de conscientização junto aos usuários das suas reais necessidades. Os manuais de operação, uso e manutenção entregues pelas construtoras aos usuários, em sua maioria, abordam ações diversas de manutenção a serem efetuadas pelos usuários do edifício, classificadas, então, como preventivas ou preditivas, a depender do caso. A diferença entre a manutenção preventiva e preditiva, como destaca Resende (2004), é que a primeira é realizada de maneira rotineira, obedecendo a uma

periodicidade estabelecida previamente conforme as características de cada componente, enquanto a preditiva possui um caráter mais ativo, dinâmico, pois as ações são tomadas a partir do monitoramento contínuo do estado de conservação, tal como uma manutenção preventiva baseada em condições. Assim, a manutenção preditiva prevê a realização de checagem dos componentes precedendo uma efetiva intervenção, diminuindo as perdas devidas a substituições prematuras. Para Perez (1988), manutenção preventiva é realizada em intervalos de tempo periódicos pré-definidos a partir de aspectos técnicos, com a função detectar e corrigir defeitos, evitando a ocorrência de falhas. Já a manutenção corretiva é motivada por uma exigência funcional do bem, cujas funções não mais oferecem condições de uso em sua normalidade.

#### 1.4.3 Aspectos Ambientais

O planeta convive com diversos problemas gerados pela exploração descontrolada dos recursos naturais visando o crescimento econômico de países desenvolvidos e em desenvolvimento, incluindo o Brasil. O fenômeno do aquecimento global – Efeito Estufa – é um bom exemplo da consequência natural causada pela exploração do homem, já que grande parte da comunidade científica acredita que o aumento da temperatura média da Terra é causada pela emissão de gases na atmosfera. Com isso, a sustentabilidade é um tema de discussão global e imprescindível para a sobrevivência humana. A maioria dos processos presentes na construção civil acabam, de alguma forma, poluindo, degradando e modificando o meio ambiente. Dentro das inúmeras ocorrências não-sustentáveis da construção de um empreendimento, como um edifício de sistema construtivo pilar-viga de concreto armado.

A minimização dos impactos ambientais tem mobilizado a sociedade, em escala planetária, na busca de conceitos sustentáveis. A sustentabilidade pode ser definida como sendo aquele desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades. A indústria da construção civil e, em particular, indústria concreteira, parece encontrar-se ainda em um estágio incipiente de sustentabilidade (SILVA, 1995).

O processo de produção de concreto é um dos maiores consumidores de matéria-prima virgem, como areia, pedra, cascalho moído e água fresca, gerando significativo impacto ambiental. Todavia, reside na produção do cimento Portland, ingrediente indispensável ao concreto, o maior impacto (SÍLVIA, 2013).

O cimento, cujo consumo aproxima-se a 2 bilhões de toneladas por ano, sozinho, gera grande volume de extrações de rochas e movimentação de terra. Além disso, sua produção corresponde a 7% da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que contribui diretamente para o aquecimento global e o efeito estufa.(SÍLVIA, 2013)

Resíduos oriundos de demolição ou rejeito de britagem podem ser utilizados como agregado graúdo, reduzindo a necessidade de britagem de novas rochas. Uso de pó-de-pedra, borracha de pneu e até areia de PET (politereftalato de etileno), já se mostram viáveis para produção de alguns concretos, reduzindo a extração de areias de rios e dunas (SÍLVIA, 2013).

Materiais como cinza de casca de arroz, metacaulim e sílica ativa, são adições minerais que desenvolvem características desejáveis de resistência e durabilidade quando utilizados em mistura com cimento Portland e, sob certas condições, podem perfeitamente substituir altos teores cimento nas misturas, conferido a elas, além dos benefícios conhecidos que a redução de cimento traz, aumento significativo de durabilidade.

Além disso, os aditivos químicos têm operado verdadeiros milagres em misturas à base de cimento Portland, reduzindo consideravelmente a necessidade de água na produção de concretos. O uso combinado de vários desses materiais tem resultado em concretos inteligentes, ou seja, concretos que ao mesmo tempo em que atendem aos requisitos de projeto no estado fresco e endurecido, são capazes de colaborar para a sustentabilidade não só da cadeia produtiva da construção civil, mas também minimiza danos ambientais de outros segmentos industriais (SÍLVIA, 2013).

Cabe à comunidade técnica a busca pelo emprego desses concretos inteligentes, visto que a comunidade científica já comprovou (e continua a provar) a sua eficácia e aplicabilidade nas obras de construção civil.

Portanto não como ignorar que a quantidade emitida de CO<sub>2</sub> por metro quadrado de construção na produção de concreto para um edifício pode ser determinado encontrando-se o volume de concreto utilizado na composição dos elementos estruturais e calculando-se qual a quantidade, em kg de CO<sub>2</sub>, emitida na

produção de um metro cúbico de concreto e quantos metros quadrados de área possui o edifício analisado. O estabelecimento de indicadores de emissão de CO<sub>2</sub>, de acordo com as características do empreendimento, busca dar sequência e abrir outras possibilidades de associações teóricas e pesquisas científicas, em paralelo com as discussões de sustentabilidade ambiental na construção civil, mas sem a intenção de dirigir uma ação ou comparar diferentes sistemas construtivos.

A quantidade emitida de CO<sub>2</sub> por metro quadrado de construção na produção de concreto para um edifício pode ser determinado encontrando-se o volume de concreto utilizado na composição dos elementos estruturais e calculando-se qual a quantidade, em kg de CO<sub>2</sub>, emitida na produção de um metro cúbico de concreto e quantos metros quadrados de área possui o edifício analisado. O estabelecimento de indicadores de emissão de CO<sub>2</sub>, de acordo com as características do empreendimento, busca dar sequência e abrir outras possibilidades de associações teóricas e pesquisas científicas, em paralelo com as discussões de sustentabilidade ambiental na construção civil, mas sem a intenção de dirigir uma ação ou comparar diferentes sistemas construtivos, apenas buscando compor um banco de dados a ser utilizado pelos trabalhos que se seguirem.

#### 1.4.4 Normas Técnicas para o uso do concreto armado

No Brasil o órgão responsável pelas atividades normativas é a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Há diversos tipos de normas técnicas: - Procedimento (NB) - Especificação (EB) - Método de Ensaio (MB) - - Padronização (PB) - Terminologia (TB) - Simbologia (SB) - Classificação (CB). Quando uma norma qualquer dos tipos acima é registrada no INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - recebe um número colocado após a sigla NBR, que significa norma brasileira registrada. As principais normas relacionadas com estruturas de concreto armado, além de diversas outras, são: NB 1 NBR 6118 Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado NB 2 NBR 7187 Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado NB 4 NBR 6119 Cálculo e Execução de Lajes Mistas NB 5 NBR 6120 Cargas Para o Cálculo de Estruturas de Edificações NB 6 NBR 7188 Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias NB 7 NBR 7189 Cargas Móveis em Pontes Ferroviárias NB 8 NBR 5984 Norma Geral do Desenho Técnico NB 16 NBR 7191 Execução de Desenhos para Obras de Concreto Simples

