

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PROTENSÃO PARA LAJES EM EDIFICAÇÕES VERTICAIS

SANTOS, Jordana Tavares.¹LACERDA, Izan Gomes.²

RESUMO

Segundo a empresa Arcelor Mittal S.A., a protensão é um valioso método construtivo, levando em consideração que o concreto protendido detenha em suas características a leveza estrutural, a ausência de fissuração, resistência a ambientes agressivos, possibilidade de execução em peças pré-moldadas, obtenção de grandes vãos, redução do custo de construção, facilidade de criação e viabilização de projetos de grande beleza e valor arquitetônico, portanto, estudos que venham a mostrar sua eficiência possuem grande importância, visando que este seja um método decorrente à modernidade do século XXI, onde o aço se torna cada vez mais valorizado.

Este sistema é utilizado para que haja um melhor aproveitamento dos espaços oferecidos através do projeto arquitetônico, criando projetos diferenciados e desafiando a engenharia através de estruturas cada vez mais arrojadas, pois estas obrigam o mercado a aprimorar as soluções construtivas oferecidas ao consumidor, tendo em vista que o método de protensão com cordoalhas não aderentes tenha sido descoberto apenas em 1977 pelo mercado brasileiro, barateando custos e simplificando sua execução. Porém, se trata de um método pouco explorado, merecendo maior conhecimento para que sua utilização seja ainda mais eficiente.

Portanto, com este trabalho busca-se relatar as principais vantagens e as desvantagens oferecidas no mercado da construção civil através do sistema que utiliza a protensão para lajes em edificações verticais, visando comparar suas vantagens com o método que emprega o concreto armado.

PALAVRAS-CHAVE: Laje Protendida, Método de Construção, Tendência Mercadológica, Flexibilização de Layout, Concreto Protendido.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF PRESTRESSING SLABS FOR VERTICAL IN BUILDINGS

ABSTRACT

According to Arcelor Mittal SA, the prestressing is a valuable construction method, taking into account that the prestressed concrete holds in its characteristics structural lightness, absence of cracking, resistance to aggressive environments, the possibility of running in pre-molded parts, obtaining of large spans, reduced construction costs, ease of creating and enabling great beauty projects and architectural value, so studies that may show its efficiency are of great importance, aiming this to be a method due to the modernity of the XXI century, where steel becomes increasingly valued.

This system is used so there is a better use of space offered by the architectural design, creating different projects and challenging engineering through increasingly bold structures, as these require the market to enhance the constructive solutions offered to the consumer with a view the prestressing method with not adherent chordae has been discovered only in 1977 by the Brazilian market, lowering costs and simplifying its implementation. However, it is an underexplored method, deserving greater knowledge so that their use is even more efficient.

Therefore, this work seeks to describe the main advantages and disadvantages offered in the construction market through the system using prestressing for slabs in vertical buildings, in order to compare its advantages with the method employing reinforced concrete.

KEYWORDS: Prestressed Slab, Constructive Method, Marketing Trend, Flexible Layout, Prestressed Concrete.

¹ Jordana Tavares dos Santos. E-mail: Jordana@outlook.com.br

² Izan Gomes de Lacerda, Mestre em Engenharia Civil. E-mail: izan@gomeslacerda.com.br

1. INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil destaca-se em um cenário cada vez mais competitivo frente aos resultados inerentes ao mercado, fazendo com que a agilidade dos métodos empregados tornem-se uma premissa necessária.

Contudo, o sistema construtivo que utiliza a protensão vem ganhando relevância em relação aos demais métodos, já que o mesmo emprega agilidade e resistência distribuída ao longo de suas cordoalhas. Fato este constatado através do número crescente de obras que empregam a técnica. Pois o consumo aparente de aço bruto no Brasil atingiu 25,1 milhões de toneladas, mantendo-se praticamente estável em relação ao ano anterior. (ARCELORMITTAL, 2012).

