

PROJETO FINAL DE CONCLUSÃO DE CURSO
ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DO USO DE CONCRETO PROTENDIDO: ESTUDO DE DESVANTAGENS
E VANTAGENS COMPARADO AO CONCRETO ARMADO.**

*ANALYSIS OF THE USE OF PRESTRESSED CONCRETE: STUDY OF DISADVANTAGES
AND ADVANTAGES COMPARED TO REINFORCED CONCRETE.*

Bianca Castilho Igesca - 125111368073

Everaldo Elias da Silva Conceição Junior -125111365158

Gabriella Pereira Torres - 125111343508

Gabrielly Moreira Matos Holanda - 125111377202

São Paulo- SP

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais Carmen e Euclides, que foram os pilares da minha vida para alcançar meus objetivos.

Agradeço também a minha querida avó Neuza, por toda motivação e por apoiar meus estudos. (Bianca Castilho Igesca)

Gostaria de agradecer ao meu irmão Adriano Dias que veio a falecer este semestre, mas sempre me apoiou e me incentivou a terminar tudo que iniciei e tentar sempre o meu melhor, ao arquiteto Nacyr Martins que sempre me ensinou que tudo tem solução não importando a gravidade e por último, mas não menor importante a Alice Ferreira por mesmo sem dizer acreditar em dias melhores e me direcionar para estar hoje aqui, a todos muito obrigado. (Everaldo Elias da Silva Conceição Junior)

Gostaria de agradecer especialmente aos meus pais Marcos e Adriana pelo cuidado e suporte fornecido durante a toda minha trajetória.

Agradeço as minhas avós Nair e Noelia que sempre incentivaram meus estudos e sempre foram zelosas com a minha criação.

Por fim, sou grata aos meus tios Claudio e Claudney que não estão mais presentes entretém, mas fizeram parte primordial da minha formação. (Gabriella Pereira Torres)

Agradeço primeiramente aos meus pais Ines e Jaziel que sempre estiveram ao meu lado, dando todo apoio e suporte. Foram eles que me ensinaram os maiores princípios da vida.

Agradeço à minha família pelo apoio aos meus estudos: minha irmã Gleice e minhas sobrinhas Bianca, Isabella. E em especial ao meu sobrinho Matheus Felipe e meu avô Benjamim, que sempre me incentivaram e não conseguiram ver o final deste meu percurso, mas sempre foram lembrados durante ele.

Agradeço ainda aos meus amigos Bianca, Everaldo e Gabriella que tornaram a minha graduação mais completa e feliz. E a minha fiel amiga Luana Gabriele que admiro e tenho imenso orgulho. (Gabrielly Moreira Matos Holanda)

Por fim, agradecemos ao corpo docente do curso de engenharia civil da Universidade Anhembí Morumbi, por todo aprendizado que permitiram concluir esta importante etapa e por instigarem a nossa paixão pela área da construção civil. (Grupo)

RESUMO

A construção civil está em constante evolução tecnológica de processos e materiais. A fim de acompanhar o mercado, as empresas têm buscado inovação e funcionalidade em seus sistemas construtivos, este que envolve o aprimoramento de técnicas, otimização de tempo e redução de custos. Neste contexto, este artigo desenvolve mediante um estudo bibliográfico uma análise sob a visão técnica e econômica as vantagens e desvantagens e análise comparativa de custos de dois sistemas construtivos a laje em Concreto Armado (CA) e a laje Concreto Protendido (CP). Diante de tudo que foi demonstrado, cabe concluir que neste estudo a laje lisa protendida teve melhores resultados referente a laje de CA. Isto não implica que em outras situações a sua viabilidade seja possível.

Palavras-Chave: Protensão, laje, concreto, armação, custos.

ABSTRACT

Civil construction is in constant technological evolution of processes and materials. In order to keep up with the market, companies have sought innovation and functionality in their construction systems, which involves improving techniques, optimizing time and reducing costs. In this context, this article develops, through a bibliographical study, an analysis from the technical and economic point of view, the advantages and disadvantages and comparative analysis of costs of two construction systems, the slab in Reinforced Concrete and the slab in Prestressed Concrete. In view of everything that has been demonstrated, it should be concluded that in this study the prestressed flat slab had better results compared to the reinforced concrete slab. This does not imply that in other situations its viability is possible.

Keywords: Prestressing, slab, concrete, frame, costs.

1. INTRODUÇÃO

Ultimamente a construção civil vem passando por grandes avanços tecnológicos, tendo que evoluir a cada dia mais, para atender o mercado e suas demandas. Embora existam diversos métodos construtivos já desenvolvidos para o cálculo estrutural o processo executivo mais comum no mercado brasileiro de edifícios residenciais e comerciais, é o método convencional do (CA), formados por pilares, vigas e lajes. Por motivos culturais, resistências e até mesmo a falta de conhecimento.

O Brasil é muito tradicionalista, com isso se torna difícil inserir no mercado novos produtos e processos. Na sua grande maioria utiliza-se o método tradicional do CA, muitas das vezes adaptando a obra para a utilização deste, mesmo sabendo que existem outros métodos construtivos, inclusive o Concreto Protendido (C.P). A tecnologia de protensão teve início em 1866

nos EUA, acontecendo a primeira aplicação, por H. Jackson. Já no Brasil a tecnologia foi trazida por pesquisadores com a finalidade de obter maiores vãos no uso de um método estrutural mais robusto, a título de exemplo foi feita primeira ponte em C.P. no Rio de Janeiro Ponte do Galeão-RJ. em 1.948 Calculada por Eugène Freyssinet.

Embora o CP encontre algumas barreiras muitas das vezes, tem-se como uma solução economicamente inviável. Isso se dá pela deficiência de literatura técnica referente a estudos que possa auxiliar, fazendo com que os profissionais do ramo se mantenham conservadores e acabem optando pelas estruturas convencionais em concreto armado.