ou Armado NB 49 Projeto e Execução de Obras de Concreto Simples NB 51 Projeto e Execução de Fundações NB 116 NBR 7197 Cálculo e Execução de Obras de Concreto Protendido NB 599 NBR 6123 Forças Devidas ao Vento em Edificações EB 1 NBR 5732 Cimento Portland Comum Outras Especificações para Cimentos ver Capítulo2 (item 2.1.1) EB 3 NBR 7480 Barras e Fios de Aço Destinados a Armaduras para Concreto 6 Estruturas de Concreto Armado Eng. Civil Tarley Ferreira de Souza Junior Armado EB 4 NBR 7211 Agregados para Concreto NBR 722 Execução de Concreto Dosado em Central EB 565 Telas de Aço Soldadas para Armaduras de Concreto EB 780 Fios de Aço para Concreto Protendido EB 781 Cordoalhas de Aço para Concreto Protendido MB 1 NBR 7215 Ensaio de Cimento Portland MB 2 NBR 5738 Confeção e Cura de Corpos de Prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos MB 3 NBR 5739 Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos de Concreto MB 4 NBR 6152 Determinação das Propriedades Mecânicas à Tração de Materiais Metálicos MB 215 Determinação do Inchamento de Agregados Miúdos para Concreto MB 256 Consistência do Concreto pelo Abatimento do Tronco de Cone NBR 7187 Cálculo e Execução de Ponte em Concreto Armado NBR 7212 Execução de Concreto Dosado em Central NBR 7807 Símbolo Gráfico para Projeto de Estruturas - Simbologia NBR 8681 Ações e Segurança nas Estruturas NBR 8953 Concreto para Fins Estruturais – Classificação por Grupos de Resistência NBR 9062 Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado NBR 11173 Projeto e execução de Argamassas Armadas NBR 12317 Controle Tecnológico de Materiais Componentes do Concreto NBR 12654 Controle tecnológico dos Materiais Componentes do Concreto NBR 12655 Concreto – Preparo, Controle e Recebimento do Concreto \* NBR 02:107.01-001 – Lajes Pré-Fabricadas \* NBR 02:107.01-004 – Trelças de Aço Eletro-Soldadas para Armaduras de Concreto \* Normas ainda não homologadas pela ABNT - Diversas outras normas poderiam ser listadas (ver relação em folhetos da ABNT).

Algumas entidades com trabalhos na área de concreto: ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland; IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto; IBTS – Instituto Brasileiro de Telas Soldadas.

Normas Estrangeiras: ACI - American Concrete Institute; CEB - Comité Européendu Beton.

## 1.5 ALVENARIA ESTRUTURAL

### 1.5.1 DEFINIÇÃO E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

A alvenaria estrutural resulta da colocação em arranjos específicos de peças industrializadas, de dimensões e peso de fácil manuseio, ligadas entre si através de juntas de assentamento ou juntas verticais de argamassa para formar os elementos de alvenaria (produtos da construção) que são as paredes, cintas, vigas, contravergas, e vergas, pilares que juntos formam um conjunto monolítico (COÊLHO, 2008).

**Figura 2. Alvenaria Estrutural**



Fonte: < <http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural> >

Em alguns casos, armaduras podem ser incorporadas nas juntas de assentamentos ou dentro dos furos dos blocos para realizar uma alvenaria armada, a qual apresenta maior resistência a determinadas solicitações.

A alvenaria tem boas características de durabilidade, estética e desempenho térmico e acústico. Quando executado como um processo racionalizado, projetado, calculado e em conformidade com as normas pertinentes, a alvenaria estrutural apresenta simplificação das técnicas de execução, maior velocidade de execução,

redução da mão-de-obra, diminuição de formas, escoramentos e armaduras; economia na aplicação dos revestimentos, redução dos desperdícios e funcionalidade com segurança. As principais desvantagens da alvenaria estrutural estão nas limitações do projeto arquitetônico e nas dificuldades para uma eventual reforma.

Contudo, a alvenaria desperta muita curiosidade e desperta o ceticismo de alguns que perguntam sobre a real necessidade do graute, a eficiência da interação entre paredes, a forma de armar vergas e contra-vergas, o tipo de lajes mais conveniente e o tipo de fundações mais adequado.

Assim, a alvenaria é um sistema construtivo que utiliza peças industrializadas de dimensões e peso que as fazem manuseáveis, ligadas por argamassa, tornando o conjunto monolítico. Estas peças industrializadas podem ser moldadas em: Cerâmica, Concreto e Sílico-calcáreo. A alvenaria estrutural é um sistema construtivo tradicional, utilizado há milhões de anos. Inicialmente eram utilizados blocos de rocha como elementos de alvenaria, mas a partir do ano 4.000 a.C. a argila passou a ser trabalhada possibilitando a produção de tijolos. O sistema construtivo desenvolveu-se inicialmente através do simples empilhamento de unidades, tijolos ou blocos. Os vãos eram executados com peças auxiliares, como vigas de madeira ou pedra (COÊLHO, 2008).

A alvenaria estrutural atingiu o auge no Brasil na década de 80, disseminada com a construção dos conjuntos habitacionais, onde ficou tida como um sistema para baixa renda. Devido ao seu grande potencial de redução de custos diversas construtoras e produtoras de blocos investiram nessa tecnologia para torná-la mais vantajosa. A inexperiência por parte dos profissionais dificultou sua aplicação com vantagens e causou várias patologias nesse tipo de edificação, fazendo com que o processo da alvenaria estrutural desacelerasse novamente (COÊLHO, 2008).

Apesar disso, as vantagens econômicas proporcionadas pela alvenaria estrutural em relação ao sistema construtivo convencional incentivaram algumas construtoras a continuarem no sistema e buscarem soluções para os problemas patológicos observados. Atualmente, no Brasil, com a abertura de novas fábricas de materiais assim como o desenvolvimento de pesquisas com a parceria de empresas do ramo (cerâmicas, concreteiras, etc.) fazem com que a cada dia mais construtores utilizem e se interessem pelo sistema. Neste tipo de estrutura, a alvenaria tem a finalidade de resistir ao carregamento da edificação, tendo as paredes função

resistente. A remoção de qualquer parede fica sujeita a análise e execução de reforços (CAMACHO, 2007).

### 1.5.2 PROCESSOS CONSTRUTIVOS

A alvenaria estrutural é um processo construtivo em que a estrutura e a vedação do edifício são executadas simultaneamente. O sistema dispensa o uso de pilares e vigas, ficando a cargo dos blocos estruturais a função, portanto da estrutura. Neste sistema, a parede não tem apenas a função de vedação (dividir ambientes), ela desempenha também o papel de estrutura da edificação. Esta solução permite construir desde simples muros, residências e edifícios de diversas alturas até hipermercados e indústrias (COÊLHO, 2008).

Principais processos construtivos:

- Sistema construtivo de fácil execução
- Permite envolver a mão de obra local e ampliar as unidades depois de prontas
- Oferece significativa redução de custos, pois reduz o uso de armaduras e fôrmas e utiliza processos racionalizados
- Propicia obras limpas, rápidas e extremamente seguras
- O bloco de concreto, em comparação com outros artefatos, tem precisão dimensional e a possibilidade de oferecer várias faixas de resistência para diferentes tipologias de obra.

### 1.5.3 ASPECTOS AMBIENTAIS

De uso frequente em obras de até 20 pavimentos, o sistema de alvenaria estrutural construtivo reduz a geração de entulho a praticamente zero, trazendo benefício econômico e ambiental.

