

## **ANÁLISE DO ERRO DE CÁLCULO ESTRUTURAL NO PROJETO DE UM PILAR DE SUSTENTAÇÃO**

*Analysis of the structural calculation error in the design of a support column*

Guilherme Cayres Santos (1); Guilherme Konmann Pereira Candido (2); Ícaro Prado Paim da Costa (3);  
Marcelo de Paoli (4)

(1) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, cayresgui.cayres@gmail.com*

(2) *Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, guilherme.konmann@yahoo.com*

(3) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, icaroprado@hotmail.com*

(4) *Professor Doutor, Departamento de Engenharia, Universidade Anhembi Morumbi, marcelo.paoli@animaeducacao.com.br*

### **Resumo**

O artigo realiza um estudo de caso dos erros de cálculo estrutural cometidos<sup>1</sup> em um projeto de Engenharia Civil realizado no edifício Residencial Arvoredo<sup>1</sup>. O projeto inicial apresentava cálculos incorretos de um dos pilares de sustentação, resultando em uma solução inviável do ponto de vista estrutural. A metodologia utilizada foi baseada em pesquisa qualitativa, a partir da revisão de estudos e artigos específicos relacionados ao tema, além do estudo de caso e da análise de relatórios e do projeto do edifício Residencial Arvoredo, em que um dos autores do artigo esteve envolvido. A pesquisa externa proporcionou uma visão ampla dos erros de cálculo mais comuns na Engenharia Civil, a partir da análise de casos reais, levando a compreensão e o estudo de diferentes causas e consequências relacionadas ao tema. Já a análise do caso prático forneceu informações detalhadas sobre um erro de cálculo específico, analisando seus efeitos e ilustrando outras consequências que a não identificação precoce do erro poderia causar. Os resultados ressaltaram a importância dos cálculos estruturais precisos em projetos de engenharia civil e da aplicação das normas técnicas, visando a prevenção de acidentes e a promoção da segurança nas construções civis, além de pontuar as principais causas desse tipo de erro e suas consequências.

*Palavras-Chave: erros de cálculo, sustentação de estruturas, erros em projetos, construção civil.*

### **Abstract**

The article conducts a case study of the calculation errors committed in a Civil Engineering project performed in the Residencial Arvoredo building. The initial project presented incorrect calculations for one of the supporting pillars, resulting in an unfeasible solution from the structural point of view. The methodology used was based on qualitative research, from the review of studies and specific articles related to the theme, besides the case study and the analysis of reports and the project of the Residencial Arvoredo building, in which one of the authors of the article was involved. The external research provided a broad view of the most common calculation errors in Civil Engineering, from the analysis of real cases, leading to the understanding and study of different causes and consequences related to the theme. The practical case analysis provided detailed information about a specific calculation error, analyzing its effects, and illustrating other consequences that the failure to identify the error early could cause. The results highlighted the importance of accurate structural calculations in civil engineering projects and the application of technical standards, aimed at preventing accidents and promoting safety in civil construction, as well as highlighting the main causes of this type of error and its consequences.

*Keywords: calculation errors, structural support, design errors, civil construction.*

---

<sup>1</sup> Residencial Arvoredo é um nome fictício, utilizado nesse artigo para representar o edifício analisado e preservar a imagem da construtora responsável e dos profissionais envolvidos.

## **Introdução**

A Engenharia Civil é uma importante área para o desenvolvimento da sociedade, pois envolve a construção de diversas estruturas essenciais para sua evolução e manutenção. No entanto, durante o processo de planejamento e projeto dessas estruturas, há uma série de questões que devem ser examinadas. Negligenciá-las pode acarretar diferentes erros de cálculo que, se não identificados a tempo, comprometem a segurança e funcionalidade das estruturas, resultando em consequências graves. Nesse contexto, compreende-se que a precisão dos cálculos estruturais é crucial para garantir a sustentação adequada das construções. Dessa forma, faz-se necessário entender as principais causas e implicações dos erros de cálculo estrutural em projetos de construção civil, para com isso, identificá-los e evitá-los.

"A precisão dos cálculos estruturais é crucial para a integridade das edificações. Um erro de cálculo pode comprometer a segurança e a vida útil de uma estrutura." (Mitchell, 2017)

Esse artigo abordará um caso específico de erro de cálculo no projeto arquitetônico de um edifício, o Residencial Arvoredo. No projeto inicialmente proposto, verificou-se graves erros no cálculo estrutural de um dos pilares de sustentação, o que levou a uma solução de pilar inviável para a sustentação da estrutura. É importante ressaltar que o erro foi identificado antes mesmo do início da construção do edifício, em virtude da análise de um engenheiro calculista, que ao analisar o projeto para garantir a segurança e solidez da estrutura, percebeu que a solução proposta no projeto inicial não era segura e desconsiderava os critérios de sustentação adequados. A partir de um estudo detalhado do projeto, ficou evidente que o erro cometido foi decorrente da medição e do cálculo incorreto das forças atuantes no pilar e dos momentos fletores. Além de negligência na aplicação da norma técnica NBR 6118/2014, que versa sobre o projeto e a execução de obras de concreto armado, e que aborda especificamente o modo ideal de cálculo para garantir a sustentação dos diferentes tipos de pilares.

