

Estudo comparativo entre Alvenaria Estrutural e Concreto

Armado: um estudo de caso

Fabiana Sayuri Akinaga; Natan Leonardo Justino; Rafael Aguiar da Silva.

Orientador: Ramoel Serafini

Resumo: O estudo comparativo realizado se concentra na análise crítica dos fatores econômicos entre a execução de estruturas em Alvenaria Estrutural e Concreto Armado, com o objetivo de definir o método mais viável. Logo, com base em dados obtidos por meio de levantamentos em projeto, têm-se dados de custo para materiais e mão de obra, onde obtêm-se um confronto de dados, os quais a partir da análise crítica das informações chega-se a uma resposta sobre o método construtivo mais eficiente economicamente. Assim, esse estudo busca levantar os elementos determinantes para a escolha do método construtivo em edificações mais eficaz em termos de viabilidade. Para isso, toma-se como base um projeto de empreendimento, que por sua vez serve como fonte de estudo para simular e embasar a análise, dessa maneira formas construtivas são utilizadas para coleta e comparação de dados relacionados a orçamentos. O objetivo central é mostrar qual método construtivo apresenta maior viabilidade considerando os aspectos mencionados, fornecendo subsídios para a tomada de decisões fundamentadas no contexto da construção civil.

Palavras-chave: Alvenarias Estruturais, Alvenarias de Vedação, Construção Civil, Métodos Construtivos, Custo.

Article Model Course Completion Paper to be submitted to the examining board (Comparison between Structural Masonry and Reinforced Concrete)

Abstract: The comparative study carried out focuses on the critical analysis of economic factors between the execution of structures in Structural Masonry and Reinforced Concrete, with the aim of obtaining the most assertive choice. Therefore, based on data obtained through project surveys, we have cost data for materials and labor, where we obtain a comparison of data, which, based on the critical analysis of the information, arrives at an assertive response about the most efficient construction method. Therefore, this study seeks to identify the determining elements for choosing the most appropriate construction method in buildings in terms of cost. For this, a business project is taken as a basis, which in turn serves as a source of study to simulate and support the analysis, in this way constructive forms are used to collect and compare data related to budgets and feasibility. The central objective is to determine which construction method presents the greatest viability considering the aspects mentioned, providing support for making informed decisions in the context of civil construction.

Keywords: Structural Masonry, Fence Masonry, Civil Construction, Construction Methods, Cust.

1. Introdução

Na constante evolução do setor da construção civil, a escolha do sistema construtivo adequado desempenha um papel crucial na qualidade, durabilidade e eficiência de uma edificação. Dois métodos são amplamente empregados, alvenaria estrutural e concreto armado, representando abordagens distintas, cada uma com suas próprias vantagens e pontos de atenção. Este artigo propõe analisar de maneira abrangente e comparativa essas duas técnicas, destacando os aspectos econômicos que influenciam na decisão de adotar uma sobre a outra. Ao entender as peculiaridades de cada método, os profissionais do ramo estarão aptos a tomar decisões informadas, visando edificações seguras e eficientes.

Conforme Peña & Franco (2004), a alvenaria estrutural é o sistema construtivo que se destaca pelo emprego de paredes como estruturas de sustentação para determinadas edificações. Nesse método, a parede desempenha duas funções distintas: servir como vedação vertical e prover suporte estrutural. Já, a alvenaria convencional é o método construtivo mais comum, sendo principalmente empregada para a vedação, sem uso estrutural significativo. Para garantir sua sustentação, são necessários pilares e vigas, além disso, a estrutura é reforçada com concreto armado.

Segundo Pinheiro (2010), o concreto armado é a combinação entre o concreto simples e uma armadura, composta por barras de aço, utilizadas devido à baixa resistência aos esforços de tração do concreto, ambos os materiais devem resistir mutuamente por meio de aderência aos esforços solicitantes.

Nesse contexto, o propósito deste estudo consistiu na análise comparativa entre os dois sistemas estruturais: alvenaria estrutural e concreto armado. Essa análise foi realizada por meio de um levantamento quantitativo em um projeto selecionado pelos autores, com o intuito de examinar o custo total da obra.

O objetivo central foi a comparação minuciosa dos custos associados a esses dois sistemas estruturais, destacando suas variações e impactos no custo global da construção. Esse enfoque visou fornecer uma visão detalhada e comparativa, oferecendo subsídios para a tomada de decisão na seleção do sistema estrutural mais adequado em contextos similares.

1.1 Justificativa

O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de comparar a eficiência da construção de alvenaria convencional x alvenaria de vedação em termos de tempo, recursos e custo, avaliando o desempenho estrutural das duas abordagens, considerando o fator de durabilidade, resistência e estabilidade das edificações.

Levando em consideração questões como utilização das normas vigentes em nosso país, sustentabilidade, conforto térmico e acústico, inovações relevantes no mercado atual e também as dificuldades enfrentadas como as de transporte e peso.