A receita básica da alvenaria estrutural leva blocos cerâmicos ou de concreto, argamassa de assentamento, graute e armaduras. Esse sistema construtivo que parece simples e exige projeto cuidadoso, deve obedecer às normas técnicas em vigor, além de carregar ótimo custo-benefício, proporcionando uma obra mais limpa. O sistema é altamente indicado para a construção de edifícios com alturas de até 20 pavimentos, em que não seja necessário vencer grandes vãos.

As expectativas dos pesquisadores do sistema “são as mais promissoras possíveis, considerando as vantagens que ele pode oferecer”, comenta. Camacho defende, porém, “que um dos fatores que tem retardado a consolidação da alvenaria estrutural como se desejaria é a ausência de disciplina ligada ao tema, em caráter obrigatório, nos currículos de graduação em engenharia. Significativa parcela dos alunos termina seus cursos sem formação básica importante na área, fato que pode ser facilmente observado no mercado de trabalho”.

#### 1.5.4 NORMAS TÉCNICAS

Os sistemas construtivos à base de cimento para habitação seguem normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o que lhes confere um alto grau de confiabilidade.

Principais normas para a alvenaria estrutural:

NBR 6136/2006 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos.

NBR 8215/1983 – Prisma de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – Preparo e ensaio à compressão.

NBR 8798/1985 – Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.

NBR 8949/1985 – Paredes de alvenaria estrutural – Ensaio à compressão simples.

NBR 10837/1989 – Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.

## 2. DADOS PARA ANÁLISE ECONÔMICA

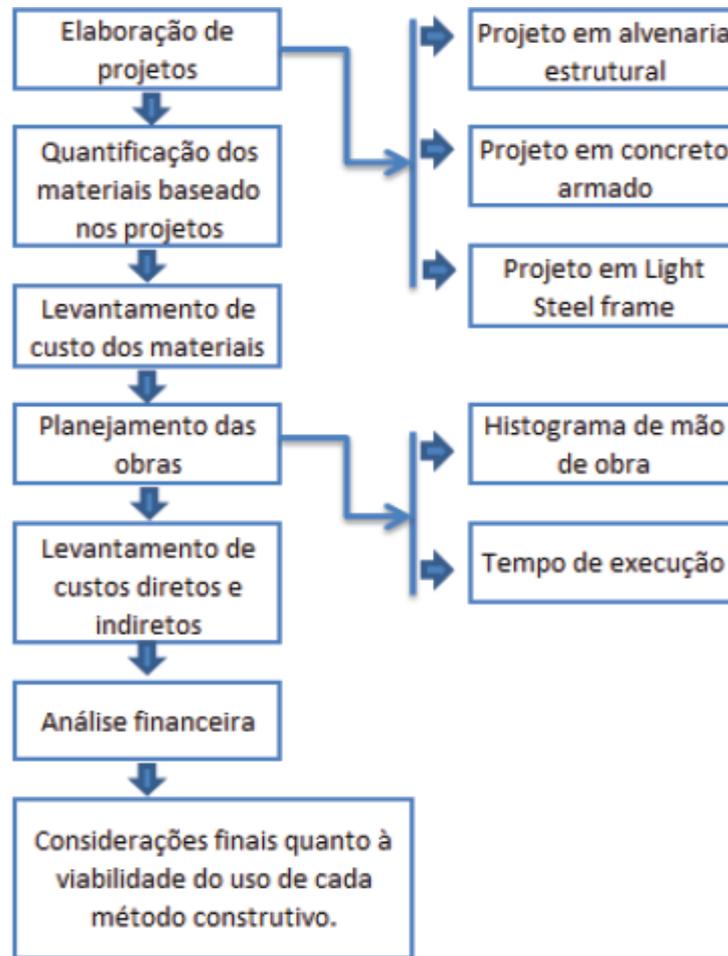
A análise comparativa será composta por duas partes: uma análise econômica, na qual serão levantados os custos para execução de cada tipo de estrutura do tema desse trabalho, e um comparativo geral das vantagens e desvantagens da utilização de cada tipo de pavimento.

A análise econômica teve como objetivo comparar o custo de execução da camada de revestimento dos dois sistemas de construções pesquisados –estruturas de concreto armado e alvenaria estrutural. Para análise, foram utilizados dados do projeto elaborado pelos autores desse trabalho, analisando gastos necessários para a execução da estrutura dos mesmos.

Para análise econômica, foram feitas pesquisas de mercado para execução dos serviços por empreitada (material e mão de obra) com empresas da região e a partir dessas, foram definidos os valores médios para execução de cada serviço complementado com os valores médios de BDI (Benefícios e Despesas Indiretas). Foram elaboradas tabelas para exemplificação desses gastos. Sendo que essas tabelas visam aproximar o máximo possível da realidade de cada tipo de serviço, através de estudos realizados por seus idealizadores, foi o principal motivo para serem utilizadas como base para análise de produção do presente trabalho.

O estudo em questão trata de soluções mais viáveis para construção de obras de pequeno e médio porte, para isso seguiu-se uma sequência lógica, que é utilizada para elaboração de orçamentos dentro da construção civil. Essa sequência pode ser verificada na figura abaixo.

**Figura 3: Fases da elaboração de projetos**



Fonte: Elaborada pelo Autor

Para o cálculo do BDI foram utilizados valores médios repassados pelas empresas das quais foram feitos os orçamentos dos serviços, conforme tabela 1.

**Tabela 1. Cálculo De Benefícios de Despesas Internas (BDI)**

Cálculo do BDI	
Administração	5,00%
Taxas	3,00%
Emolumentos	2,00%
Impostos	10,00%
<b>Total</b>	<b>20,00%</b>

Fonte: Elaborada pelo Autor

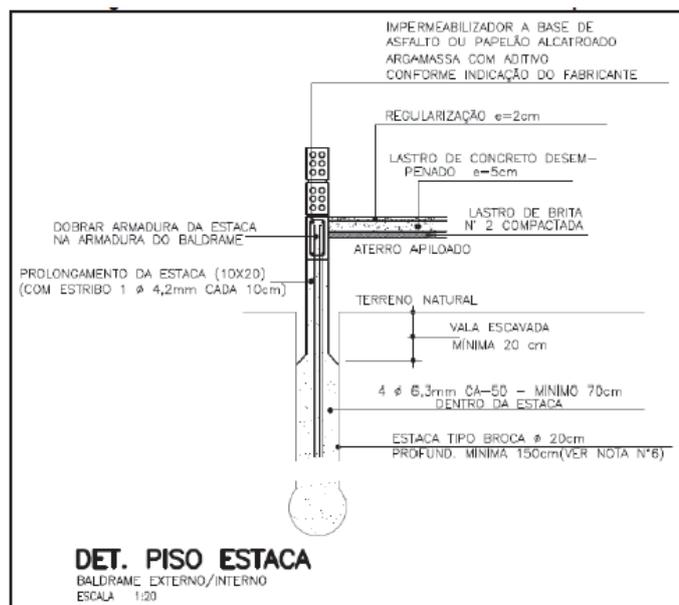
Não foi considerado lucro no cálculo do BDI porque os valores utilizados para cálculo desses somente foram utilizados na estimativa de preços quando a própria empresa executora fosse executar os serviços, sendo assim, não o lucro não se enquadra nesse comparativo, já que esse tipo de análise é feito para diminuir o valor do serviço, ou seja, visa a economia do gasto do determinado serviço.