Dessa forma esta pesquisa tem o propósito de fazer uma análise comparativa entre o uso do CA e do CP em lajes planas e lisas, para uma estrutura comercial, contando com bibliografias especializadas com o intuito de mostrar as vantagens, limitações e custos acerca das estruturas. Para alcançarmos os objetivos citados acima, nossos objetivos específicos são: Definir elementos e conceitos na execução das estruturas; fazer um comparativo de custos entre as duas estruturas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:

2.1 Sistema de Concreto Armado (CA)

As estruturas em CA convencional são “aquelas cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

E Pfeil (1988, p.1) simplificadamente define que “concreto armado é definido como o material de construção composto pela associação de concreto com barras de aço colocadas no seu interior. As barras de aço, que constituem a armadura, são posicionadas na fôrma, antes do lançamento do concreto em estado plástico.

Assim, podemos dizer que a estrutura de CA é o conjunto entre o concreto e barras de aço, sendo o concreto a combinação de cimento, agregado fino, agregado graúdo e água. Também pode conter aditivos para melhorar ou modificar suas propriedades básicas.

O concreto precisa ser obtido com uma dosagem cuidadosa, que define a quantidade e qualidade de cada um dos diferentes materiais, para dar ao concreto as diversas propriedades desejadas, tanto no estado fresco como no estado endurecido.

No método construtivo de CA, o aço é colocado anteriormente dentro da forma respeitando o cobrimento (o qual depende da agressividade do meio, respeitando o mínimo em norma), e então o concreto fresco é lançado para preencher a forma e circundar a armadura, a

densificação será ser feita através de vibração. Após a obtenção de resistência (cura) do concreto seria removida a forma e assim a peça de CA é criada. Bastos (2006)

Estruturas feitas com concreto armado são conhecidas mundialmente, sendo caracterizadas como estrutura dominante no Brasil. Quando comparada a estruturas feitas com outras tecnologias, a disponibilidade de materiais e a facilidade de aplicação justificam a ampla utilização de peças dessa tecnologia no mercado da construção.

O concreto tem como característica a alta resistência à compressão, tornando-se um excelente material para uso em elementos estruturais que estão principalmente expostos à compressão, como pilares, por outro lado, suas propriedades frágeis limitam a resistência à tração. Desta forma o aço é usado em conjunto com o concreto e é convenientemente colocado na peça para suportar tensões de tração. O aço também funciona muito bem para suportar tensões de compressão, porém como um material nobre tem um custo alto, é utilizado de forma direcionada para esforços como flambagem e cisalhamento da peça como mostra a figura 1.

Figura 1: Ilustração de esforços solicitados em pilares carregados



Fonte: Google Imagens @Arquitetapage

A armadura é constituída por uma relação de barras de aço (passiva, estribos e arranques) que são rodeadas de concreto gerando atrito, assim dando origem ao CA, excelente material para aplicação na estrutura de uma obra.

O CA combina as qualidades do concreto (baixo custo, durabilidade, boa resistência à compressão, fogo e água) com o aço (ductilidade e excelente resistência à tração e compressão), permitindo a construção de elementos com as mais variadas formas e volumes, com relativa facilidade e rapidez para obras.

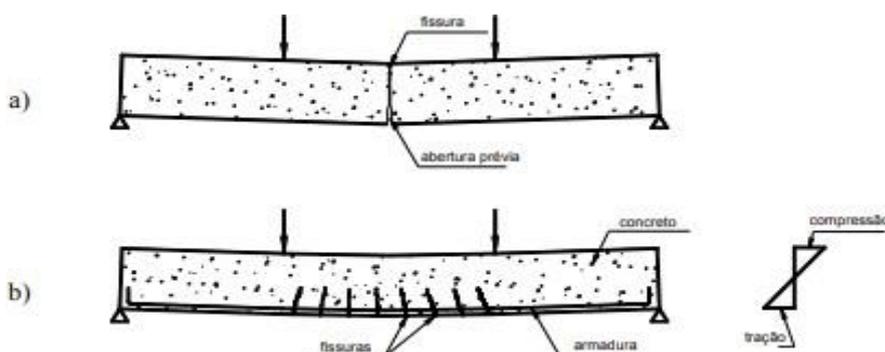
Uma questão importante a ser observada para a existência do CA é a aderência entre o concreto e o aço que é necessária para o sistema, por isso o aço é corrugado e não liso, para que ambos funcionem juntos, a deformação es em um ponto da superfície da barra de aço e a

deformação ϵ_c do concreto neste mesmo ponto são as mesmas, ou seja: $\epsilon_c = \epsilon_s$ (gerando a fissuração necessária no concreto para o aço trabalhar a tração da peça).

No CA, a armadura é denominada passiva, o que significa que as tensões e deformações nela contidas são devidas exclusivamente às influências aplicadas à peça ou esforços de peso próprio ou utilização.

O trabalho de junção entre concreto e armadura é bem caracterizado comparando uma viga sem armadura (concreto simples, figura 2a) e com armadura de flexão (concreto armado, figura 2b). Desde que as forças nas vigas aumentem gradativamente de zero até a ruptura, a viga sem armadura trinca abruptamente assim que se inicia a primeira fissura, o que ocorre quando a tensão de tração atuante atinge a resistência à tração do concreto por flexão. A viga de CA aumentou significativamente a resistência à flexão devido à existência da armadura.