1.2. Objetivos (Geral e específicos)

O trabalho apresentado tem como objetivo comparar as soluções de alvenaria estrutural e concreto armado. Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- a) Dimensionar os elementos estruturais para a solução de concreto armado e alvenaria estrutural considerando um projeto arquitetônico padrão;
- b) Realizar o levantamento quantitativo dos materiais utilizados para execução de um projeto arquitetônico padrão em concreto armado e alvenaria estrutural;
- c) Comparar as soluções propostas entre si considerando apenas os custos dos materiais necessários para execução.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Alvenaria Estrutural

Define-se como alvenaria estrutural o método construtivo no qual os elementos que desempenham a função estrutural são feitos de alvenaria, distribuindo as cargas ao longo do plano da parede, tornando a própria vedação do edifício parte integrante da estrutura. Conforme o Prof. Dr. Jefferson S. Camacho (2006), a classificação da alvenaria estrutural pode ser feita com base no processo construtivo utilizado, no tipo de unidades ou no material empregado, conforme detalhado a seguir:

- a) Alvenaria Estrutural Armada: o método construtivo no qual os elementos estruturais necessitam de uma armadura de aço para garantir a resistência. Essas armaduras são inseridas nas cavidades dos blocos, que são então preenchidas com microconcreto (Graute);
- b) Alvenaria Estrutural Não Armada: este método construtivo utiliza apenas armaduras nos elementos estruturais, visando evitar problemas construtivos, como fissuras e concentração de tensões;
- c) Alvenaria Estrutural Parcialmente Armada: existe somente no Brasil, alguns elementos resistentes são projetados como armados e outros como não armados;
- d) Alvenaria Estrutural Protendida: método construtivo em que o elemento resistente possui uma armadura ativa de aço incorporada;
- e) Alvenaria Estrutural de Tijolos ou de Blocos: função do tipo das unidades;
- f) Alvenaria Estrutural Cerâmica ou de Concreto: conforme as unidades (tijolos ou blocos) sejam de material cerâmico ou de concreto.

2.1.2 Normas Nacionais

Conforme a ABNT, as normas nacionais oferecem diretrizes técnicas e práticas para as etapas do processo construtivo. No âmbito específico da alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto, normas como a NBR 10837:89, NBR 8798, NBR 15873/2010 e NBR 6136/2008 desempenham papéis reguladores, conforme detalhados a seguir:

- a) NBR 10837:89: Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto: define as diretrizes para dimensionamento, levando em

consideração as características dos materiais e as cargas que a estrutura deve suportar;

- b) NBR 8798: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto: abrange desde a preparação do terreno, procedimentos de execução, controle e critérios de qualidade, até a finalização da construção, visando garantir a qualidade e a segurança da obra;
- c) NBR 15873/2010: Coordenação Modular para Edificações: define as medidas e proporções padronizadas para os elementos construtivos, como paredes, pisos, janelas, portas, entre outros, assegurando uma melhor compatibilidade dimensional entre os diferentes componentes da edificação;
- d) NBR 6136/2008: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria – Requisitos: estabelece os requisitos mínimos para blocos vazados de concreto, especifica características como resistência, absorção de água, dimensões e tolerâncias, garantindo a qualidade e uniformidade desses materiais.

2.1.3. Componentes Empregados

Os elementos fundamentais utilizados na construção de edifícios de alvenaria estrutural incluem as unidades (tijolos ou blocos), a argamassa, o graute e as armaduras (sejam elas de construção ou de cálculo). Além disso, é comum encontrar elementos pré-fabricados como vergas, contravergas, coxins e acessórios, entre outros. (CAMACHO, 2006)

2.1.4. Fatores Que Afetam a Resistência da Alvenaria

O projeto estrutural em alvenaria demanda uma compreensão precisa do desempenho do conjunto unidade-argamassa sob diversas condições de carga.

A utilização de blocos e argamassas com propriedades distintas pode ter um impacto substancial no comportamento dos elementos estruturais de alvenaria.

Em termos gerais, a resistência à compressão das paredes e pilares de alvenaria é influenciada por diversos fatores, sendo os mais relevantes: resistência das unidades, resistência da argamassa, qualidade da mão-de-obra e esbeltez do elemento (CAMACHO, 2006).

2.1.5. Fatores Determinantes Para a Análise Estrutural

A análise estrutural engloba a identificação de todas as cargas que irão incidir sobre a estrutura ao longo de sua vida útil, a avaliação do comportamento (resposta) da estrutura e o processo de cálculo em si, com o intuito de determinar os esforços e deslocamentos que ocorrem na mesma. Para isso, é crucial: (CAMACHO, 2006).