A planta baixa do projeto base é composta por dois quartos, um banheiro, uma cozinha, uma sala de estar e uma lavanderia localizada na parte externa da residência. São 40,80m<sup>2</sup> de área construída e 36,99m<sup>2</sup> de área útil nos parâmetros construtivos de alvenaria convencional. Podemos analisar a planta baixa e os detalhes desse sistema no projeto anexo.

Além da planta baixa, o projeto estrutural é muito importante para o desenvolvimento do trabalho, visto que, é na superestrutura onde há maior diferença entre os sistemas, pois cada um desses sistemas é executado utilizando materiais completamente distintos uns dos outros. O projeto anexo representa essa locação de estacas.

O detalhamento das estacas, além do contra piso é apresentado na Figura abaixo.

**Figura 4. Detalhamento de Estacas**



Fonte: COHAPAR (2013)

Como podemos observar na figura 5, optou-se pela fundação em micro estacas. 'Esse tipo de fundação foi utilizado também para os demais sistemas com o intuito de que não houvesse diferença de tempo de execução e de custo para esta etapa.

Com os projetos da alvenaria convencional em mãos, foram elaborados a modulação da colocação dos blocos em alvenaria estrutural. O primeiro passo realizado foi a alteração da espessura das paredes na planta baixa, visto que os blocos utilizados terão largura de 14 cm, adotou-se uma espessura de 20 cm para as paredes.

Foi elaborado o detalhe da viga baldrame para alvenaria estrutural de blocos de concreto, este se fez necessário devido à diferença nessa etapa da fundação quando comparado ao sistema convencional.

Quanto aos outros projetos de fundação, instalação hidrossanitária e elétrica, já foram apresentados anteriormente, visto que, são os mesmos para os dois sistemas, como já comentado.

Com a finalização dos projetos, iniciou-se o levantamento dos quantitativos. Para isto, foi necessário identificar primeiramente, cada um dos serviços a serem executados, e posteriormente realizar o levantamento do quantitativo.

Para o levantamento foi utilizada base de preços e dados da SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), esta possui a maioria das composições de serviços já estruturadas junto com seus respectivos preços. A base adotada foi a planilha SETOP-MG – Região Leste – Outubro/2015 ou da SINAPI do mês de junho de 2015 na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, local mais próximo à nossa localidade com referência.

## 2.1 ANÁLISE COMPARATIVA E ECONÔMICA PARA CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS DE CONCRETO

Com os quantitativos da alvenaria estrutural junto com os preços da base de dados da SINAPI podemos apresentar os custos diretos da superestrutura, sem a necessidade dos demais elementos estruturais (coberturas, revestimentos e outros), pelo fato de que esses não mudam para nenhuma dos modelos de construções estudados nesse trabalho.

A primeira análise elaborada foi da execução dos serviços em blocos estruturais de concreto, conforme tabela abaixo, elaborada a partir do levantamento de dados dos projetos anexos.

**Tabela 2. Execução de Serviços**

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNIT. S/ LDI	PREÇO UNIT. C/ LDI	PREÇO TOTAL
<b>5</b>	<b>EST-001</b>	<b>ESTRUTURAS DE CONCRETO SUPERESTRUTURA</b>					
5.1	EST-CON-035	FORNECIMENTO E LANÇAMENTO DE CONCRETO ESTRUTURAL VIRADO EM OBRA FCK >= 25 MPA, BRITA 1 E 2	M³	1,08	458,33	550,01	594,01
5.2	73942/002	Armadura CA-50, Ø 8,00mm (5/16"), p=0,39Kg/m	KG	8,11	6,74	9,46	76,71
5.3	73942/002	Armadura CA-50, Ø 6,30mm (1/4"), p=0,25Kg/m	KG	7,83	6,74	8,09	63,33
5.4	ALV-BLO-055	Alv.blococonc.(14x19x39) 14cm, arg. traço 1:0,25:4 (cim. cal e areia)	M²	90,75	55,64	66,77	6.059,35
5.2							
						Sub Total do Item:	<b>6.793,40</b>
<b>TOTAL GERAL DA OBRA</b>							<b>6.793,40</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dessa pode-se observar o valor da estrutura do imóvel a ser construído, considerando os gastos com mão de obra e material, sendo esse valor a quantia de R\$ 6.793,40 (seis mil, setecentos e noventa e três reais e quarenta centavos), sendo um valor médio para execução dessa estrutura a quantia de aproximadamente R\$170,18/m² (cento e setenta reais e dezoito centavos por metro quadrado), sendo esse valor o resultado da divisão do valor do serviço pela área da obra.

Na segunda análise elaborada foi da execução dos serviços em estrutura de concreto armado, conforme tabela abaixo, elaborada a partir do levantamento de dados dos projetos anexos.

**Tabela 3. Execução em serviços de concreto armado**

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO S/ LDI	PREÇO UNITÁRIO C/ LDI	PREÇO TOTAL
<b>5</b>	<b>EST-001</b>	<b>ESTRUTURAS DE CONCRETO SUPERESTRUTURA</b>					
5.1	EST-CON-035	FORNECIMENTO E LANÇAMENTO DE CONCRETO ESTRUTURAL VIRADO EM OBRA FCK >= 25 MPA, BRITA 1 E 2	M³	0,92	458,33	550,01	506,01
5.2	73942/002	Armadura CA-50, Ø 8,00mm (5/16"), ρ=0,39Kg/m	KG	19,97	6,74	21,32	425,72
5.3	73942/002	Armadura CA-50, até Ø 6,30mm (1/4"), ρ=0,25Kg/m	KG	56,93	6,74	8,09	460,46
5.4	ALV-BLO-055	Forma pinus com reaproveitamento	M²	20,00	22,05	26,46	529,21
5.2							
						Sub Total do Item:	<b>1.921,41</b>
<b>7</b>	<b>ALV-001</b>	<b>ALVENARIAS E DIVISÕES</b>					
7.1	ALV-TIJ-025	ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO FURADO E = 10 CM, A REVESTIR	M²	90,75	32,01	38,41	3.485,98
						Sub Total do Item:	<b>3.485,98</b>
<b>TOTAL GERAL DA OBRA</b>							<b>5.407,39</b>

Fonte: Elaborada pelo Autor

A partir dessa pode-se observar o valor da estrutura do imóvel a ser construído, considerando os gastos com mão de obra e material, sendo esse valor a quantia de R\$ 5.407,39 (cinco mil, quatrocentos e sete reais e trinta e nove centavos), sendo um valor médio para execução dessa estrutura a quantia de aproximadamente R\$132,53/m<sup>2</sup> (cento e setenta reais e dezoito centavos por metro quadrado), sendo esse valor o resultado da divisão do valor do serviço pela área da obra (40,80m<sup>2</sup>).

## 2.2 COMPARATIVO FINANCEIRO GERAL

A partir das análises feitas e apresentadas no presente trabalho, podemos tirar algumas conclusões básicas referente à valores para execução dos serviços de alvenaria estrutural com blocos de concreto e estrutura de concreto armado (alvenaria convencional).