Figura 2: Viga de concreto sem armadura (a) e com armadura (b)



Fonte: BASTOS, Concreto Protendido, 2019

A Figura 2 ilustra os diagramas de tensões normais em um caso simples de aplicação de tensões de pré-tensão a uma viga, onde M_p indica um momento fletor devido à carga externa na viga. O CP surgiu como um desenvolvimento do CA com a ideia básica de aplicar tensões de compressão prévia na seção transversal, que posteriormente serão tensionadas pelo efeito da carga externa aplicada à peça. Desta forma, as tensões finais de tração são reduzidas pelas tensões compressivas previamente aplicadas na peça (protensão). Assim, é possível reduzir os efeitos negativos da baixa resistência à tração do concreto, por criar certa forma de stress da peça e a mantendo na zona de compressão reduzindo sua fissuração.

Segundo Silva (2015), existem vantagens e desvantagens nas estruturas de CA.

As vantagens:

- ✓ Material relativamente econômico com facilidade de execução (muitas vezes sem necessidade de mão de obra qualificada para sua aplicação);
- ✓ Apresenta baixa necessidade de manutenção;

- ✓ Permite construção de estruturas hiperestáticas. Entre outras.

E as desvantagens são:

- ✓ O peso das estruturas de concreto (relativamente alto),
- ✓ Dificuldade para reformas e demolições,
- ✓ Baixa proteção térmica.

2.1.1 Custos na execução de obras com Concreto Armado

Segundo Bastos (2019) “os componentes do concreto estão disponíveis em quase todas as regiões do Brasil. É importante calcular o custo global da estrutura considerando-se os custos dos materiais, da mão de obra e dos equipamentos, bem como o tempo necessário para a sua elevação.”

Porém deve-se levar em consideração a indicação da NBR 6118 (ABNT, 2014), que indica, no caso de estruturas de CA, a resistência mínima do concreto é de 20 Mpa (C 20). Giongo (2007), no custo de CA estão envolvidos os custos dos materiais que compõem (pedra britada, areia, cimento e aditivos), barrase os fiosdeaqueformam as armaduras, os materiais para montar as fôrmas para moldagens de todos os elementos estruturais, os custos dos andaimes, os custos com mão de obra e custos de lançamentos, adensamento, cura e desforma.

Seguindo Giongo (2007), descreve que para um dos custos parciais incide no custo total por unidade de volume com porcentagens da ordem dos valores indicados. Conforme a tabela 1

Tabela 1: Distribuição dos custos de CA

Concreto	24,08%
Aço	27,87%
Fôrma	42,34%
Andaimes	0,56%
Lançamentos e aplicações do concreto	5,16%
Total	100,00%

Fonte: Giongo (2007)

Diante de todos os fatores citados acima, é importante lembrar que, esses valores acompanham as mudanças do mercado, e todo o processo pode sofrer alterações para mais ou para menos.

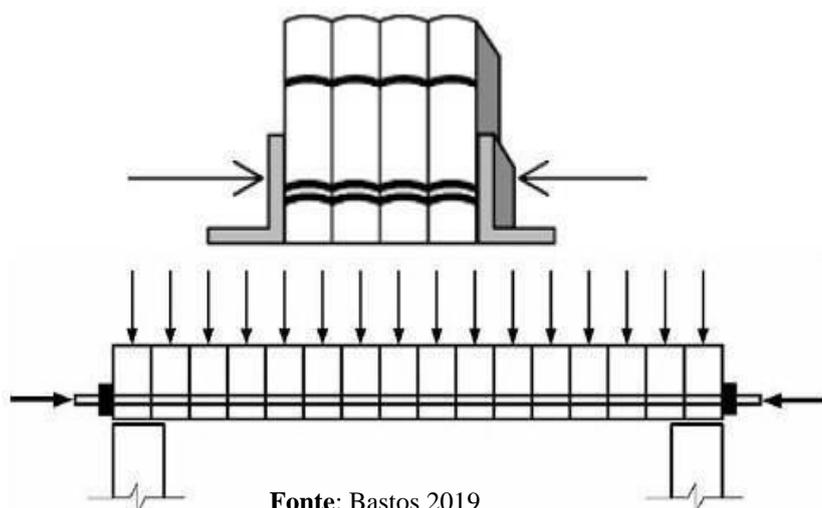
2.2 Sistema de Concreto Protendido (CP)

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) diz que os elementos de CP possuem armaduras levemente ou completamente ativas (tracionadas) na estrutura, cujo objetivo é limitar e reduzir fissura no concreto e fazê-lo trabalhar em uma zona de compressão e utilizar de forma mais eficiente as propriedades e aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último (ELU).

Segundo Carvalho (2012), uma diferença significativa entre as tecnologias construtivas de CA tradicional e o CP é a definição do aço utilizado no CP e o processo de execução na obra. Na estrutura convencional de CA, as armaduras só iniciam o trabalho de resistência após o concreto fissurar e solicitar a resistência a tração do aço, por isso são chamadas de passivas. Nas seções de CP, a armadura já é tracionada antes das solicitações de concreto, promovendo a solicitação anterior, caso em que são chamadas de “armadura ativa”.

De acordo com Bastos (2019), o CP é naturalmente uma evolução direta do concreto CA, ao qual foi adicionada uma tensão de compressão antecipada aplicada na área transversal na peça de concreto. Desta forma, a tração exercida nas peças é reduzida por esforços de compressão pré-introduzidas. Assim, como é apresentado na figura 3 .

Figura 3: Princípio da aplicação dos esforços de protensão.