- a) Precisão na identificação das forças que influenciam a estrutura;
- b) A correta discretização estrutural, para garantir que o modelo matemático reproduza de forma fiel o comportamento da estrutura real;
- c) Consideração das não-linearidades físicas e geométricas presentes no sistema estrutural.

2.1.6. Vantagens e Desvantagens

O emprego da alvenaria estrutural pode trazer as seguintes vantagens técnicas e econômicas: (CAMACHO, 2006).

- a) Redução de custos: podendo chegar a 30%, a diminuição dos gastos está diretamente ligada à correta implementação de técnicas de planejamento e execução. Isso é essencialmente derivado da simplificação das técnicas de execução e economia de fôrmas e escoramentos;
- b) Menor diversidade de materiais empregados: reduz o número de subempreiteiras na obra, simplifica a fase de execução e minimiza o risco de atrasos no cronograma devido a possíveis escassezes de materiais, equipamentos ou mão de obra;
- c) Redução da diversidade de mão-de-obra especializada: necessária mão de obra especializada apenas para a execução da alvenaria, ao contrário do que acontece com as estruturas de concreto armado e aço;
- d) Maior rapidez de execução: devido à simplificação das técnicas construtivas;
- e) Robustez estrutural: devido à própria natureza estrutural, há a maior capacidade de resistir a danos patológicos causados por movimentações, além de proporcionar uma reserva de segurança mais substancial em relação a possíveis ruínas parciais.

No entanto, existem inconvenientes associados ao projeto arquitetônico:

- a) Limitação do Projeto Arquitetônico: devido à concepção estrutural, que não permite a construção de obras arrojadas;
- b) Impossibilidade de adaptação da arquitetura para um novo uso.

2.2. Concreto Armado

Segundo Pinheiro (2010) e Bastos (2006), o concreto armado é uma composição estrutural que resulta da união entre o concreto simples e armadura, constituída por barras de aço.

Ambos atuam de maneira interdependente, buscando resistir às forças aplicadas por meio da aderência entre eles. O concreto possui baixa resistência à tração, sendo necessário barras de aço atuando como suporte para resistir às tensões de tração na estrutura, pois o concreto apresenta apenas cerca de 10% da resistência à tração em comparação à sua resistência à compressão. Assim, as barras de aço visam complementar essa fraqueza estrutural, aumentando a capacidade de carga das peças comprimidas.

2.2.1. Normas Nacionais

Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2014), às principais normas ligadas ao concreto armado são:

- a) NBR 6118 (ABNT, 2014): Projeto de Estruturas de Concreto: abrange desde os critérios de dimensionamento até os métodos de execução,

visando à segurança, durabilidade e desempenho das estruturas de concreto.

- b) NBR 6120 (ABNT, 1980): Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações: estabelece os valores e critérios para as diferentes cargas que atuam nas estruturas, como cargas permanentes, cargas acidentais, sobrecargas, entre outras.
- c) NBR 8681 (ABNT, 2003): Ações e Segurança nas Estruturas: define como considerar e calcular as ações atuantes nas estruturas, incluindo peso próprio, cargas de uso, ações do vento, sísmicas, entre outras.
- d) NBR 6123 (ABNT, 1988): Forças Devidas ao Vento em Edificações: critérios para determinar as forças que o vento exerce sobre as edificações, de modo a garantir estabilidade e segurança contra ventos.
- e) NBR 14931 (ABNT, 2004): Execução de Estruturas de Concreto: abrange desde o preparo do canteiro de obras até os procedimentos de concretagem e controle de qualidade durante a execução.
- f) NBR 15200 (ABNT, 2012): Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio: define medidas preventivas e requisitos para garantir a resistência das estruturas em caso de incêndio.
- g) NBR 15421 (ABNT, 2006): Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos: define critérios para garantir a segurança e estabilidade das estruturas em regiões suscetíveis a terremotos.

2.2.2. Componentes Empregados

Conforme a NBR 6118, os elementos fundamentais utilizados na construção de edifícios de concreto armado incluem:

- a) Concreto Estrutural: engloba todas as aplicações do concreto como elemento estrutural, garantindo resistência e capacidade de suporte às cargas impostas.
- a) Elementos de Concreto Armado: partes essenciais da estrutura cujo comportamento estrutural depende da interação entre concreto e armadura metálica. A aderência entre ambos garante a eficácia do sistema estrutural, sem aplicação de alongamentos iniciais das armaduras antes da consolidação dessa aderência.
- b) Elementos Estruturais: são classificados e definidos de acordo com sua forma geométrica e função estrutural específica.
- c) Elementos Lineares (Barras): Caracterizam-se por possuírem um comprimento longitudinal pelo menos três vezes superior à maior dimensão de sua seção transversal.

2.2.3. Fatores Que Afetam A Resistência do Concreto Armado

Diversos elementos impactam significativamente na resistência mecânica do concreto, como: (BASTOS, 2006).