Será analisada a solução encontrada pelo engenheiro calculista que analisou o projeto, que envolve a substituição da solução estética do projeto original por uma estrutura convencionalmente adequada, evidenciando a importância da medição precisa das forças e dos momentos fletores para a sustentação das edificações. A análise levará em consideração a necessidade pela mudança do tipo de pilar, as características dos pilares, as prováveis causas do erro de cálculo e quais as consequências desse erro para o edifício e para a segurança e estabilidade da construção.

Além da avaliação específica do edifício residencial, será realizada uma comparação com artigos externos relacionados ao tema, como o livro "Engineering Disasters: Lessons to be Learned" e a revista técnica "*Engineering Failure Analysis*", e outros casos reais de erros de cálculo em projetos de construção civil, tais como o incêndio no Edifício Joelma e o colapso de uma ponte de concreto armado, a fim de compreender a gravidade dessas falhas e os potenciais riscos envolvidos. Essa análise comparativa visa compreender o erro de cálculo cometido no Residencial Arvoredo a outros acontecimentos semelhantes, colaborando para o seu entendimento no projeto inicial do edifício e relacionando suas causas e consequências.

## **Objetivo e justificativa**

A partir da análise do erro de cálculo no projeto do Residencial Arvoredo, serão analisados alguns diferentes erros de cálculo que ocorrem em projetos de Engenharia Civil com intuito de compreender suas principais causas e investigar suas consequências. Busca-se com isso expor a importância dos cálculos estruturais precisos e da aplicação correta das normas técnicas na construção de diferentes estruturas.

O artigo visa realizar uma análise crítica do tipo de erro de cálculo evidenciado no Residencial Arvoredo, explicitando as principais características do projeto que levaram ao planejamento inicial de um tipo de pilar inviável do ponto de vista estrutural, que desconsiderou as forças atuantes, os momentos fletores e aplicação correta da NBR 6118/2014. Desse modo, durante o artigo, será abordado cada fator que contribuiu com a inviabilidade do projeto, visando contribuir para a identificação precoce de erros de cálculo estruturais em projetos e atuar na prevenção de acidentes e contribuindo para a segurança das edificações.

Através dessa análise do edifício residencial e de sua comparação com outros acontecimentos semelhantes, será possível identificar porque o projeto originalmente proposto não pode ser executado e extrair lições importantes na execução de um projeto, destacando a necessidade de contratar engenheiros calculistas e seguir as normas técnicas para prevenir desastres.

Além disso, a análise detalhada do erro na consideração das forças atuantes, dos momentos fletores e do cálculo previsto da NBR, identificados no projeto do Residencial Arvoredo, poderá contribuir para o aprimoramento do conhecimento técnico-científico da área, favorecendo o desenvolvimento de tecnologias e metodologias mais seguras e eficientes na construção civil.

## **Revisão Bibliográfica**

Para a realização da análise crítica do erro de cálculo no projeto do edifício residencial, será realizada uma comparação do caso estudado com outros acontecimentos e estudos semelhantes, de modo a identificar as semelhanças, e, com isso, relacionar as consequências e as possibilidades de prevenção de erros.

Nesse sentido, é importante destacar que o estudo dos erros de cálculo em diferentes projetos de Engenharia Civil pode ajudar a compreender as suas principais causas e, com isso, contribuir para a prevenção de acidentes e para a melhoria na qualidade de construção de diferentes estruturas. A partir dessa análise é possível identificar padrões e verificar riscos conhecidos, para então agir na solução do problema.

A abordagem de Lawson (2004), em seu livro “Engineering Disasters: Lessons to be Learned”, é um exemplo disso. O escritor utiliza de exemplos práticos de desastres na engenharia civil que ocorreram devido a defeitos técnicos, dentre eles erros nos cálculos, para alertar os engenheiros e enfatizar a necessidade de considerar diversos fatores na construção civil, além de mostrar como a análise desses problemas do passado podem ajudar a prevenir desastres até hoje.

Um dos desastres abordados na obra é o incêndio do Edifício Joelma, que ocorreu em São Paulo, no ano 1974, deixando 189 mortos e 300 feridos. O elevado número de vítimas se deu devido a um erro de cálculo no projeto, que não considerou corretamente o potencial de lotação e a capacidade de evasão do prédio, que possuía apenas uma saída e escadas de emergência estreitas. O desastre ocorrido foi um motivador para mudanças significativas nos códigos de construção brasileiros, comprovando assim, a necessidade da análise do histórico de erros de cálculo nos projetos para a evolução da Engenharia Civil.

Hoje, de acordo com a NBR 9077/1993, que versa sobre Saídas de Emergências em Edifícios, item 4.4. Dimensionamento das Saídas de Emergência:

“4.5.3 Número de saídas

4.5.3.1 O número mínimo de saídas exigido para os diversos tipos de ocupação, em função da altura, dimensões em planta e características construtivas de cada edificação, acha-se na Tabela 7 do Anexo. [...]