Fonte: Bastos 2019

Tipos de Protensão

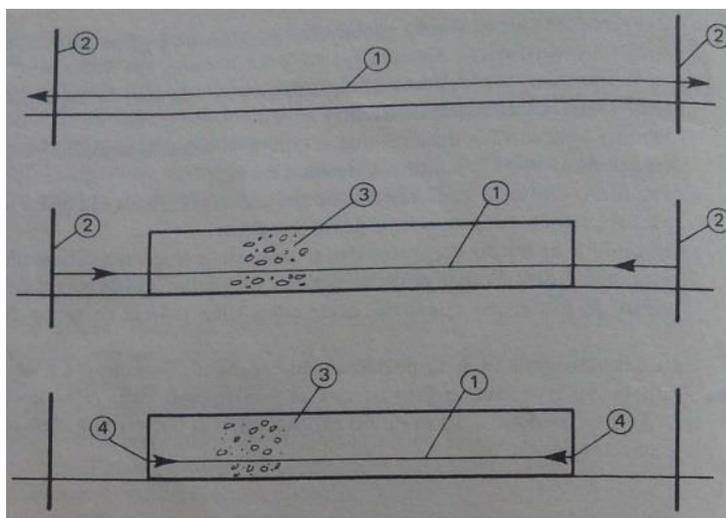
Junior (2009) descreve, os tipos de protensão estão relacionados à forma como ocorre aderência entre armadura ativa e concreto, e se dividem em: pré ou pós-tração, protensão sem ou com aderência e interna ou externa.

Com Aderência Inicial (Também Chamada De Pré-Tensão)

Segundo Hanai (2005), a protensão com aderência inicial é a aplicação da força de tração na armadura antes da concretagem da peça. Nesta situação, após a solidez do concreto que ocorre a transmissão da força de protensão do aço. Pois com a peça sólida os integrantes concreto e aço protendido podem trabalhar de forma conjunta, permitindo que a peça possa utilizar das tensões de protensão necessárias.

Na Pré-tração, a armadura se encontra tracionada e ancorada em dispositivos externos à peça antes do lançamento do concreto. Como mostra a figura 4.

Figura 4: Procedimento construtivo de viga protendida com aderência inicial.



Fonte: PFEIL. Concreto protendido, 1984.

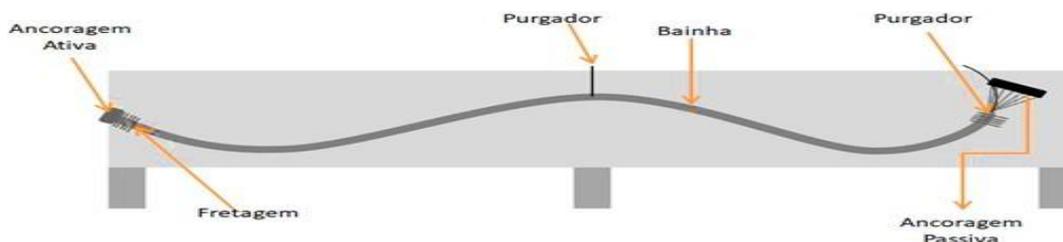
As armaduras são estiradas e ancoradas previamente, após isso o concreto é despejado e é preciso aguardar enquanto o concreto não atinge a resistência necessária. Após a cura da peça, a peça de ancoragem ligada ao aço é liberada, transferindo o esforço de compressão para a viga através da área de contato. Quando a tensão de protensão é removida do aço, ele tende a voltar ao seu ponto de menor energia (comprimento original).

Com Aderência Posterior

Temos dois tipos de protensão posterior (com e sem aderência)

Na Pós-tensão com aderência, a armadura ativa é posicionada na estrutura conforme estabelecido em projeto, cobertos com bainhas que servem para impedir que haja o contato direto entre aço e concreto. Quando a peça atinge a resistência mínima, definida previamente em projeto é feita a protensão. Quando o concreto já está endurecido injeta-se nata de cimento na bainha que isola a armadura de protensão e o concreto cuja principal função é proteger o aço da corrosão e aumentar a área de contato da capa da cordoalha com a peça de concreto, aumentando o atrito, utilizam purgadores para saber quando a bainha está totalmente preenchida (PFEIL, 1984). Segue na ilustração da figura 5, com armaduras pós-tracionadas com aderência.

Figura 5: Representação esquemática de cordoalhas aderentes em corte longitudinal



Fonte: Fonte Rudloff (2015).

Na Pós-tensão sem aderência a armadura ativa, a aderência se dá apenas na junção da ancoragem com a peça, evitando assim o atrito do cabo de proteção com a estrutura de concreto em todo o seu comprimento. Os apoios utilizados são partes do próprio elemento estrutural. Com isso, a armadura é ligada ao concreto apenas em pontos localizados. Para a execução deste método se utilizam as cordoalhas engraxadas.

Segundo Cauduro (1997), a protensão (sem aderência) tem como vantagem a facilidade de adição de cordoalha às formas; a cordoalha utilizada na obra chega ao local coberta com graxa e coberta com plástico gerando menor perda por atrito como mostra a ilustração da figura 6.

Figura 6: detalhamento de viga protendida com tração posterior (sem aderência)



Fonte: Fonte Rudloff (2015).

De acordo com Veríssimo e César Jr (1998), o projeto e execução de peças em CP tem uma alta complexidade, implementação exige testes de eficiência, controle de qualidade de todos os componentes do sistema (matéria prima e execução) e após finalizado necessita de um controle constante em relação a perda de proteção e ou identificar potencial fragilidade na estrutura, também é muito importante que concreto utilizado tem uma baixa permeabilidade (vazios na peça) para a proteção do aço a corrosão, e uma alta rigidez para suportar os esforços de compressão vindos da protensão. Como citado acima o concreto deverá ter uma resistência significativamente maior que o utilizado no CA, para resistir aos esforços internos gerados pela protensão, em paralelo o aço também tem características diferentes de resistência e composição.

Segundo Pfeil (1984), o aço utilizado na protensão são divididos em três categorias:

- Fios de aço carbono trefilados – Ø 3 mm a 8 mm;
- Cordoalha - Cordões estirados, torcidos, como corda engraxados ou não;
- Barras de aço - Liga laminada retas com comprimentos limitados.