Em relação ao comparativo dos valores mínimos de ambos os tipos de modelos estruturais, podemos concluir que o valor dos serviços de superestrutura e alvenaria fica mais viável economicamente no modelo de estrutura de concreto armado, sendo o valor de alvenaria estrutural superior em aproximadamente 28,41% comparado à estrutura de concreto armado.

Esses comparativos de custos se referem somente à execução da superestrutura (pilares, vigas e outros) da obra, sendo assim não estão incluídos os gastos com manutenções dos mesmos e nem os demais serviços necessários a uma obra desse porte (fundação, revestimentos e outros) pois esses não alteram de valor independente de qualquer uma dessas estruturas.

## 2.3 ANÁLISE COMPARATIVA GERAL

Dentre as estruturas estudadas nesse trabalho, cada uma tem suas desvantagens e vantagens, sendo que muitas vezes as vantagens funcionais e ambientais podem se sobressair sobre o fator econômico. Sendo assim essa comparação se justifica afim de poder auxiliar numa melhor decisão da estrutura a ser utilizada, independentemente de valores de execução de cada.

Para fins de análises comparativas gerais, foram criadas duas tabelas que especificam as vantagens e desvantagens de cada tipo de estrutura estudada. Sendo que essas vantagens e desvantagens foram definidas a partir de análises feitas no presente trabalho, referenciando sempre todas pesquisas e estudos realizados.

A tabela 4 exemplifica vantagens e desvantagens da estrutura em concreto armado. Já a tabela 5 exemplifica algumas vantagens e desvantagens da alvenaria estrutural.

**Tabela 4. Vantagens e desvantagens de estrutura de concreto armado**

<b>Estrutura de concreto armado</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Ser econômico	Geração de resíduos pelo alto índice de desperdício
Matéria prima mais acessível.	O peso elevado e a dificuldade para realizar reformas e demolições
Mão de obra mais acessível.	Durante a execução há a necessidade de muita mão de obra braçal, devido à pouca mecanização.
Possibilidade de alteração arquitetônica	O concreto armado não proporciona adequado índice de isolamento térmico e acústico, principalmente quando instalado em lajes maciças com espessura reduzida. Por isso, influenciará no conforto da edificação

Fonte: Elaborada pelo Autor

**Tabela 5. Vantagens e desvantagens da alvenaria estrutural**

<b>Alvenaria Estrutural</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Diminuição no tempo da construção	Restrições de possibilidades de mudanças não planejadas.
Economia no custo da obra	Dificuldade de improvisações
Menor gasto com revestimento	Limitação de grandes vãos e balanços
Menor diversidade de materiais e mão de obra	O piso sofre grande aquecimento, não sendo confortável ao trânsito de pedestres, que é fundamental dentro de condomínios logísticos.

Fonte: Elaborada pelo Autor

Posteriormente, foi criada uma tabela com um comparativo entre algumas características importantes às estruturas estudadas, sendo também consideradas características presentes em ambos os tipos de estruturas. Esse comparativo é apresentado na tabela 6.

**Tabela 6. Comparação entre estrutura de concreto armado x alvenaria estrutural.**

<b>Características</b>	<b>Estrutura de concreto armado</b>	<b>Alvenaria estrutural</b>
Durabilidade	X	X
Removível e reaproveitável		
Dispensa manutenção periódica	X	X
Possibilidade de mudança arquitetônica (de paredes) sem alteração de projeto estrutural	X	
Dispensa mão de obra mais especializada para sua aplicação	X	
Dispensa equipamentos caros e especiais para sua aplicação	X	X
Melhor velocidade de aplicação		X
Não é perecível, é estocável	X	X
Não aquece o ambiente	X	X
Desperdício de material		X
Satisfaz necessidade estética	X	X
Resistência à compressão	X	X
Custo financeiro	X	
Menor impacto ambiental		X
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>10</b>

Fonte: Elaborada pelo Autor

Com a análise desses quadros consegue-se ter uma definição de vantagens e desvantagens de cada tipo de estrutura, sendo que também foi apresentado nessas tabelas, as características em comum de ambos tipos, pois mesmo havendo alguma diferença entre as características esses ainda podem se enquadrar num mesmo padrão em relação à determinado comparativo.

### **3. CONCLUSÃO**

A partir dos dados obtidos pelo presente trabalho, pode-se concluir que a estrutura em concreto armado tem um valor de mercado inferior ao valor da estrutura de alvenaria estrutural, no entanto essa diferença financeira pode ser compensada pela praticidade da execução em alvenaria estrutural, visto que essa última tem algumas vantagens pelas quais pode ser muito importante para a definição a estrutura a ser utilizada em uma obra.

Ambos modelos estruturais tem suas vantagens e desvantagens, e essas são de extrema importância para melhor escolha do tipo de estrutura a se utilizar em uma obra, pois mesmo que uma estrutura seja viável economicamente, pode ser que ela não seja a mais viável para determinado tipo de empreendimento, pois o fator econômico pode ser recompensado quando usado uma estrutura com mais rapidez na execução e menos desperdício, ganhando assim em tempo e nas questões ambientais, sobressaindo assim fatores econômicos.

Sendo assim, conclui-se que apesar de disparidades entre os tipos de estruturas, o melhor a se fazer é uma análise minuciosa, com estudos detalhados, para que se tenha uma definição que atenda as demandas, prazos, características e demais qualidades que determinado empreendimento deverá possuir, seja ele em estrutura de concreto armado ou em alvenaria estrutural.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Alvenaria com Bloco de Concreto: Prática Recomendada. Recife, 2003. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/downloads/index.shtml>> Acesso em 20 de julho de 2015.

ALVES, Vancler Ribeiro; SILVA, Ariane C.S.; MENDES, Luiz C. Comportamento à compressão de paredes em Alvenaria Estrutural. Niterói, 2005. Disponível em: <[http://www.uff.br/semenge2005/Artigos\\_anais/Civil/112379\\_8274838.pdf](http://www.uff.br/semenge2005/Artigos_anais/Civil/112379_8274838.pdf)> Acesso: 22 de Agosto de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento – NBR 6118. Rio de Janeiro, 2003.

ÁVILA, Antonio V.; LOPES, Oscar C.; LIBRELOTTO, Liziane I. Orçamento de obras. Florianópolis: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2003.

CAMACHO, Jefferson Sidney. Projeto de edifícios de Alvenaria Estrutural: Notas de Aula. Ilha Solteira, 200. Disponível em: <http://www.nepae.feis.unesp.br>.

CEOTTO, Luis Henrique. Inovação na Construção Civil Brasileira: Ações Inovadoras. São Paulo, 2005.

COÊLHO, RONALDO S. A. Alvenaria Estrutural. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 1998.

CRUZ, Thomás. Concreto o preparo e suas normas. Rio de Janeiro: Editora Armador, 2010.

DERKIAN, Paulo. Engenharia Virtual. Disponível em: <<http://vidacivil.blogspot.com.br/2010/07/estruturas.html>> Acesso em 15 de agosto de 2015.

DORO, P. S, “Sistemas estruturais para edificações”, Campinas (SP), 2000.

EDIFIQUE. Estrutura de Concreto Armado. São Paulo: 2011.

MARTIN, Juan Fernando Matias. Aditivos para Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 13, p. 381-406.

NETO, Cláudio Sbrighi. Agregados para Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 11, p. 323-326.