- a) Relação água-cimento, o período de maturação: uma proporção inadequada pode comprometer suas propriedades mecânicas e durabilidade;

- b) Granulometria: influencia diretamente na compacidade e na capacidade de preenchimento dos vazios, afetando a resistência final;
- c) Morfologia dos agregados: a forma e a textura de suas superfícies, pode impactar a aderência entre os materiais constituintes, influenciando na resistência do concreto;
- d) Composição do cimento: variações na proporção de componentes como silicatos, aluminatos e ferro podem alterar a taxa de endurecimento, a resistência e até mesmo a durabilidade do material;
- e) Extensão da aplicação de carga: influencia diretamente na formação de fissuras e na capacidade de suporte do concreto.

2.2.4. Vantagens e Desvantagens

Segundo Bastos (BASTOS, 2006, p.15), o emprego do concreto armado apresenta as seguintes vantagens:

- a) Economia: especialmente no Brasil, os seus componentes são facilmente encontrados e relativamente a baixo custo;
- b) Conservação: em geral, o concreto apresenta boa durabilidade, desde que seja utilizado com a dosagem correta. É muito importante a execução de cobrimentos mínimos para as armaduras;
- c) Adaptabilidade: favorece à arquitetura pela sua fácil modelagem;
- d) Rapidez de construção: a execução e o recobrimento são relativamente rápidos;
- e) Segurança contra o fogo: desde que a armadura seja protegida por um
- f) cobrimento mínimo adequado de concreto;
- g) Impermeabilidade: desde que dosado e executado de forma correta;
- h) Resistência a choques e vibrações: os problemas de fadiga são menores.

No entanto, Porto; Fernandes (2018) cita as seguintes desvantagens:

A resistência à tração do concreto armado é cerca de um décimo da sua resistência à compressão; Por ser muitas vezes produzido in loco, a resistência final pode ser afetada devido a erros durante os processos de mistura e cura O 'armado' utiliza-se de formas de madeira ou metálicas, encarecendo o projeto; Uma estrutura com esse material gera muitos 10 resíduos e lixos de construção Para uma construção de um edifício de vários andares, a seção dos pilares para uma estrutura em 'armado' é maior do que a seção dos pilares em uma estrutura metálica; O concreto armado tem grande peso próprio (2.500 kg/m³); Tempo de execução maior do que outros sistemas de construção, devido ao tempo de cura (pode ser reduzido com uso de aditivos); E a demolição de uma estrutura em concreto armado é de difícil execução, podendo ser inviáveis devido ao custo (PORTO; FERNANDES, 2018)

2.3 Aspectos Construtivos: Alvenaria Estrutural

A construção utilizando alvenaria estrutural é considerado um processo cauteloso, envolvendo uma série de etapas cruciais para garantir a estabilidade e segurança da estrutura. Tudo começa com um planejamento detalhado e um projeto cuidadosamente elaborado, onde são determinadas as dimensões das paredes de alvenaria de concreto. (BASTOS, 2006)

As Fundações da edificação conforme especificações de projeto, levando em consideração as condições do solo e as cargas que serão suportadas. Os blocos de alvenaria são modulados em padrões que específicos e unidos com argamassa para criação de uma estrutura coesa. Em muitos casos são incorporadas armaduras de aço para aumento da resistência à tração.

Durante o processo de construção, é essencial incorporar juntas de expansão nas paredes para acomodar as variações naturais da estrutura, prevenindo assim o surgimento de fissuras. Além disso, todas as instalações, como encanamento e fiação elétrica, são cuidadosamente posicionadas na estrutura, muitas vezes exigindo o corte de canaletas e caixas nas paredes de alvenaria.

A qualidade da argamassa utilizada para unir os blocos é fundamental, assim como a espessura das juntas. Após a conclusão das paredes de alvenaria, revestimentos e acabamentos, podem ser aplicados para proteção e aprimoramento estético, podendo incluir reboco, pintura, revestimento de pedras e outros materiais decorativos. (BASTOS, 2006)

Ao longo de todo o processo é crucial realizar testes de qualidade e inspeções para garantir que as paredes de alvenaria atendam aos padrões de construção definidos pelas NBRs 15961-1, 15961-2, 15812 e 15270. É necessário também considerar as cargas e pressões que a estrutura enfrentará ao longo do tempo, incluindo cargas de vento, carga viva (como pessoas e móveis) e cargas mortas (o peso próprio da estrutura).

Em regiões com alta umidade, medidas adicionais devem ser tomadas para tratar as paredes de alvenaria contra infiltrações de água, evitando assim o desenvolvimento de mofo e a deterioração da estrutura, trazendo como resultado uma estrutura robusta e durável, capaz de resistir às demandas do tempo e do ambiente.