O aço utilizado no CP é definido por sua resistência mecânica elevada e outro aspecto importante é a ausência de defeitos para não ter pontos frágeis na extensão da armadura ativa (também não poderá haver solda ou emendas). Seu custo é maior que o aço do CA convencional, pois sua durabilidade é três vezes maior e controle de qualidade mais complexo. (VERÍSSIMO E CÉSAR JR, 1998)

Existem normas que reagem a produção qualidade eu uso do aço para CP, NBR 7482 define as características dos fios de aço e a NBR 7483 é a referência das cordoalhas (cordões de aço), com base na NBR 7482 (ABNT, 2008), o aço utilizado no CP possui algumas exigências quanto à sua fabricação, pedido, entregada, a produção do aço para protensão é temperado por trefilação (a frio) em máquina de arame-carbono; o conteúdo mineral não deve exceder 0,020% de fósforo e enxofre máximo seria 0,025%. O aço e sua composição química deverá garantir no mínimo as propriedades imposta pela norma; o perfil do aço não deve apresentar defeitos físicos ou químicos, internos ou externos, que dificulte seu uso; é proibida a aplicação de algum tipo de solda na extensão do produto final; os cabos devem ser tratados termicamente; o fio precisa ser entregue em rolo bem amarrado com um valor mínimo de diâmetro especificado na norma; a embalagem tem de ser especificada no pedido; o aço de protensão deverá ser protegidos durante o armazenamento e o transporte contra danos físicos e contaminação, principalmente de substâncias que causam corrosão.

Vantagens e desvantagens do CP

Assim, como descrito por Leonhardt (1967), citado por Barroso (2005), entre as vantagens, estão:

- ✓ maior durabilidade pela inexistência de fissuras no concreto com a qual se consegue uma boa proteção do aço contra a corrosão;
- ✓ economia de 15% a 30% de material em relação ao concreto armado convencional graças à colaboração total da zona de tração. O desempenho dos aços é mais elevado graças às altas tensões admissíveis nos aços de alta resistência especiais para concretoprotendido;
- ✓ pequenas deformações nas estruturas de concreto protendido, as quais alcançam somente a quarta parte da flecha do concreto armado convencional para mesma altura e os mesmos valores de tensões admissíveis, o que permite maior esbeltes nas estruturas;
- ✓ maior capacidade para recuperar-se totalmente depois de um excesso considerável de carga evitando a ocorrência de danos sérios na estrutura. As fissuras que aparecem

temporariamente se fecham de novo por completo com a retirada da carga excedente.

No entanto, as desvantagens:

- ✓ Exigência de um controle de execução mais rigoroso;
- ✓ necessidade de cuidados especiais de proteção contra a corrosão para os aços de alta resistência,
- ✓ exigência de maior precisão na colocação dos cabos;
- ✓ necessidade de pessoal e equipamentos especializados para as operações de protensão.

O concreto normal também é denominado convencional e exclui o "concreto especial" com propriedades especiais, como concreto leve, de alto desempenho, autoadensável, massificado, laminado, colorido, entre tantos outros existentes.

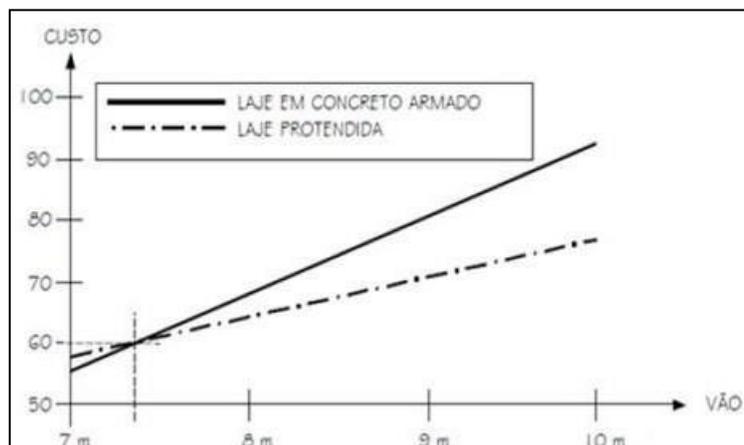
Outras normas também importantes e de interesse no desenvolvimento de conteúdos são as estrangeiras:

- MC-90, do COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON;
- Eurocode 2/92, do EUROPEAN COMMITTEE STANDARDIZATION.
- ACI 318-05, do AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.

Preço X durabilidade do material:

Se o aço de alta eficácia, for usado no CA, aparecerão rachaduras adicionais, que não ocorrem mais no CP. Por esta razão, a resistência do aço utilizado nos cabos de protensão (CA150 RN 8) a resistência 4 a 5 vezes maiores superior no mínimo à do aço utilizado no CA (CA50). Mas essa vantagem não se limita ao aço. De acordo com Pfeil a resistência do concreto usado no CP é 2-3 vezes maior que a do CA. A importância econômica do CP é que o aumento percentual no preço é muito menor do que o aumento na resistência útil tanto com concreto quanto com aço protendido. O CP leva vantagens no caso de edificações com vãos a partir de 8 metros para lajes sem vigas e pontes em viga com vãos maiores que 25 metros. A figura 7 a relação de custo em concreto armado e concreto protendido. (LUCHI, 2013).

Figura 7: Relação de custo em CA e CP



Fonte: EMERIK, 2005

3. METODOLOGIA

A evolução deste projeto teve como ponto inicial um estudo exploratório baseando-se na pesquisa bibliográfica, mais especificamente, objetivou-se analisar através da seleção em dois tipos de fontes: Google Acadêmico e Scielo. As palavras chaves utilizadas foram: Laje Protendida e Laje Maciça e Concreto. Os artigos foram priorizados com data a partir de 2018. Inicialmente os artigos foram definidos de acordo conforme os resultados, em seguida foram descartados os que não estavam disponíveis na íntegra e os que não apresentaram relevância para o desenvolvimento do trabalho, restando ao final apenas os artigos que tratam do tema em questão. Dos 28 artigos iniciais foram selecionados ao final 9 artigos para comporem o presente material.