A protensão pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação de diversas solicitações (PFEIL, 1980).

Este método que emprega a protensão em uma estrutura, por sua vez, comprime o concreto, tornando-o menos permeável, sendo desta forma uma grande contribuição para o mesmo, levando em consideração que o concreto resiste 10 vezes mais à compressão do que à tração.

Com a protensão, todo o concreto da seção trabalha e as cargas se equilibram. (CAUDURO, 2012).

Este processo certamente está em uma das melhorias que a engenharia estrutural pode oferecer. É notório seu efeito sobre uma estrutura, garantindo a esta maior qualidade, leveza estrutural, maior liberdade arquitetônica, obtenção de grandes vãos, ambientes amplos e a possibilidade da redução de pilares, o que torna o método ainda mais atraente aos olhos do consumidor. Entre os benefícios que a protensão pode oferecer, podemos citar a diminuição de fissuras, reduzindo o uso do aço CA através da diminuição de suas flechas e o aumento dos vãos de uma estrutura, reduzindo até o uso do concreto como material empregado.

Este sistema pode resultar uma baixa necessidade de manutenção ao longo de sua vida útil, agregando vantagens no setor da construção civil, explicando o seu emprego mundialmente, de acordo com a Empresa Rudloff Industrial Ltda, 1960. Tornando desta maneira, viável a execução de arrojados projetos arquitetônicos de obras de vários portes de diversas formas, trazendo inclusive, a facilidade de criação de projetos de grande beleza e valor arquitetônico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO OU FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCRETO ARMADO

2.1.1 História

O concreto armado é um processo construtivo, que teve sua origem na Europa em meados do século XIX. Segundo Fusco (2008), este método consiste na combinação de elementos, que unidos, formam o concreto. Sendo a mistura entre o cimento, água, agregado miúdo como é o caso da areia, agregado graúdo, como a pedra brita, a estes ingredientes inseridos a uma armadura de aço, dá-se o nome de concreto armado.

A união entre as propriedades da resistência à tração do aço, em conjunto com a resistência à compressão do concreto, faz destes, uma perfeita união, pois o concreto apresenta uma resistência à tração muito baixa, sendo esta cerca de 8 a 12 vezes menor do que sua resistência à compressão. O concreto por sua vez, protege o aço que sofre com a ação do tempo. Porém, segundo o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Distrito Federal, dados de 2013, para um bom desempenho do concreto armado, não basta apenas combiná-los, é preciso que exista aderência entre eles, ou seja, o trabalho de resistir às tensões tem que ser realizado de maneira conjunta.

Inicialmente o concreto armado era empregado apenas em embarcações e tubulações hidráulicas, a partir do final do século XIX o concreto armado passou a ser utilizado inclusive nas edificações. Junto com o aço e o vidro, ele constitui o repertório dos chamados “novos materiais” da arquitetura moderna, Benevolo (1976), que são produzidos em escala industrial e viabilizam arranha-céus, pontes, silos, estações ferroviárias ou, em suma, os quais caracterizam os novos objetos arquitetônicos ilustrados no mundo modernizado constituinte do século XX.

No Brasil, a modernização aliada à tecnologia do concreto armado foi muito difundida, sendo este um material estrutural que contém traços de uma hegemonia em diversas construções sendo elas de cunho formal, ou informal.

Para a NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas em Concreto: Entende-se por concreto armado aqueles elementos cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização desta aderência.

2.2 COMPOSTOS

2.2.1 Agregados

Os materiais granulares amplamente utilizados na construção civil recebem o nome de agregados, estes, não possuem forma ou volume definido, os quais possuem diferentes dimensões e propriedades estabelecidas para o uso em obras de engenharia civil, entre os tipos de agregados mais utilizados, pode-se citar a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escória de aciaria, produtos industriais, entre tantos outros.