4.7.2 Largura

As larguras das escadas devem atender aos seguintes requisitos:

- a) ser proporcionais ao número de pessoas que por elas devam transitar em caso de emergência, conforme 4.4;
- b) ser medidas no ponto mais estreito da escada ou patamar, excluindo os corrimãos (mas não as guardas ou balaustradas), que se podem projetar até 10 cm de cada lado, sem obrigatoriedade de aumento na largura das escadas;
- c) ter, quando se desenvolver em lanços paralelos, espaço mínimo de 10 cm entre lanços, para permitir localização de guarda ou fixação do corrimão.” (NBR 9077/1993)

Tabela 1 - Tabela 7 da NBR 9077/1993

**Tabela 7 - Número de saídas e tipos de escadas**

Dimensão		P (área de pavimento ≤ 750 m²)									Q (área de pavimento > 750 m²)																				
Altura		K			L			M			N			O			K			L			M			N			O		
Ocupação		N <sup>sa</sup>	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.	N <sup>sa</sup>	Tipo esc.							
Gr.	Div.																														
A	A-1	1	1	NE	1	NE	-	-	-	-	1	1	NE	1	NE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	A-2*	1	1	NE	1	NE	1	EP	1	PF	1	1	NE	2*	NE	2*	EP	2*	EP	2*	PF										
	A-3	1	1	NE	1	NE	1	EP	2	PF	1	1	NE	2	NE	2	EP	2	EP	2	PF										
B	B-1	1	1	NE	1	EP	2	PF	2	PF	2	2	NE	2	EP	2	PF														
	B-2	1	1	EP**	1	EP	2	PF	2	PF	2	2	EP	2	EP	2	PF														
C	C-1	1	1	NE	1	NE	2	PF	2	PF	2	2	NE	2	EP	2	PF														
	C-2	1	1	NE	1	NE	2	PF	2	PF	2	2	NE	2	EP	2	PF	3	PF												
	C-3	1	1	NE	2	EP	2	PF	2	PF	2	2	NE	2	EP	3	PF	4	PF												
D	-	1	1	NE	1	EP**	1	PF	1	PF	2	2	NE	2	EP	2	PF														

Se essas normas estivessem em vigência na época, provavelmente, o acidente teria um número muito menor de vítimas.

Outra importante contribuição para a análise de erros na construção civil é a revista técnica "*Engineering Failure Analysis*", que começou a ser publicada em 1994 e tem edições periódicas até hoje. A revista, cuja tradução do nome é "Análise de Falhas em Engenharia", fornece informações sobre falhas em estruturas e equipamentos, oferecendo criteriosas análises de casos desastrosos e evidenciando, a partir destes, a importância do estudo das diferentes falhas na Engenharia Civil.

Há, em diferentes edições, diversos artigos publicados sobre erros de cálculo em projetos civis e suas consequências. Um deles é o artigo "*Failure analysis of a reinforced concrete bridge deck due to incorrect calculations*", publicado em 2021 pelos pesquisadores Ahmad Feraz, Muhammad Ahmed, Muhammad Kashif, Adeel Maqsood, Shoaib Ahmed, Muddsar Habib e Muhammad Qamar, que realiza uma investigação sobre a falha de um tabuleiro de ponte em concreto armado, causada pela utilização incorreta dos cálculos durante o projeto. O estudo investiga cada um dos componentes da ponte e de seu projeto e faz uma detalhada descrição do colapso. A partir dessa análise, revelou-se que o motivo da falha foi uma série de erros no cálculo do projeto, que não considerou o espaçamento adequado da armadura de aço, e assumiu uma maior resistência do concreto utilizado. O trecho abaixo destaca a importância da realização de cálculos precisos.

"Por conseguinte, é crucial que os engenheiros e os profissionais da construção realizem verificações cuidadosas e precisas dos cálculos e das propriedades dos materiais para garantir que a estrutura é segura e viável." (Feraz, Ahmed, Kashig, Maqsood, Habibi & Qamar, 2021), tradução livre realizada pelos autores do artigo.

Além destes, o artigo "Erros de cálculo em pilares de edifícios de concreto armado: Análise de casos reais" de Pereira (2015), também aborda a temática de erros de cálculo estruturais. O estudo utiliza como base a análise de casos reais para descrever e compreender os erros que ocorrem no dimensionamento e projeto dos pilares, investigando as possíveis causas desses erros. Nessa lógica, infere-se a partir dos casos analisados, as seguintes causas principais de acidentes devido a erros nos cálculos: erro na determinação de cargas, erro na análise estrutural, erro no dimensionamento dos elementos, erro na consideração de ações excepcionais, erro na consideração dos efeitos de interação e erro na interpretação e aplicação das normas técnicas.

## **Metodologia**

Para o desenvolvimento do presente artigo e obtenção dos resultados foram utilizados dois principais métodos de pesquisa: estudos de artigos publicados na área que se relacionam com o tema, e a análise do desenvolvimento da obra civil realizada em 2016 pela construtora em que um dos autores estagiou durante o período de graduação. O nome da construtora e do edifício residencial não serão citados neste artigo por questões de sigilo e, dessa forma, serão chamadas de Empresa X e Residencial Arvoredo (nome ficto).