2.4 Aspectos Construtivos: Concreto Armado

Conforme Edifque, 2011 a estrutura de concreto armado, também conhecida como convencional, mantém-se como a mais amplamente utilizada no Brasil, devido à sua enorme popularidade e à familiaridade dos trabalhadores da construção civil com esse sistema. Esse método construtivo envolve o uso de barras de aço (armaduras) inseridas no concreto moldado no local, dentro de formas de madeira. Essa abordagem possibilita a criação de estruturas capazes de suportar uma variedade ampla de cargas.

No entanto, seguindo a literatura de Edifque, 2011 para alcançar esse objetivo, engenheiros e arquitetos especializados nessa área realizam um cálculo

estrutural que resulta em um projeto específico. Esse processo define, com base nas cargas que o edifício enfrentará, as dimensões dos pilares, vigas e lajes, além das especificações das armaduras e a composição do concreto a ser utilizado.

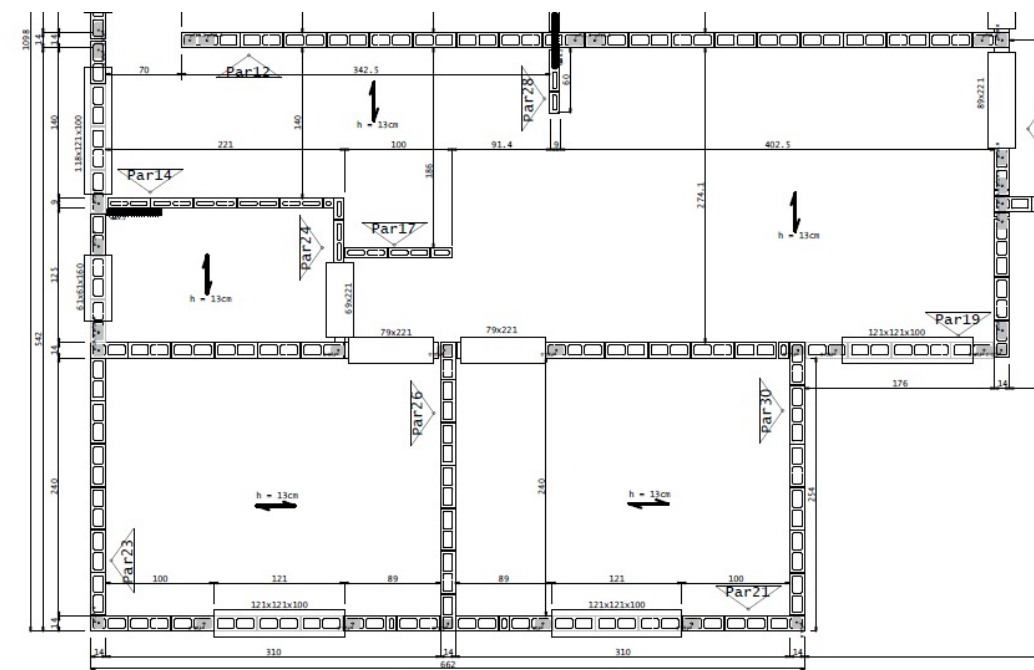
Portanto, estruturas de concreto armado são compostas por uma mistura de concreto - cimento, água, agregados (e ocasionalmente aditivos) - combinada com barras de aço em seu interior. Essas barras de aço são estrategicamente posicionadas dentro da peça de concreto para reforçá-la. As estruturas de concreto armado demonstram um desempenho eficaz, já que o concreto, por ser altamente resistente à compressão, suporta as áreas submetidas a pressão, enquanto o aço, de excelente resistência à tração, reforça as áreas submetidas a esse tipo de força. Um exemplo disso são as vigas de concreto armado. (RICARDO, 1978)

O êxito do concreto armado se fundamenta, essencialmente, em três elementos-chave: a aderência entre o concreto e as armaduras, a proximidade dos coeficientes de dilatação térmica do concreto e das armaduras, e a proteção das armaduras pelo concreto circundante. A aderência entre o concreto e as armaduras é o principal fator de sucesso. Isso assegura que as deformações nas armaduras sejam similares às do concreto adjacente, evitando qualquer deslizamento entre os materiais. A semelhança nos coeficientes de dilatação térmica do aço e do concreto reduz consideravelmente os deslocamentos relativos entre as armaduras e o concreto envolvente quando ocorrem variações de temperatura. Essa característica permite a adoção do mesmo coeficiente de dilatação térmica para o concreto armado utilizado para o concreto simples. (RICARDO, 1978)

3. Metodologia

Para a análise comparativa dos custos de execução entre os sistemas de construção pesquisados - estruturas de concreto armado e alvenaria estrutural utiliza-se a planta base do Residencial Flora – Construtora GER EMPRENDIMENTOS conforme ilustra a Figura 1, como referência primordial para o levantamento dos dados neste estudo comparativo.