Os agregados podem ser divididos entre naturais e artificiais. Os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza, que podem ser encontrados na forma de areia, cascalho ou pedregulho e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escória de alto-forno e argilas expandidas, entre outros.

Segundo a Norma Brasileira NBR 7211, os agregados devem ser compostos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, estes por sua vez, não devem conter substâncias de natureza, que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra corrosão, a durabilidade ou, o aspecto visual do concreto externo.

Com relação ao tamanho dos grãos, os agregados podem ser divididos em graúdos e miúdos, conforme descrito a seguir:

- Agregados graúdos

De acordo com a NBR 7211 (2009), o conceito de agregado graúdo é caracterizado através dos grãos que passam pela peneira com abertura de malha 75 milímetros e que ficam retidos na peneira com abertura da malha de 4,75 milímetros, porém, estes limites seguem estabelecidos conforme demonstrado na Tabela 01, onde o ensaio foi realizado de acordo com o Normativo Brasileiro NBR NM 248, tendo levado em consideração as peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Tabela 01 – Limites de composição granulométrica do agregado graúdo

| Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1) | Porcentagem, em massa, retida acumulada | | | | |
|---|---|-----------------------------------|----------------------|----------|----------|
| | Zona granulométrica d/D ^a | | | | |
| | 4,75/12,5 | 9,5/25 | 19/31,5 | 25/50 | 37,5/75 |
| 75 mm | - | - | - | - | 0 – 5 |
| 63 mm | - | - | - | - | 5 – 30 |
| 50 mm | - | - | - | 0 – 5 | 75 – 100 |
| 37,5 mm | - | - | - | 5 – 30 | 90 – 100 |
| 31,5 mm | - | - | 0 – 5 | 75 – 100 | 95 – 100 |
| 25 mm | - | 0 – 5 | 5 – 25 ^b | 87 – 100 | - |
| 19 mm | - | 2 – 15 ^b | 65 ^b - 95 | 95 – 100 | - |
| 12,5 mm | 0 – 5 | 40 ^b - 65 ^b | 92 – 100 | - | - |
| 9,5 mm | 2 - 15 ^b | 80 ^b – 100 | 95 – 100 | - | - |
| 6,3 mm | 40 ^b – 65 ^b | 92 – 100 | - | - | - |
| 4,75 mm | 80 ^b – 100 | 95 – 100 | - | - | - |
| 2,36 mm | 95 - 100 | - | - | - | - |

^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.
^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: NBR 7211 (2009), Agregados para concreto – Especificação.

- Agregados miúdos

De acordo com a NBR 7211 (2009), os agregados miúdos são caracterizados por grãos que passam pela peneira que possui uma abertura de 4,75 milímetros, obedecendo os limites definidos de acordo com a Tabela 02, mostrada a seguir:

Tabela 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

| Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1) | Porcentagem, em massa, retida acumulada | | | |
|---|---|------------|--------------------|-----------------|
| | Limites inferiores | | Limites superiores | |
| | Zona utilizável | Zona ótima | Zona ótima | Zona utilizável |
| 9,5 mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,3 mm | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 4,75 mm | 0 | 0 | 5 | 10 |
| 2,36 mm | 0 | 10 | 20 | 25 |
| 1,18 mm | 5 | 20 | 30 | 50 |
| 600 µm | 15 | 35 | 55 | 70 |
| 300 µm | 50 | 65 | 85 | 95 |
| 150 µm | 85 | 90 | 95 | 100 |

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211 (2009), Agregados para concreto – Especificação.

2.2.2 Aglomerantes

Os aglomerantes são materiais ligantes, encontrados em sua maioria de forma pulverulenta, promovendo a união entre os grãos dos agregados. Os aglomerantes são utilizados na obtenção de pastas, argamassas e concretos.

De acordo com NBR 7211 (2009), os aglomerantes são produtos empregados na construção civil, para fixar ou aglomerar materiais entre si.