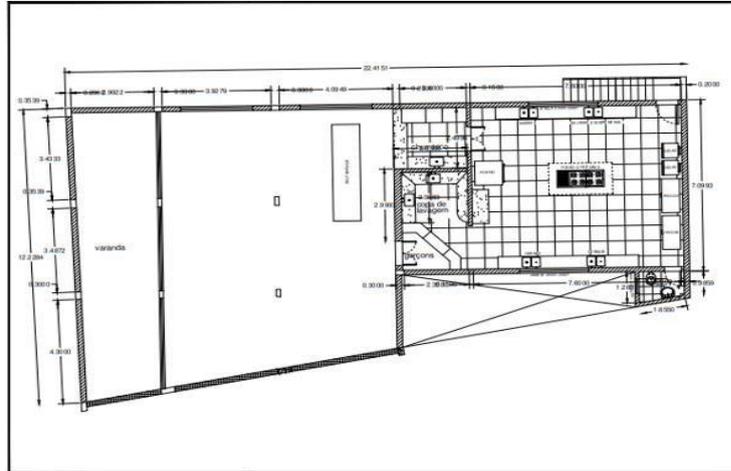
Para desenvolver a análise comparativa entre dois tipos de lajes (Concreto Armado e Concreto Protendido), o trabalho propõe verificar por um exemplo de outra pesquisa a diferença de custo entre um prédio de dois pavimentos executado com lajes lisas protendidas e o mesmo prédio projetado para o sistema com lajes maciças com vigas. Por fim aproveita-se para sustentar os resultados encontrados, descrevendo algumas considerações sobre o tema tendo base a pesquisa em outras publicações com o mesmo tipo de estudo comparativo. a figura 8 mostra a representação da planta arquitetônica do primeiro pavimento onde está localizado o restaurante.

Tendo em posse os resultados dos dois projetos foi feito uma comparação custos, que é o principal objetivo desse trabalho. Para os comparativos de custos foi retirado dados da tabela decomposição de custos para orçamento (TCPO) e orçamentos feitos com valores reais do mercado da cidade de São Paulo, local onde se encontra a obra concluída. Ao finalizar foi apresentado os resultados dos custos, sem a intenção de uma solução genérica, e sim uma solução economicamente viável comparando a diferença de valores entre as duas estruturas.

4. APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS

O projeto arquitetônico utilizado com categoria de uso para fins comerciais alto padrão composto por 2 pavimentos, contendo, garagem, restaurante e salão de eventos. Todos com 206 m² de área. No térreo está localizada a garagem da edificação, O Primeiro Pavimento, está localizado o restaurante, com as seguintes divisões: uma cozinha industrial, uma área de alimentação, ilha para servir os alimentos e um pequeno espaço usado como barzinho. O segundo pavimento, conta com um salão de eventos ocupando toda da edificação composto de dois banheiros e uma área para guarda de equipamentos de uso em reuniões.

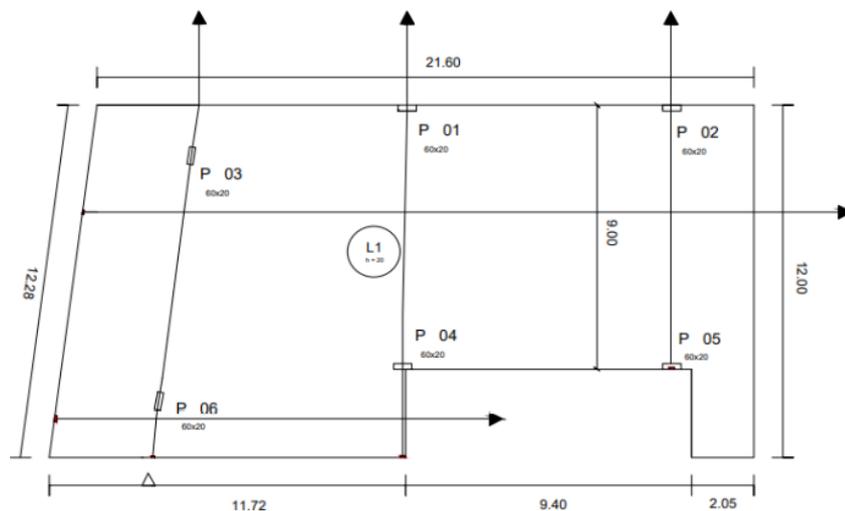
Figura 8: Projeto arquitetônico do restaurante.



Fonte: Carvalho e Silva (2016), (Adaptado)

O projeto em CP que é o original no qual o empreendimento foi construído é composto por apenas seis pilares, com altura da laje de 20cm, com sistemas de cordoalhas engraxadas não aderentes, concreto utilizado FcK de 30 MPa e aços CA-50 tendo uma área total de 206m². A Figura 9 abaixo, apresenta a planta de distribuição das cordoalhas no projeto estrutural de CP, bem como a disposição dos pilares e traçado das cordoalhas.