## **Estudos e artigos externos**

Levando em consideração a extensão do tema analisado e visando maximizar a obtenção de informações confiáveis, adotou-se como base o método de pesquisa qualitativo. O objetivo foi examinar os defeitos e as vulnerabilidades técnicas mais comuns na construção civil a partir de exemplos reais. Portanto, o presente estudo utilizou, sobretudo, de três fontes de pesquisa externas para a coleta e análise de dados: o livro "Engineering Disasters: Lessons to be Learned", escrito por

Lawson (2004), o artigo "*Failure analysis of a reinforced concrete bridge deck due to incorrect calculations*" da revista técnica "*Engineering Failure Analysis*", e o artigo "Erros de cálculo em pilares de edifícios de concreto armado: Análise de casos reais", escrito por Pereira e Lourenço (2015), que muito se assemelha com o estudo de caso referente a obra civil analisada.

### **Informações coletadas – um estudo do caso**

Como estratégia para mitigar as limitações de uma metodologia embasada unicamente em dados secundários, utilizou-se também a análise do desenvolvimento da obra civil de um empreendimento residencial, construído pela empresa na qual um dos autores do presente artigo estagiou durante o período de graduação. O aluno solicitou o uso das informações e dos relatórios referente à obra e ao projeto do edifício para a construtora responsável, que autorizou sua utilização para composição do artigo, mas solicitou que não fosse divulgado o nome das empresas, dos profissionais envolvidos e o endereço do edifício, para fins de preservação de imagem.

Observou-se o desenvolvimento da obra e o enfrentamento das adversidades durante a construção do edifício, com destaque para o erro no projeto arquitetônico, que projetou uma solução de pilotis inviável, visto que o cálculo do projeto desconsiderou a sustentação dos três pavimentos pelo pilotis. Verificou-se que no projeto inicialmente apresentado, a sustentação do edifício recairia apenas sobre um pilar. Como a força de arrasto aplicada sobre ele seria relativamente alta, a rigidez como um todo do pilar precisaria ser extremamente alta, e todas as ligações, fundação, pilar, vigas e alvenarias precisariam estar em perfeita harmonia para que não ocorresse torção a estrutura. Dessa forma, para garantir a sustentação e segurança do edifício, a construtora contratou um engenheiro calculista que modificou o projeto antes mesmo do início de sua execução.

### **Resultados e Discussões**

Para analisar os erros de cálculo nos diferentes projetos de construção civil, utilizou-se como base alguns acontecimentos reais, como o incêndio no Edifício Joelma (referência), no colapso da ponte de concreto (referência) e no projeto de um edifício residencial, como já antecipado na Metodologia. Nesse artigo, trataremos do edifício pelo nome de Residencial Arvoredo, construção que foi escolhida como objeto da presente análise em razão de um erro de cálculo no projeto arquitetônico referente aos pilares de sustentação.

No caso analisado, para representar artisticamente o nome do empreendimento, o arquiteto tomou a solução de projetar pilotis de sustentação de um dos blocos com pilares em forma de tronco de árvore sustentando três pavimentos sobre ele. Contudo, na execução do projeto, para garantir a solidez da construção, a construtora contratou um engenheiro calculista, que concluiu que o projeto realizado pelo arquiteto desconsiderou importantes critérios de sustentação, chegando à conclusão de que o projeto original não era viável.

Sendo assim, para garantir a sustentação dos três pavimentos, foram realizadas várias alterações no projeto, e o tronco de árvore ficou representado conforme imagens e projeto abaixo.



Figura 1(a) e Figura 1(b) - Imagens do Residencial Arvoredo finalizado  
Fonte: Empresa X (2016)

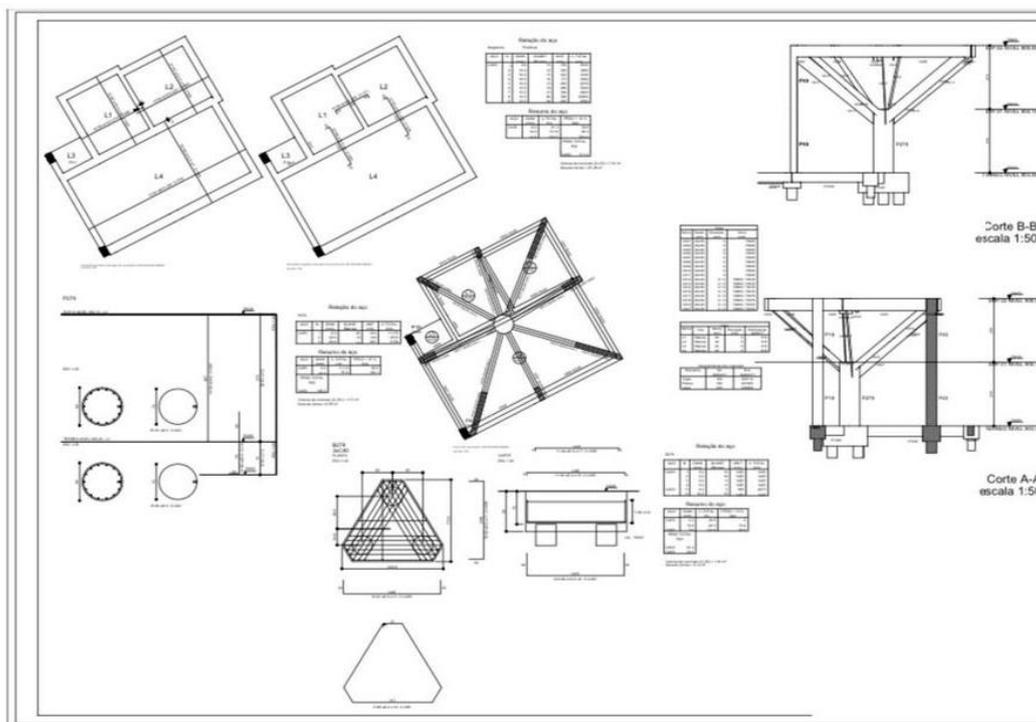


Figura 2 - Projeto executado, aprovado pelo Engenheiro calculista.  
Fonte: Empresa X (2016)