Em relação à sua classificação, pode-se dizer que os aglomerantes são classificados quimicamente como inertes ou ativos. Os aglomerantes ativos, por sua vez, são subdivididos em aéreos ou hidráulicos. Paralelamente, existem também os aglomerantes betuminosos.

2.2.3 Aditivos

Segundo Montoya *at al.* (2001), são chamados de aditivos os produtos que são incorporados ao concreto em seu estado fresco, com o objetivo de melhorar as suas características, o que torna mais fácil o processo de inserir o mesmo em obra, regulando seu processo de definição e de endurecimento, aumentando sua durabilidade.

Estão disponíveis no mercado, aditivos que, possuem o nome de aceleradores, retardadores, plastificantes, impermeabilizantes entre tantos outros. Estes colocam a disposição dos técnicos um meio útil para a confecção de concreto, os quais assumem as mais variadas características. Porém, se faz necessária sua correta dosagem, pois em geral, o mesmo assume um valor inferior de 5 por cento do peso do cimento, requerendo um cuidado especial que, quando não dosado de maneira correta, pode interferir na forma do concreto de forma indesejável, por vezes oposta ao que se pretendia inicialmente com o aditivo. Recomenda-se que para seu uso, sejam levados em consideração os produtos garantidos por seus fabricantes, seguindo sua correta indicação para uso.

2.3 CONCRETO PROTENDIDO

2.3.1 História

De acordo com Kléos e Veríssimo (1998), o método que possibilitava reforçar os elementos de concreto através da introdução das armaduras de aço ficaram conhecidos mundialmente em meados do século XIX, ocorrendo inclusive, a tentativa de se pré-tensionar o concreto, o qual no ano de 1886 foi realizado pelo americano P. H. Jackson, porém, ao findar do século XIX as vertentes do concreto protendido ainda não haviam encontrado êxito. Sendo a protensão considerada perdida, devido à fluência e a retração do concreto, as quais, naquele período eram desconhecidas. Com o passar do tempo, Koenen e Morsch também instituíram técnicas a fim de que conseguissem provar o método da protensão que, infelizmente, após inúmeros experimentos, haviam sido perdidas também, devido à retração e deformação lenta do concreto, porém, devido às especulações a cerca do assunto, vieram a consagrar os conceitos de Morsch mundialmente conhecidos com os fundamentos do concreto armado, sendo os seus conhecimentos ainda válidos nos dias atuais. Passado este período, foi em 1919 que K. Wettstein utilizou cordas de alta resistência que posteriormente seriam protendidas a fim de que fossem utilizadas em painéis de concreto, sendo apenas no ano de 1923 descoberta a necessidade de se utilizarem fios de alta resistência sob elevadas tensões a fim de que as tensões pudessem ser superadas.

Em 1924, a protensão foi utilizada, reduzindo o alongamento de tirantes em galpões que venciam longos vãos, sendo Eugene Freyssinet seu precursor, o qual realizou em 1928 uma apresentação do primeiro trabalho, este, posteriormente ficaria reconhecido com uma grande importância em relação à protensão da armadura nas construções civis. O trabalho de Freyssinet era voltado para as perdas por retração e deformação que a protensão poderia produzir, sendo a retração pela deformação do concreto também um alvo de seus estudos. Freyssinet ficou então, mundialmente conhecido com suas criações acerca do assunto, tornando-se um grande contribuinte para a história do concreto protendido, que por sua vez, obteve maiores recursos e um expressivo desenvolvimento.

No que se refere aos conceitos para a protensão, Pfeil (1984), nos mostra que esta pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sobre ação de diversas solicitações de carga.

De acordo com a Norma Brasileira NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas de Concreto: os elementos de concreto protendido são aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão, com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura, bem como propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado-limite último.