Figura 1 – Planta do Residencial flora



Fonte: Construtora GER EMPREENDIMENTOS

Para análise econômica, foram feitas pesquisas de mercado para execução dos serviços por empreitada (material e mão de obra), levando em consideração os valores atuais de custo de construção, foram realizadas pesquisas junto a construtora GER EMPREENDIMENTOS.

Utilizando como fonte de dados a obra executada pela mesma em outubro de 2023, na cidade de Cotia, São Paulo. Essa abordagem visa fundamentar a análise com informações diretas e atuais provenientes de uma obra realizada pela própria construtora, possibilitando uma compreensão mais detalhada e contextualizada do cenário construtivo em estudo. Estabelecendo-se os valores médios para a execução de cada serviço, incluindo valores de materiais e mão de obra, conforme os reajustes atuais do INCC (Índice Nacional de Custo de Construção), tem-se a fonte para identificar a opção mais eficiente em termos de custo.

3.1 Dados para Análise Econômica

Na análise econômica comparativa realizada entre os dois sistemas de construção investigados - estruturas de concreto armado e alvenaria estrutural - foram empregados os dados provenientes do projeto selecionado pelos autores para a condução de cálculos referentes à quantidade necessária de cada material indispensável para a execução do mesmo, incluindo a quantidade total requerida e seus respectivos custos unitários. Com base

nesses dados, calculou-se o montante necessário para ambos sistemas construtivos, possibilitando a avaliação financeira e o planejamento eficaz dos recursos essenciais à realização do projeto.

A análise desses dados forneceu a relação custo-benefício de cada material empregado, destacando aquele que demanda uma parcela maior do investimento total.

Para exemplificação dos gastos, foram elaboradas tabelas e gráficos, ilustrando os estudos realizados por seus autores.

4. Análise

4.1 Comparativo Financeiro Alvenaria Estrutural.

Os dados quantitativos da alvenaria estrutural, combinados com os preços disponíveis na base de dados, viabilizam a apresentação dos custos diretos relacionados à estrutura.

Esta comparação exclui outros elementos estruturais, como coberturas e revestimentos, por não sofrerem variação entre os modelos de construções analisados neste estudo, permitindo uma análise mais específica e direcionada dos custos associados à superestrutura dos diferentes modelos de construção.

Na Tabela 1 são apresentados os dados referentes à quantidade de materiais indispensáveis para a execução completa da obra, acompanhados de seus respectivos preços unitários e o cálculo do valor total da empreitada.

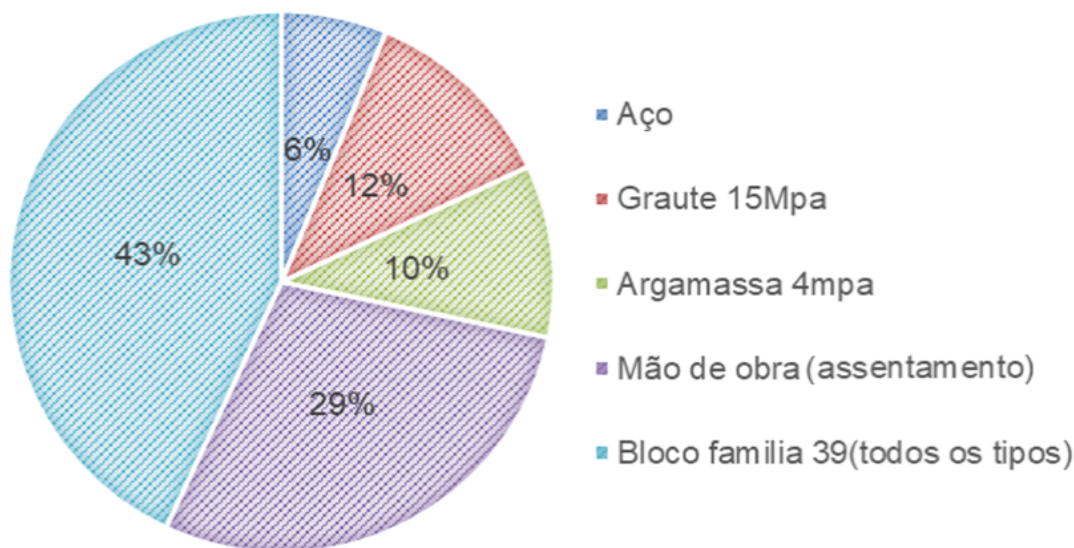
Tabela 1 - Valor total da empreitada no sistema de alvenaria estrutural

Item	Unidade	Quantidade	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
Aço	kg	130	5,20	676,00
Graute 15MPa	m ³	2,57	492,20	1.264,95
Bloco família 39(todos os tipos)	und.	1074	4,32	4.639,68
Argamassa 4MPa	m ³	2	554,89	1.109,78
Mão de obra (assentamento)	m ²	95,03	32,50	3.088,48
Total Geral				10.778,89

Fonte: Elaborada pelos autores

O gráfico 1 apresenta a proporção entre a quantidade de materiais necessários para o projeto analisado e os custos correspondentes, ilustrando a relação custo-benefício de cada material empregado.