Figura 9: Planta de formas do restaurante e locação dos pilares

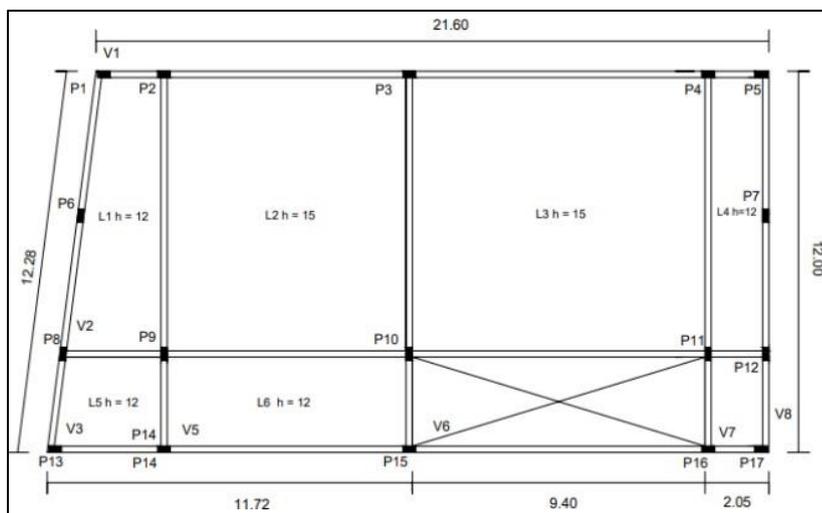


Fonte: Carvalho e Silva (2016), (Adaptado)

O projeto em CA foi elaborado pelo software CYPECAD, apenas para que fosse feito o levantamento do material e sendo possível fazer a comparação, objetivou-se o aproveitamento dos ambientes, para que não perdesse as características do projeto em concreto protendido, mas por tratar-se de outro modelo construtivo existem algumas mudanças as vigas e o aumento de pilares que agora

totalizam 26, são as maiores mudanças. A Figura 10 traz a representação da planta de forma do primeiro pavimento, para o projeto em CA, com a representação dos pilares e vigas. Simulando um outro, com mesma disposição arquitetônica e número de andares com pavimentos com cordoalhas engraxadas.

Figura 10: Planta de formas do primeiro pavimento e locação dos pilares



Fonte: Carvalho e Silva (2016), (Adaptado)

De posse dos resultados referente aos cálculos estruturais dos dois sistemas construtivos, serão apresentados nesta seção os consumos e os valores de materiais (fôrmas, concreto e aço) obtidos após o cumprimento dos procedimentos descritos na metodologia deste trabalho. Os quantitativos de cada material para concretizar a comparação dos custos foram providos pelas tabelas divulgada pela PINI, utilizando preços de insumos com pequenas alterações. As composições foram apresentadas nas “Tabelas para Composição de Preços para Orçamentos” – TCPO (PINI, 2021).

A tabela 1 apresenta um resumo dos quantitativos de CA e CP. Para a composição dos custos finais foram utilizados os valores médio do mercado local para cada material, conforme segue abaixo para melhor compreender.

Tabela 1: Comparativo do valor de material de cada sistema estrutural.

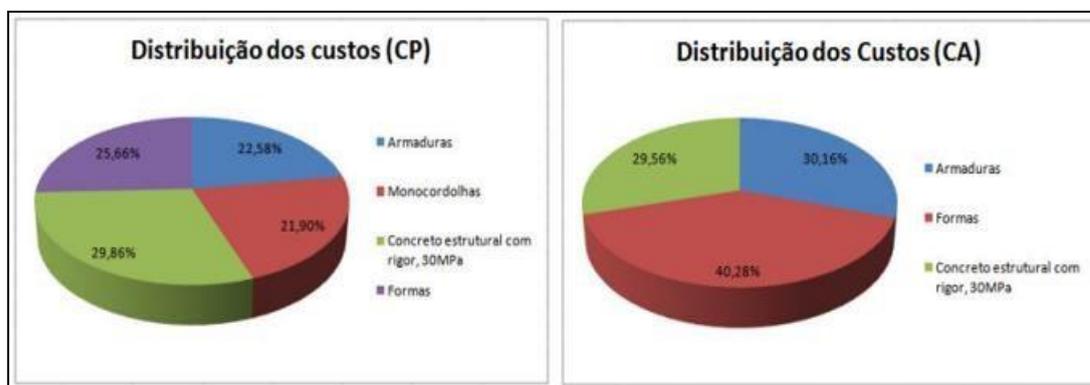
MATERIAIS	CONCRETO ARMADO			
	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
Concreto estrutural usinado rigor fck 30MPa	m ³	169	R\$ 346,35	R\$ 58.533,15
Forma e desforma, inclusive escoramento (3x)	m ³	1439	R\$ 51,65	R\$ 74.324,35
Armadura de Aço CA50 e CA60	Kg	12237	R\$ 5,12	R\$ 62.653,44
TOTAL				R\$ 195.510,94
MATERIAIS	CONCRETO PROTENTIDO			
	UN.	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
Concreto estrutural usinado rigor fck 30MPa	m ³	153	R\$ 346,35	R\$ 52.991,55
Forma e desforma, inclusive escoramento (3x)	m ³	822	R\$ 51,65	R\$ 42.456,30
Armadura de Aço CA50 e CA60	Kg	8212	R\$ 5,12	R\$ 42.045,44
Monocordoalhas engraxadas CP190 - RB 12,7mm	Kg	3.192,00	R\$ 12,50	R\$ 39.900,00
TOTAL				R\$ 177.393,29

Fonte: Acervo dos autores

Com base nos custos da estrutura em CP apresentado na tabela 1, é possível fazer uma distribuição de custos da estrutura. As armaduras passivas mais as cordoalhas jutas contribuem com 44,48 % no custo total da estrutura. Em sequência dessa distribuição vem o concreto com 29,86 % do valor da estrutura e por fim as formas que têm o menor valor nas distribuições dos custos, com 25,66 % do preço total da estrutura, conforme mostra a Figura. 10.

Assim como no CP, a partir dos dados apresentado na tabela 2, nas estruturas em concreto armado a distribuição de custos ficou do seguinte modo, as formas contribuí com 40,28 % no custo total da estrutura. Em sequência da distribuição que vem as armaduras com 30,16 % do valor da estrutura e por último o concreto estrutural com 29,56 % do preço total da estrutura, conforme apresentado no gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1: Gráfico de distribuição dos custos (CP) e (CA).