2.4 PROTENSÃO APLICADA AO CONCRETO

Segundo Veríssimo e Kléos (1998), o concreto possui resistência à compressão muitas vezes superior do que a sua tração, por este motivo algumas medidas são necessárias e devem ser tomadas a fim de que ocorra o controle de sua fissuração. Levando isto em consideração, percebemos que a protensão pode ser empregada como um meio de se criar tensões de compressão prévias em partes onde o concreto seria tracionado em função das ações que porventura venham a agir na estrutura. A protensão também vem com um potencial de solidarização entre partes menores que venham a ser de concreto armado e que posteriormente venham a fazer parte de um sistema estrutural composto. Pois segundo Mehta, P. K. (1994), o concreto armado contém as barras de aço, projetadas levando em consideração que os dois materiais resistam juntos aos esforços, enquanto que o concreto protendido é um concreto no qual, pela tração nos cabos de aço, são introduzidas pré-tensões de tal grandeza e distribuição, que as tensões de tração resultantes do carregamento são neutralizadas a um nível desejado. Sendo que uma grande parte do concreto se encontra aplicado em elementos do concreto protendido ou armado.

Para que este processo ocorra, se faz necessário a utilização de um sistema que utiliza a protensão como meio de introduzir uma cordoalha de aço em um elemento estrutural, a qual produza uma força, denominada de normal, necessária bem como nas extremidades deste elemento, os quais serão ancorados.

O conceito de se aplicar esta força normal nas peças permite a construção de grandes estruturas, um exemplo destas, seriam as grandes obras de arte como pontes e viadutos, as quais possuem grandes vãos, fazendo com que, embora seu conceito seja simples, sua execução é bastante criteriosa, fazendo com que os projetos necessitem de uma boa elaboração, pois a partir destes, tornam-se possíveis seu adequado desenvolvimento.

2.5 IMPORTANCIA DA PROTENSÃO APLICADA AO CONCRETO

De acordo com Walter Pfeil (1980), o artifício de protensão tem uma importância particular no caso do concreto, pelas seguintes razões:

O concreto é um dos materiais de construção mais importantes. Os ingredientes necessários à confecção do concreto (cimento, areia, pedra e água) são disponíveis a baixo custo em todas as regiões habitadas da terra.

O concreto tem boa resistência à compressão. Resistências da ordem de 200 Kgf/cm² (20MPa) a 500 Kgf/cm² (50MPa) são utilizadas nas obras.

O concreto tem pequena resistência à tração, da ordem de 10% de resistência à compressão. Além de pequena, a resistência à tração do concreto é pouco confiável. De fato, quando o concreto não é bem executado, a retração do mesmo pode provocar fissuras, que eliminam a resistência à tração do concreto, antes mesmo de atuar qualquer solicitação. Devido a essa natureza aleatória da resistência a tração do concreto, ela é geralmente desprezada nos cálculos.

Sendo o concreto um material de propriedades tão diferentes à compressão e à tração, o seu comportamento pode ser melhorado aplicando-se compressão prévia (isto é, protensão) nas regiões onde as solicitações produzem tensões de tração.

A utilização de aços de elevada resistência, como armaduras de concreto armado, fica limitada pela fissuração do concreto. Na prática, como os diferentes tipos de aço têm aproximadamente o mesmo módulo de elasticidade, o emprego de aços com tensões de tração elevadas implica em um grande alongamento dos mesmos, o que, por sua vez, ocasiona fissuras muito abertas. A abertura exagerada das fissuras reduz a proteção das armaduras contra corrosão, e é indesejável esteticamente.

A protensão do concreto é realizada, na prática, por meio de cabos de aço de alta resistência, denominado de armadura ativa, tracionados e ancorados no próprio concreto. O artifício da protensão desloca a faixa de trabalho do concreto para o âmbito das compressões, onde o material é mais eficiente. Com a protensão, aplicam-se tensões de compressão nas partes da seção tracionadas pelas solicitações dos carregamentos. Desse modo, pela manipulação das tensões internas, pode-se obter a contribuição da área total da seção da viga para a inércia da mesma.