É importante destacar que a contratação de um engenheiro calculista para a aprovação de um projeto arquitetônico não é obrigatória, de acordo com a Lei nº 12.378, de dezembro de 2010, que regulamenta o exercício da Arquitetura e Urbanismo e dá outras providências. No artigo 2 da referida Lei, há a descrição das atividades e atribuições do arquiteto e urbanista, dentre as quais, identifica-se o estudo da viabilidade técnica na concepção e execução de projetos e dos sistemas construtivos e estruturais, estruturas, desenvolvimento de estruturas e aplicação tecnológica de estruturas.

Primeiramente, ao analisar a necessidade pela mudança estrutural, supõe-se como principal causa do erro no projeto inicialmente apresentado, a priorização da estética em detrimento da funcionalidade das estruturas, o que não é propriamente um erro de cálculo, mas pode ser considerado uma das causas para o erro de cálculo. É evidente que um projeto arquitetônico bem-sucedido deve realizar estudos e cálculos estruturais para determinar e projetar as melhores soluções considerando aspectos não apenas visuais, mas principalmente de sustentação e de segurança das edificações.

No tocante a importância do desenho no cálculo estrutural, implica-se que para projetar um cálculo de uma laje maciça, viga ou pilar, por exemplo, necessita-se que o projetista tenha conhecimento de desenho técnico e noções das normas técnicas para que o projeto venha a se tornar coerente nas fases de planejamento e montagem da edificação. (Baruarem, 2017)

Para o entendimento do referido cálculo, faz-se necessário a descrição do erro cometido no projeto inicial em comparação com a solução final aprovada, e o entendimento de suas respectivas estruturas, técnicas e forças atuantes para garantir a sustentação.

É importante destacar a tipologia do Residencial Arvoredo, levando em consideração, além de outros fatores, como a forma e a rigidez estrutural do edifício, absorve esforços de vento relevantes, resultando em uma força de arrasto relativamente alta. No projeto original a sustentação é garantida por apenas um pilar, o que exige uma rigidez extremamente alta na estrutura. Todas as estruturas e componentes devem estar em harmonia, seguindo rigorosamente todos os critérios técnicos, pois a tendência com esta tipologia é ocorrer torção à estrutura.

Nessa lógica, faz-se necessário o entendimento do conceito de a armadura longitudinal de um pilar, a qual define-se pelo conjunto de barras de aço que são dispostas ao longo do eixo do pilar, responsável por resistir esforços de tração, compressão e flexão. No projeto inicialmente proposto, a armadura longitudinal comprimida do pilar impõe ao concreto uma força tangencial resultante que o concreto não é capaz de absorver ou resistir, tendendo a planificar a peça, indicada na Figura 3 por  $R_{rst}$ . É o chamado “empuxo no vazio”.

Além disso, infere-se que a força atuante no banzo comprimido também impõe uma tensão resultante atuante em direção ao exterior da peça, exigindo uma armadura para resistir a estas tensões e evitar o colapso do concreto. Pode-se calcular a força de compressão de cada uma das vigas, através do momento positivo de cálculo  $M_d$  (que geralmente é crítico no nó onde há a mudança de direção).

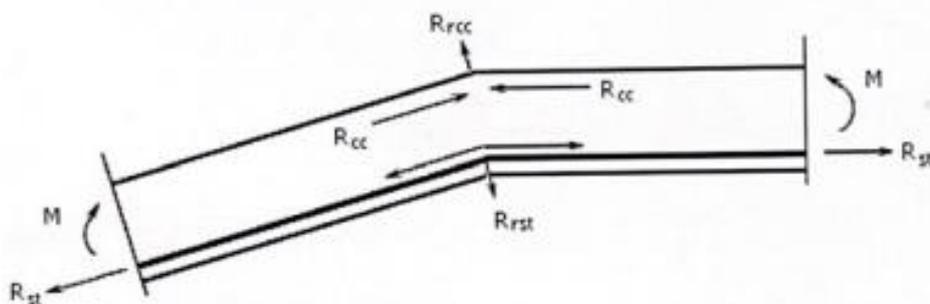


Figura 3 - Mudança de direção na armadura longitudinal – cantos salientes comprimidos.

Fonte: Projeto inicial Residencial Arvoredo - Empresa X (2016).