PETRUCCI, E. G. R. Materiais de Construção. 2ª Ed. Porto Alegre, Editora Globo, 1976;

RESENDE, Maurício Marques. Análise Prognóstica sobre os problemas de uma estrutura. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

RICARDO, O.G.S. Teoria das estruturas. São Paulo, Mcgraw hill do Brasil / EDUSP, 1978;

SANTOS, Marcus Daniel. Potencial construtivo do sistema alvenaria estrutural, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

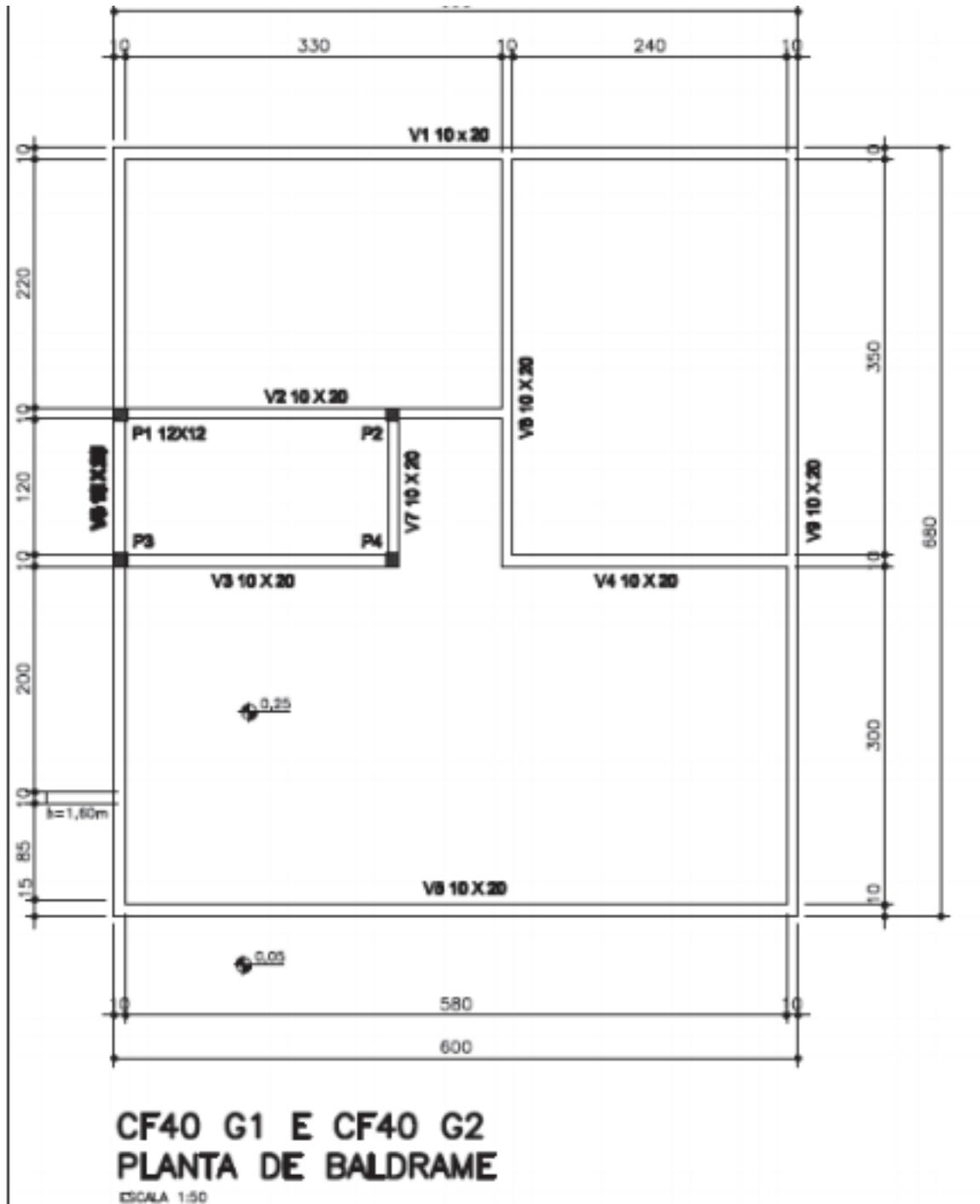
SANTOS, SILVIA. Sustentabilidade Construção. Concreto com sustentabilidade. Santa Catarina: 2013. Disponível em: <<http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=2660#.VIBOLXarTIU> > Acesso em 25 de setembro de 2015

SARAIVA, Alessandra; e CIARELLI, Monica. Economia brasileira cresce 7,5% em 2010, maior avanço em 24 anos. O Estado de São Paulo. O Estado de São Paulo. São Paulo.

SILVA, Paulo Fernando Araújo. Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana. São Paulo: Editora Pini, 1995.