Sob a ação de cargas, uma viga protendida sofre flexão, alterando-se as tensões de compressão aplicadas previamente. Quando a carga é retirada, a viga volta à sua posição original e as tensões prévias são restabelecidas.

Se as tensões de tração provocadas pelas cargas forem inferiores às tensões prévias de compressão, a seção continuará comprimida, não sofrendo fissuração.

Sob a ação de cargas mais elevadas, as tensões de tração ultrapassam as tensões prévias, de modo que o concreto fica tracionado e fissura. Retirando-se a carga, a protensão provoca o fechamento das fissuras (PFEIL, 1980).

2.6 QUANTO AO TRACIONAMENTO DA ARMADURA DE PROTENSÃO

De acordo com Pfeil (1983), a protensão do concreto é feita por meio de cabos de aço especial, tipo CP, os quais são tensionados e ancorados em suas extremidades.

Estes cabos de aço, por sua vez, também são chamados de armaduras ativas de protensão, que podem ser pré-tracionados ou pós-tracionados, de acordo com o definido a baixo:

a) Concreto protendido com armadura ativa (de protensão) pré- tracionada

De acordo com Pereira *et al.* (2005), concreto com armadura ativa é aquele em que o tensionamento da armadura ativa é feito através de apoios independentes da peça, antes do lançamento do concreto. Após o endurecimento do concreto a ligação da armadura com estes apoios é desfeita e as tensões na armadura se transmitem ao concreto por aderência.

b) Concreto protendido com armadura ativa (de protensão) pós-tracionada

Ainda para Pereira *et al.* (2005), este consiste em ser um método que o estiramento da armadura ativa é feito após o endurecimento do concreto, através de apoios na própria peça, criando-se ou não aderência da armadura com o concreto.

2.7 QUANTO À FISSURAÇÃO – NÍVEIS DE PROTENSÃO

Um dos objetivos da protensão é o de eliminar ou reduzir as tensões de tração em um elemento estrutural, e por consequência, controlar a fissuração. De acordo com este controle pretendido, obtemos os seguintes níveis de protensão:

a) Concreto protendido nível 3 – Protensão completa ou total

Previsto para protensão com armadura ativa pré-tracionada nas classes de agressividade III e IV. Ocorre quando se verificam as duas condições seguintes:

1) Para as combinações frequentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o limite de descompressão, ou seja, quando atuarem a carga permanente e as sobrecargas frequentes não se admite tração no concreto

2) Para as combinações raras de ações, quando previstas no projeto, é respeitado o estado limite de formação de fissuras. A protensão completa proporciona as melhores condições de proteção das armaduras contra a corrosão, e se aplica nos casos de obras em meios muito agressivos ou situações de fissuração exagerada, tais como tirantes de concreto protendido, reservatórios protendidos para garantia de estanqueidade, vigas formadas por peças pré-moldadas justapostas sem armaduras suplementares, etc. (PEREIRA *et. al.*, 2005).

b) Concreto protendido nível 2 – Protensão limitada

Previsto para protensão com armadura ativa pré-tracionada na classe de agressividade II e pós-tracionada nas classes de agressividade III e IV. Ocorre quando se verificam as duas condições seguintes:

1) Para as combinações quase permanentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o limite de descompressão, ou seja, quando atuarem a carga permanente e parte das sobrecargas não se admite tração no concreto.