Sendo assim, conclui-se que o que deveria ter sido adotado no projeto inicial, para garantir a sustentação e solidez da estrutura, é a disposição da armadura conforme o recomendado por FUSCO (1995):

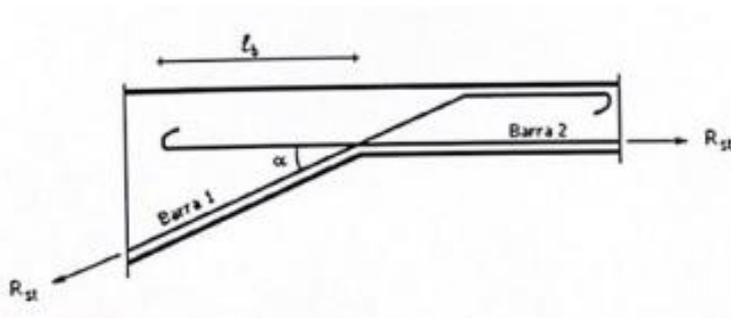


Figura 4 – Solução recomendada por FUSCO (1995)

Após a análise do engenheiro calculista e alteração no projeto do Residencial Arvoredo, determinou-se a extensão da barra inclinada até o topo do trecho com inclinação diferente e continuar na direção da barra comprimida deste outro trecho, conforme efetuado para a barra 1 da Figura 4, sempre respeitando o comprimento de ancoragem mínimo das barras.

Verifica-se que este ponto, principal responsável pelo erro de cálculo no projeto inicial do Residencial Arvoredo é bastante comum em projeto de engenharia civil, e é normalmente responsável por erros sérios de execução, que podem levar a estrutura a apresentar problemas patológicos graves, com implicações diretas no comprometimento da resistência e/ou da durabilidade.

Devido inclusive a importância e gravidade do assunto juntada da frequência nesse tipo de erro, que já gerou diversos acidentes e rompimentos de peças, a NBR 6118/2014 no seu item 18.2.3 apresenta a forma correta e incorreta de detalhamento de peças.

**“18.2.3 Mudanças de direção das armaduras**

Quando houver tendência à retificação da barra tracionada em regiões em que a resistência a esses deslocamentos seja proporcionada por cobrimento insuficiente de concreto, a permanência da barra em sua posição deve ser garantida por meio de estribos ou grampos convenientemente distribuídos. Deve ser dada preferência à substituição da barra por outra duas, prolongadas além do seu cruzamento e ancoradas conforme a Seção 9.” (NBR 6118/2014)

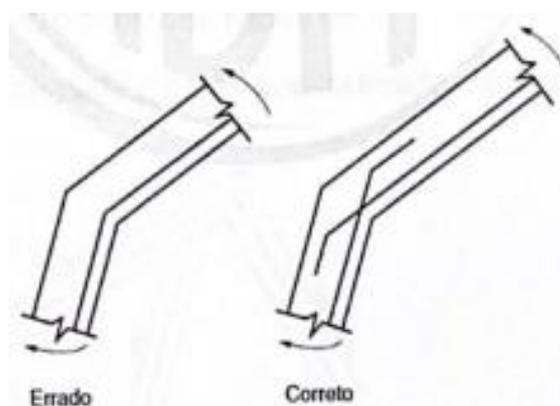


Figura 5 – NBR 6118/2014 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado, item 18.2.3, Figura 18.1 (Errado e correto na mudança de direção).

Para o entendimento das alterações no projeto do edifício residencial e o erro de cálculo cometido no projeto inicialmente proposto pelo arquiteto responsável, será realizado o detalhamento

técnico viga V620, que também se aplica para as demais vigas do projeto do Residencial Arvoredo, destacado em preto na Figura 6.

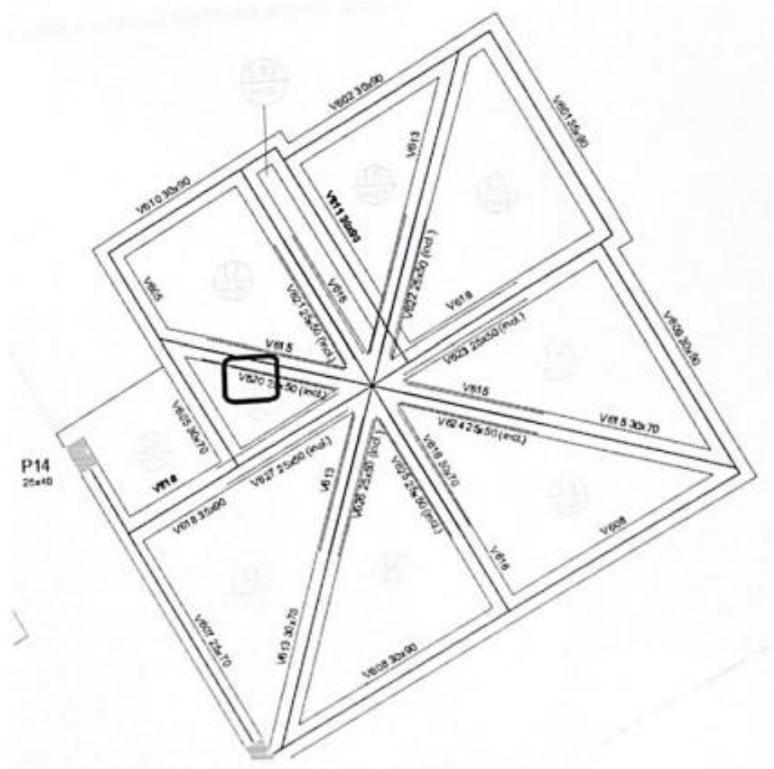
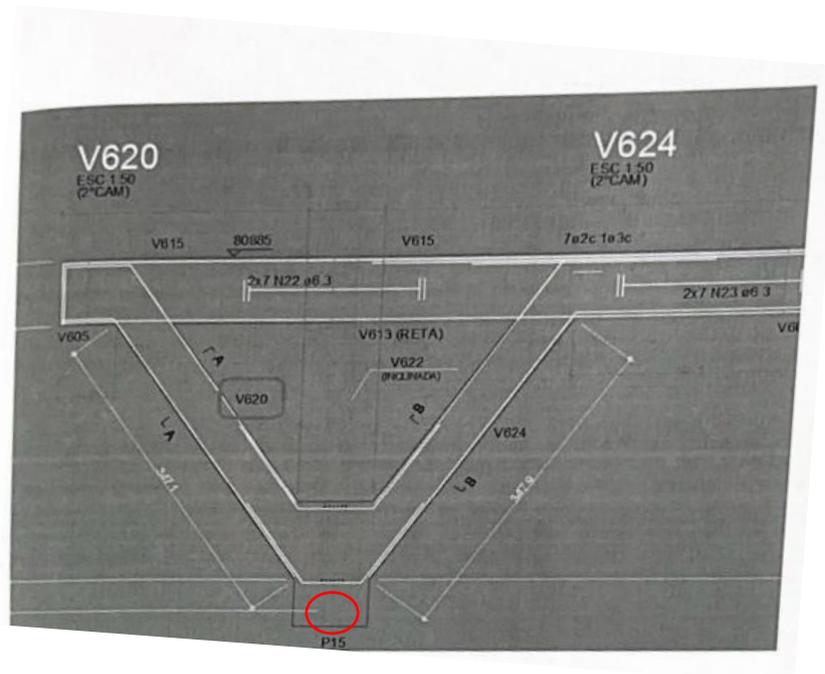