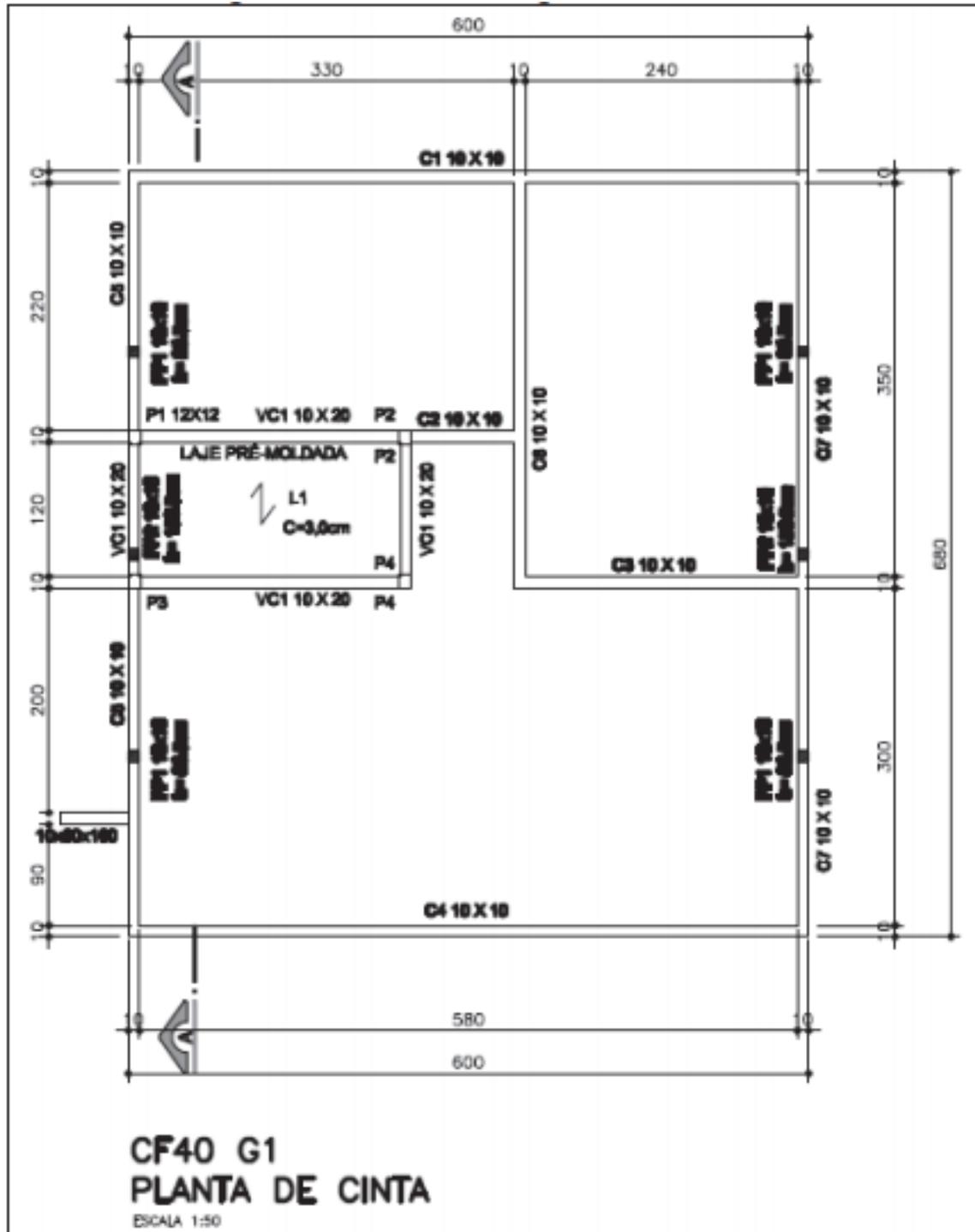
## ANEXOS

### 1. Planta de Viga Baldrame



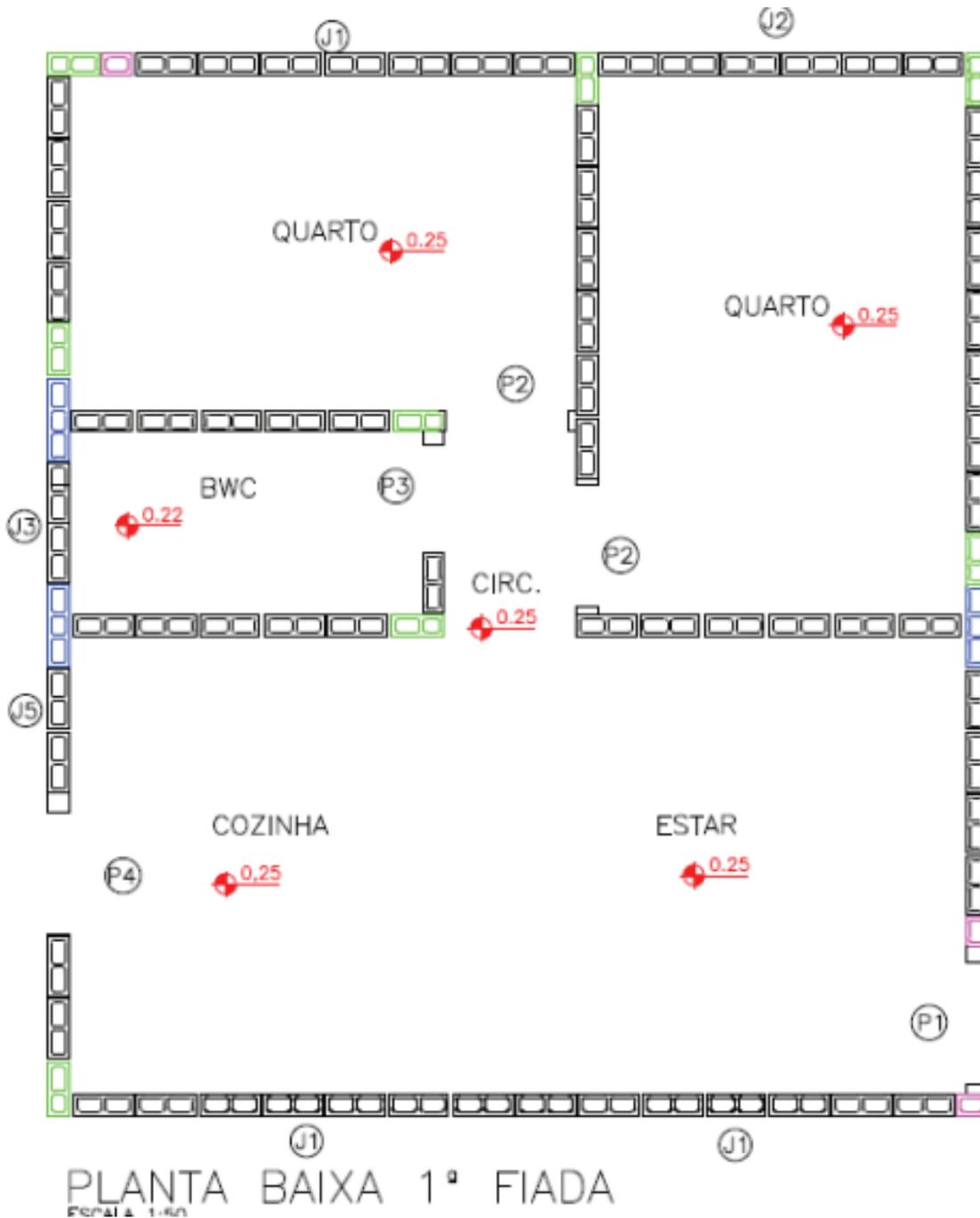
Fonte: COHAPAR (2013)

## 2. Planta das Vigas de Cintamento



Fonte: COHAPAR (2013)