Gráfico 1: Proporção entre a quantidade de materiais necessários e os custos correspondentes para o projeto estudado no sistema de alvenaria estrutural



Fonte: Elaborada pelos autores

No montante total dos custos envolvidos na produção da alvenaria estrutural, constatou-se que 43% do valor está diretamente ligado à aquisição dos blocos estruturais, representando o componente mais substancial do gasto. Em paralelo, os custos com mão de obra correspondem a 29% do custo total, figurando como o segundo item de maior relevância financeira nesse contexto.

4.2 Comparativo Financeiro Concreto Armado

Para o sistema de concreto armado, foi executado um processo análogo. A Tabela 2 exibe os dados correspondentes à quantidade de materiais requeridos, seus respectivos valores unitários e o custo total associado.

Tabela 2 - Valor total da empreitada no sistema de concreto armado

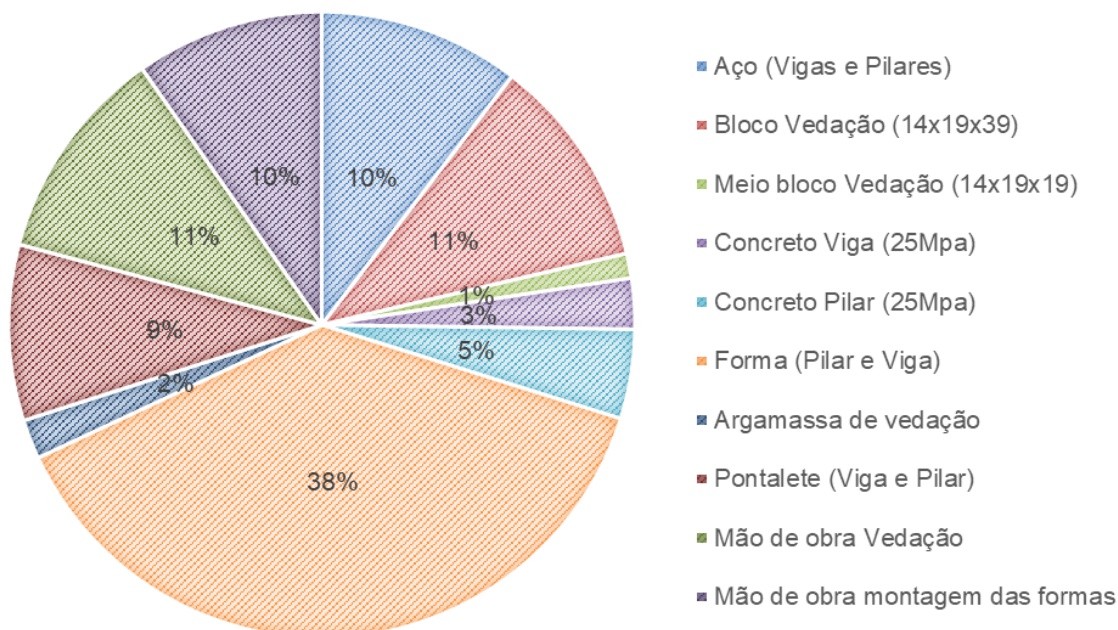
Item	Unidade	Quantidade	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
Aço (Vigas e Pilares)	kg	417,23	5,20	2.169,60
Bloco Vedação (14x19x39)	und.	845	2,70	2.281,50

Meio bloco Vedação (14x19x19)	und.	140	1,90	266,00
Concreto Viga (25Mpa)	m³	1,19	460,10	547,52
Concreto Pilar (25Mpa)	m³	2,09	460,10	961,61
Forma (Pilar e Viga)	m²	93,2	85,52	7.970,46
Argamassa de vedação	m³	1	425,00	425,00
Pontalete (Viga e Pilar)	m	322,36	R\$ 5,88	1.895,48
Mão de obra Vedação	m²	86	R\$ 27,00	2.322,00
mão de obra montagem das formas	m²	93,2	21,78	2.029,90
Total Geral				20.869,06

Fonte: Elaborada pelos autores

O gráfico 2, análogo ao gráfico 1, apresenta a proporção entre a quantidade de materiais necessários para o projeto analisado e os custos correspondentes, ilustrando a relação custo-benefício de cada material empregado.

Gráfico 2: Proporção entre a quantidade de materiais necessários e os custos correspondentes para o projeto estudado no sistema de concreto armado



Fonte: Autoria Própria

Na totalidade dos custos associados à produção da alvenaria estrutural, verificou-se que 38% do montante está atribuído diretamente às formas, compreendendo pilares e vigas, representando o elemento mais substancial em termos de gastos. Além disso, tanto os custos relacionados aos blocos de vedação quanto à mão de obra empregada na vedação correspondem a 11% do custo total cada, seguidos por 10% destinados à mão de obra para a montagem das formas e mais 10% destinados ao material de aço, utilizado nas vigas e pilares.