Fonte: Acervo dos autores

Como foi exposto no quadro anterior, houve uma diferença econômica entre a solução real em concreto pretendido e a solução hipotética em CA para essa edificação, a diferença é de R\$ 18.117,65 (dezoito mil, cento e dezessete reais e sessenta e cinco centavos). Apesar que a comparação exposta aqui leva em consideração apenas os custos do material, outros casos que essa pesquisa compilou em geral reflete o caso exposto, Nascimento (2014) intencionando a economia no prazo final da obra, o CP possui características que podem ser determinantes numa análise de custo global, quando comparado ao CA.

De acordo com Nunes (2019) o resultado da estrutura em lajes lisas resultou em valor de custo final menor, principalmente pela possibilidade de se diminuir os custos indiretos da execução da estrutura. A laje em CP apesar de ter uma espessura maior que a laje em CA e os valores por quilo da cordoalha engraxada serem superiores ao aço usado no sistema em concreto armado a montagem do sistema em CP tem um custo menor pois como exposto na tabela acima a diferença mais significativa é na fabricação de formas, para casos em que há a repetibilidade de pavimentos

A laje em CA perderia a vantagem econômica de possuir uma mão de obra mais barata, para efeitos de exemplo o projeto em CA exposto na Figura 10 tem doze pilares a mais que o projeto em CP, sendo que ainda há as vigas que consomem muitas horas de trabalho e material com aparição de recortes.

Porém esses custos podem variar a escolha que mais se adequa inclui muitos fatores, como equipe de trabalho, equipamentos, região e controle sobre a realização do sistema escolhido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste estudo foi comparar os dois métodos construtivos CA e CP, pois se destacam no contexto da construção civil como os modelos estruturais mais importantes utilizados atualmente. Com o auxílio da revisão bibliográfica produzida, foi possível trazer à tona as características, propriedades, aspectos positivos e negativos de cada tipo de estrutura.

Assim, levando em conta os aspectos observados, a estrutura em CP apresentou um menor custo do que se ela fosse desenvolvida no sistema convencional de concreto armado, em torno de 10,35%. Olhando para o lado econômico seria uma solução viável. Apesar de que, a escolha do sistema estrutural depende de muitas variáveis, algumas delas não citados neste estudo.

Nesta obra específica, o CP teve um custo menor, comparado com o concreto armado, devido a necessidade de utilizar vãos maiores para garantir um melhor aproveitamento do espaço. Sabe-se que o uso do CA em grandes vãos não é recomendado a utilização devido ao grande consumo de materiais, tornando a estrutura onerosa, como por exemplo a obra em estudo.

Assim no projeto do estudo de caso, ficou evidente que para manter os espaços, a opção por uma estrutura em CA não é competitiva com o CP. Isto não implica que em outras situações a sua viabilidade seja possível.

Dessa forma, este trabalho não teve a intenção de extrapolar as conclusões para todo tipo de empreendimento, mas destacar que é importante a análise custo benefício de todas as opções de sistemas construtivos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Building code requirements for structural concrete. ACI 318-19, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7482** – Fios de aço para estruturas de concreto protendido – Especificação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Execução de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 14931, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. NBR 15200, ABNT, 2012.

BARROSO, Mário Coelho. Análise do Comportamento à flexão de aduelas em Vigas Protendidas. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Dissertação em Mestrado Campos dos GoytacazesRJ, junho de 2005.

BASTOS, P.S.S. Concreto Protendido. Bauru/SP, Departamento Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2019, 237p. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/Protendido/Ap.%20Protendido.pdf> acessado em 18 de setembro de 2022.

CARVALHO E SILVA, R. Trabalho de conclusão de curso, Estruturas em concreto armado e concreto protendido custos e benefícios na execução de obras, 2016

CARVALHO, R. C. **Estruturas em concreto protendido**. São Paulo: Pini, 2012.

CARVALHO, R. C; PINHEIRO, L. M. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. 2. ed. São Paulo: Pini, 2021 v. 2.

CAUDURO, Eugenio Luiz. **Em favor da leveza**. Revista Técnica, 1997, nº 26.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. CEB-FIP Model Code 1990: final draft. Bulletin D'Information, n.203, 204 e 205, 1991.

EMERICK, A. A. Projeto e execução de lajes protendidas. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005

EUROPEAN COMMITTEE STANDARDIZATION. Eurocode 2 – Design of concrete structures, Part 1-1, Part 1-2. 2005.

GIONGO, José Samuel. Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamentos de Engenharia de Estruturas. São Carlos-SP, fevereiro de 2007.

HANAI, João Bento de. **Fundamentos do concreto protendido**. Universidade de São Paulo – Escola de engenharia de São Carlos. 2005.

LUCHI, L, A, R. Concreto Protendido. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia CivilUFES. Espírito Santo-ES, 2013.

NUNES, H. Análise do sistema e construção civil construtivo de edifícios de múltiplos pavimentos no brasil em lajes lisas com cordoalhas engraxadas. Programa de Pós-graduação Em Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de São Carlos, 2019

NASCIMENTO, Winny Fernanda et al. Caracterização de compósitos de concreto utilizando agregado miúdo do vidro. In: **XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, Poços de Caldas**. 2014.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido**. LTC Editora, Rio de janeiro, 1984.

PFEIL, Walter. Concreto armado. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988.

RUDLOFF. Concreto Protendido. Catálogo. Rev. 6, 11/2015. Disponível em: http://www.rudloff.com.br/downloads/catalogo_concreto_protendido_rev-06.pdf acessado em 07 de outubro de 2022.

SILVA, F. N. Análise Comparativa entre Lajes em Concreto Armado e Concreto Protendido. Universidade de Pernambuco. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. Recife, 2015.

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza; JUNIOR, Kléos M Lenz César. **Concreto protendido** – Fundamentos básicos. Universidade Federal de Viçosa, 1998.