Figura 6 – Forma das vigas e lajes (1º pavimento)  
Fonte: Empresa X (2016)





Fica evidente, portanto, que o projeto inicial realizado pelo arquiteto, ao propor pilares na extremidade em forma de tronco de árvore para representar o nome do edifício, não levou em consideração as cargas atuantes e as normas técnicas, de modo a não realizar cálculos estruturais precisos para a determinação da estrutura de sustentação. Dessa forma, a ausência de análise detalhada das cargas e das condições específicas do empreendimento levou ao projeto de uma solução inviável do ponto de vista estrutural.

Sendo assim, verifica-se que no projeto inicialmente proposto pelo arquiteto, não houve adequação a NBR 6118/2014, que versa sobre os procedimentos necessários para o projeto de estruturas de concreto. A ligação das vigas em formato de tronco de árvore com o pilar central não considerou todas as forças atuantes, resultando em um projeto inadequado, de um pilar instável, que caso não fosse antecipado, poderia comprometer severamente a edificação.

Nesse ínterim, evidencia-se a correspondência do erro no projeto no edifício analisado com o artigo “Erros de cálculo em pilares de edifícios de concreto armado: Análise de casos reais”, escrito por Pereira e Lourenço (2015), referenciado na Revisão Bibliográfica. Nota-se que os erros apontados e abordados no artigo em questão em muito se assemelham com a realidade do Residencial Jabuticabeira, com destaque para o erro na determinação de cargas, erro na análise estrutural e erro na interpretação e aplicação das normas técnicas, em que se verifica, no caso do edifício residencial, a negligência na aplicação da NBR 6118/2014, como já comentado.

Como consequência direta do erro de cálculo na execução do projeto do edifício, constata-se a necessidade de retrabalho, contratação de um novo profissional e adequação ao novo projeto. É importante evidenciar que no caso analisado, a identificação do erro foi anterior ao início da construção do edifício, o que evitou possíveis maiores desastres. Contudo, fica claro, a partir da comparação do erro cometido com outros artigos sobre o tema e principalmente com acidentes que tiveram como causa erros semelhantes, que tal problema de cálculo da sustentação, caso não tivesse sido corrigido a tempo, provavelmente levaria a consequências muito mais graves. Sendo assim, para um ensaio das possíveis consequências que este erro poderia ocasionar, será realizada uma análise comparativa com outros acontecimentos semelhantes ao estudado neste artigo.

Compreende-se, portanto, a afinidade do projeto do Residencial Arvoredo com o projeto de um tabuleiro de ponte em concreto armado, cujo colapso foi objeto de estudo do artigo "*Failure analysis of a reinforced concrete bridge deck due to incorrect calculations*", também citado na Revisão Bibliográfica. Em uma visão macro, observa-se que, em ambas as estruturas, houve uma série de erros no cálculo dos projetos. Em nenhum dos casos ocorreu uma análise precisa e o cálculo adequado da resistência das estruturas e de suas cargas atuantes, o que, conforme exposto, pode prejudicar em muito a sustentação da construção. Esse exemplo demonstra o potencial impacto que a não identificação precoce do erro no projeto arquitetônico do edifício analisado poderia causar, levando até mesmo ao colapso da estrutura, como ocorrido no tabuleiro de ponte em concreto armado mencionado.