4.3 Análise Comparativa Geral

A partir da análise dos custos de cada componente, conforme delineado nos gráficos elaborados pelos autores ilustrados anteriormente, constatou-se que a alvenaria estrutural oferece uma vantagem significativa em construções térreas ou de altura reduzida e de curto prazo. Isto se justifica pelo custo por pavimento se manter constante em todos os andares.

Por outro lado, no sistema de concreto armado, apenas o primeiro pavimento demanda um investimento superior em comparação aos pavimentos subsequentes. Para o primeiro pavimento, é necessário o uso de formas para vigas e pilares, cuja substituição só se torna necessária após 8 a 13 ciclos de uso, uma vez adquiridas.

A Tabela 3 exibe o custo por pavimento referente ao projeto analisado pelos autores. Esta análise revela que ao se somar o custo por pavimento, considerando inclusive a recompra das formas essenciais para o sistema de concreto armado, o resultado ainda indica um custo inferior.

Tabela 3 - Análise Comparativa dos Custos por Pavimento entre Sistemas Estruturais: Concreto Armado e Alvenaria Estrutural.

	Concreto Armado	Alvenaria Estrutural
Nº Pavimento	Custo R\$	Custo R\$
1º	20.869,06	10.778,69
2º	8.973,22	10.778,69
3º	8.973,22	10.778,69
4º	8.973,22	10.778,69
5º	8.973,22	10.778,69
6º	8.973,22	10.778,69
7º	8.973,22	10.778,69
8º	8.973,22	10.778,69

9°	8.973,22	10.778,69
10°	8.973,22	10.778,69
11°	20.869,06	10.778,69
12°	8.973,22	10.778,69
13°	8.973,22	10.778,69
14°	8.973,22	10.778,69
15°	8.973,22	10.778,69
16°	8.973,22	10.778,69
17°	8.973,22	10.778,69
18°	8.973,22	10.778,69
19°	8.973,22	10.778,69
20°	8.973,22	10.778,69
Total	203.256,10	215.573,80

Fonte: Elaborada pelos autores

5. Considerações Finais

Com base nos resultados obtidos, uma análise crítica pré-execução se faz essencial para determinar o material e o método construtivo mais adequado para cada projeto, considerando especialmente a quantidade de pavimentos. Ambos os métodos apresentam vantagens e desvantagens distintas em relação ao tempo de execução, custos e desperdício.

O estudo de custos revela que até 11 pavimentos, a alvenaria estrutural se mostra economicamente mais vantajosa. Acima desse limite, torna-se necessário um maior investimento em recursos, uma vez que materiais como as formas sofrem desgaste pelo uso. Além disso, análises estruturais indicam que a resistência dessa estrutura se torna limitada, o que impõe restrições ao seu uso em edificações mais altas.

Por outro lado, ao ultrapassar esse número de pavimentos, o sistema de concreto armado torna-se mais atraente. Sua capacidade estrutural permite suportar maiores esforços, como ventos fortes, e oferece maior capacidade para suportar cargas estruturais mais elevadas.

Assim, a análise ressalta a relevância dos investimentos em blocos estruturais e mão de obra, influenciando consideravelmente o custo total da alvenaria

estrutural. Esses aspectos requerem uma abordagem cuidadosa e estratégica na gestão e no planejamento dos recursos, dada sua influência direta na viabilidade econômica do projeto

6. Referências Bibliográficas

Normas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2004** – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120/1985** – Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6123/1988** – Forças devidas ao vento em estruturas, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6136/2016** – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria -Requisitos, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 8681/2003** – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8798/1985** – Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837/1989** – Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873/2010** – Coordenação Modular para Edificações, 2010.

Monografia, dissertação e tese

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. 2006. 98f. Notas de Aula (Disciplina Estruturas de Concreto I) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

BASTOS, S.P. **Alvenaria Estrutural**. Departamento de Engenharia Civil. UNESP – Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2011.

CAMACHO, J. S. **Alvenaria estrutural não-armada: Parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes**. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 48 f. NEPAE – Núcleo de ensino e pesquisa da alvenaria estrutural, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira/SP, 2006.

Livro

CARVALHO, R. C. FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a norma NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2007.

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

PEÑA, M. D.; FRANCO, L. S. **Método para elaboração de projeto para produção de vedações verticais em alvenaria**. São Paulo: EPUSP, 2004

PINHEIRO, D. T. P. **Sistema construtivo parede de concreto – um estudo de caso**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza CE. 2010

PORTO, T. B.; FERNANDES, D. S. G. **Curso básico de concreto armado**. 1 Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018

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