## 3. Planta da 1ª fiada – Alvenaria Estrutural

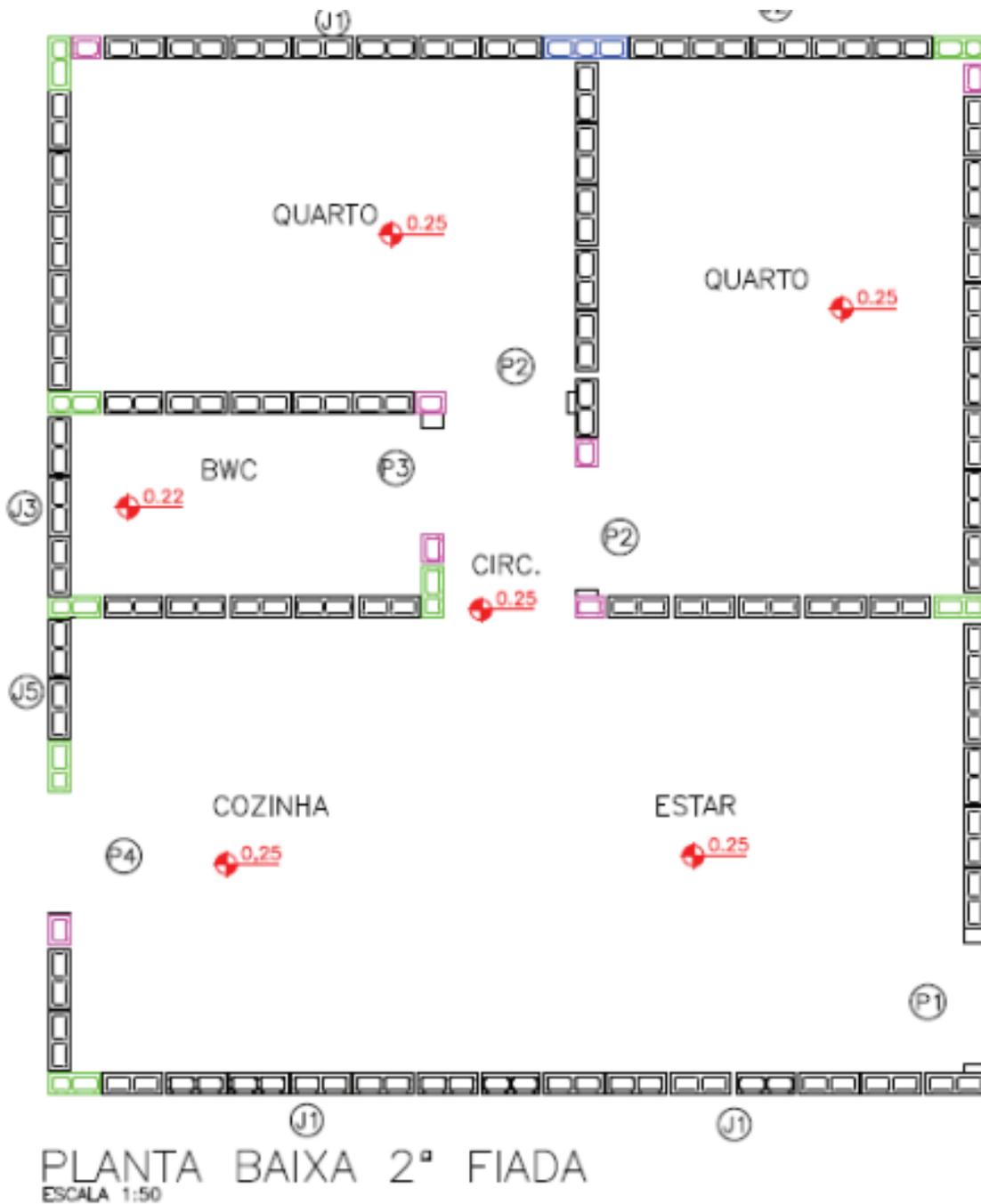


Legenda: Verde: Local onde ocorre o travamento entre a primeira e a segunda fiada;

Azul: Local da segunda fiada;

Rosa: Estrutura para a porta.

## 4. Planta da 2ª fiada – Alvenaria Estrutural



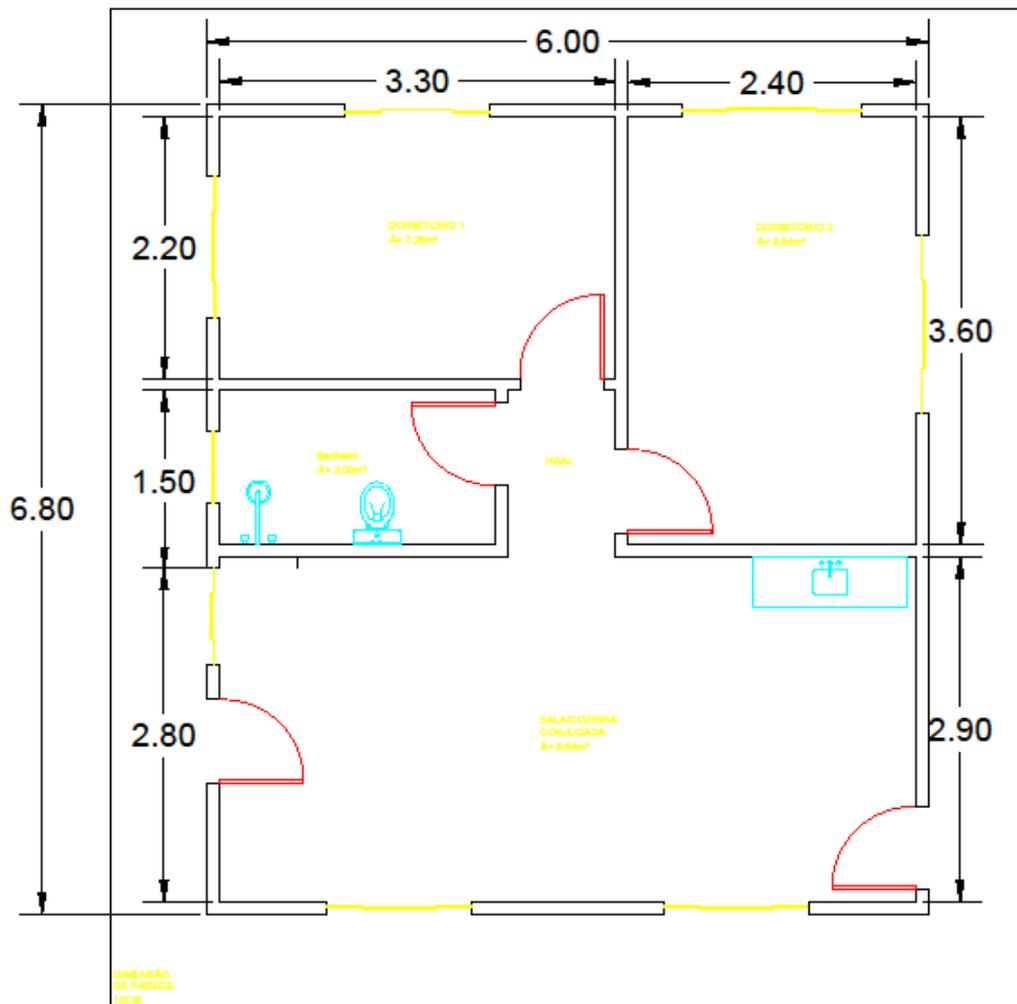
Legenda: **Verde:** Local onde ocorre o travamento entre a primeira e a segunda fiada;

**Azul:** Local da segunda fiada;

**Rosa:** Estrutura para a porta.

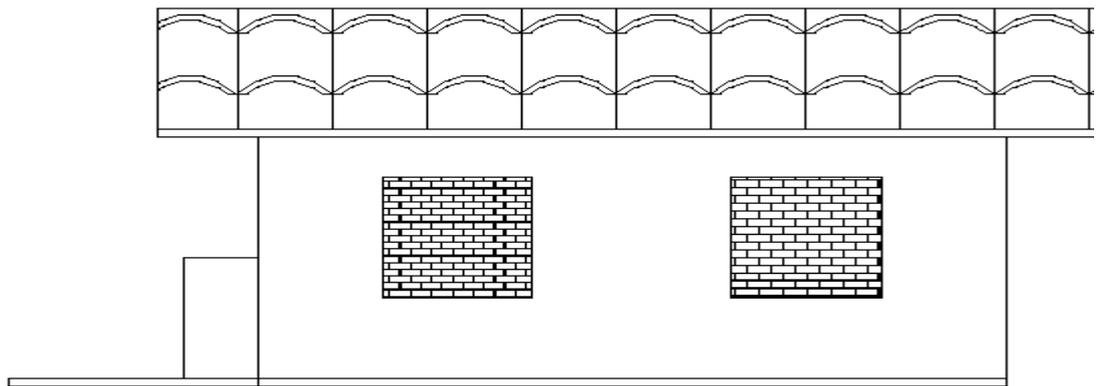
# APÊNDICE

## 1. Planta Baixa



Fonte: acervo do autor.

## 2. Fachada da casa



Fonte: acervo do autor