Outra relevante comparação é referente ao incêndio no Edifício Joelma, que deixou centenas de vítimas. Por mais que no caso do Edifício Joelma, a principal razão do acidente não tenha sido em função de um erro no cálculo estrutural, mas sim de um erro de cálculo no potencial de lotação e capacidade de evasão do prédio, esta comparação faz-se relevante quando analisada a importância da aplicação correta das normas técnicas para a segurança das edificações. Conforme já mencionado, o Edifício Joelma foi motivador para mudanças significativas das normas técnicas brasileiras, com destaque para sua influência na NBR 9077/1993, reguladora das saídas de emergências em edifícios.

Dessa forma, sustenta-se que a aplicação correta dessa norma técnica garante mais segurança às construções e que, caso a construção do Edifício Joelma seguisse o exposto na norma, o acidente teria um menor número de vítimas.

É nesse sentido que se realiza uma relação com o Residencial Arvoredo, no qual o erro de cálculo no projeto arquitetônico original é decorrente, além de outros fatores, de um erro na interpretação e aplicação da NBR 6118/2014. Dessa forma, verifica-se que a correção do erro no projeto inicial é decorrente do cálculo e da aplicação correta dos parâmetros determinados na norma técnica pelo engenheiro calculista, que a partir disso propôs uma nova estrutura de sustentação, muito mais segura.

Sendo assim, verifica-se, diante do exposto, que caso o erro não fosse identificado e retificado a tempo, invariavelmente a estrutura estaria passível de patologias de caráter irreparável, o que exige a importância da contratação de engenheiros calculistas antes da execução de projetos para prevenção de desastres envolvendo erros de cálculo.

## **Conclusões**

A proposta do presente artigo foi realizar uma análise dos erros de cálculos cometidos no Residencial Arvoredo, comparando-o com erros semelhantes em diferentes projetos de Engenharia Civil e, a partir disso, evidenciar suas principais causas e potenciais consequências.

A partir dessa análise, foi possível concluir que as vigas que representam os “galhos” do pilar em formato de árvore não estão detalhadas conforme os critérios técnicos, o que, se não fosse corrigido, poderia causar um grave colapso à estrutura. Além disso, no projeto inicialmente proposto as vigas não apresentavam ligações adequadas com o pilar analisado nesse artigo, o que acarretaria a instabilidade do pilar instável, comprometendo a edificação. Através da análise comparativa com outros casos reais de erros de cálculo em projetos de construção civil, foi possível compreender a gravidade dessas falhas e os potenciais riscos envolvidos.

Verificou-se uma série de fatores causadores do erro no estudo de caso analisado, e nos outros casos que com ele se relacionam, com destaque para o erro na determinação e aplicação de cargas, especialmente de forças, erro no dimensionamento dos elementos de uma estrutura, erro nesse tipo de estrutura de sustentação utilizada, erro na consideração dos efeitos de interação e erro na interpretação e aplicação das normas técnicas. Como consequências, constatou-se que estas dependem da gravidade e do tipo do erro e do momento da sua percepção, podendo variar desde consequências mais leves, como a necessidade de retrabalho em um projeto, como mais graves, como o colapso de uma estrutura e até mesmo a morte de vítimas.

Ao comparar o caso do Residencial Arvoredo com o incêndio no Edifício Joelma, evidenciou-se a necessidade da aplicação correta das normas técnicas na construção de estruturas para garantir a segurança das edificações.

Já, ao realizar a análise comparativa do estudo de caso do edifício residencial com o colapso na ponte do concreto armada, objeto de estudo do artigo da revista “Engineering Failure Analysis”, evidenciou-se o impacto que erros no cálculo de projetos podem causar, levando ao entendimento que, caso o erro no Residencial Arvoredo não fosse identificado a tempo, provavelmente haveria um colapso da estrutura.

Além disso, a partir dos dados analisados, ressaltou-se a importância de contratar engenheiros calculistas para evitar erros de cálculo que possam levar a desastres e colocar vidas em risco.

## Referências

AHMED, Muhammad; AHMAD, Feraz; KASHIF, Muhammad; MAQSOOD, Adeel; AHMED, Shoaib; HABIB, Muddsar; QAMAR Muhammad. **Failure analysis of a reinforced concrete bridge deck due to incorrect calculations**. Engineering Failure Analysis. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (201). **NBR 6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**. ABNT, Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (201). **NBR 9077 - Saídas de emergência em edifícios**. ABNT, Rio de Janeiro. 1993.

BASTOS, Paulo. **PILARES DE CONCRETO ARMADO**. Bauru, 2017.

BRASIL. Lei nº 12.378, de dezembro de 2010.

FUSCO, Péricles. **ESTRUTURAS DE CONCRETO, SOLICITAÇÕES NORMAIS**. São Paulo. 1981.

LAWSON, Don. **ENGINEERING DISASTERS: LESSONS TO BE LEARN**. Berkeley. 2004.

PEREIRA, Eduardo; LOURENÇO; José. **ERROS DE CÁLCULO EM PILARES DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO: ANÁLISE DE CASOS REAIS**. São Paulo. 2015.

SIMA, Cristiano. **ANÁLISE DOS EFEITOS DAS CARGAS TRANSMITIDAS PELO ESCORAMENTO ÀS LAJES DE UM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO**. Pampa. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (201). **NBR 6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**. ABNT, Rio de Janeiro. 2014.