2) Para as combinações frequentes de ações, quando previstas no projeto, é respeitado o estado limite de formação de fissuras, ou seja, quando atuarem a carga permanente e as sobrecargas frequentes. A protensão limitada, por admitir tensões moderadas de tração em serviço, exige a colocação de armadura passiva adicional no dimensionamento à ruptura e no controle da fissuração. Esta combinação de armadura ativa e passiva permite soluções equilibradas e mais econômicas, já que o aço de protensão é mais caro que o aço convencional (PEREIRA *et. al.*, 2005).

c) Concreto protendido nível 1 – Protensão parcial

Previsto para protensão com armadura ativa pré-tracionada na classe de agressividade (do concreto) I e pós-tracionada nas classes de agressividade I e II. Ocorre na seguinte condição: Para as combinações frequentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o limite de abertura de fissuras, com abertura não superior a 0,20 mm, ou seja, quando atuarem a carga permanente e as sobrecargas

frequentes. A protensão parcial é similar a protensão limitada, porém admite tensões maiores de tração em serviço e formação de fissuras de maior abertura (não maiores que 0,2 mm). Consome menos aço de protensão porém, como admite fissuração, exige armadura passiva suplementar (PEREIRA *et. al.*,2005).

2.8 QUANTO À ADERÊNCIA - SISTEMAS DE PROTENSÃO

a) Concreto protendido com aderência inicial

De acordo com Veríssimo e Kléos (1998), o concreto com aderência inicial é caracterizado pelo estiramento da armadura de protensão, a qual é realizada utilizando-se de apoios que são independentes da peça, antes mesmo de ocorrer o lançamento do concreto, sendo que a ligação da armadura de protensão com os mencionados apoios é logo desfeita após o endurecimento do concreto. Para este caso, a ancoragem no concreto é realizada somente por aderência.

b) Concreto protendido com aderência posterior

Para Veríssimo e Kléos (1998), para este caso, ocorre à aderência posterior a qual é caracterizada pelo tensionamento da armadura de protensão apenas após o endurecimento do concreto, utilizando-se de apoios provenientes da própria peça, criando desta maneira, uma aderência posterior com o concreto definitivo.

c) Concreto protendido sem aderência posterior

Ainda segundo Veríssimo e Kléos (1998), o concreto protendido sem aderência posterior é aquele obtido como no caso citado anteriormente, porém acontece que, após o estiramento da armadura de protensão, não é criada a aderência com o concreto.

A partir destas possibilidades, podemos determinar a solução mais adequada para cada tipo de obra:

- **ARMADURA ATIVA PRÉ-TRACIONADA**

Estruturas em peças pré-moldadas, normalmente com protensão parcial.

- ARMADURA ATIVA PÓS-TRACIONADA

a) Com aderência posterior

Estruturas especiais moldadas “in-loco” como vigas e/ou lajes, normalmente com protensão parcial, com grandes vãos e carregamentos elevados: pontes, viadutos, barragens, silos, pistas de aeroporto, pisos industriais pesados, etc. (PEREIRA *et. al.*, 2005).

b) Sem aderência posterior

Estruturas leves moldadas “in-loco” como vigas e/ou lajes, normalmente com protensão parcial, com vãos máximos da ordem de 10,00 m, com carregamentos leves a moderados: edifícios residenciais e comerciais, pisos industriais, fundação direta tipo *radier* de edifícios populares, etc. (PEREIRA *et. al.*, 2005).

2.9 CUIDADOS COM ELEMENTOS PROTENDIDOS

É importante salientar que após a concretagem do elemento estrutural protendido, este se assemelha muito com um elemento de estrutura convencional, porém não se comporta como tal e carece de alguns cuidados especiais. É fundamental que os funcionários da obra estejam familiarizados com estes aspectos para que atitudes geralmente comuns na obra, tais como furações em elementos feitos após a concretagem, devido a erros cometidos nas instalações ou concretagens, não acarretem patologias na obra. Um dos pontos fundamentais para se obter uma estrutura protendida de qualidade é o cuidado tomado com a concretagem do elemento estrutural. Inicia-se com a escolha do traço a ser adotado, que deve ser suficientemente plástico, atendendo as especificações de projeto estrutural. Também deve ser prevista alta resistência inicial a compressão. O processo de recebimento é o mesmo adotado para estruturas convencionais, porém os resultados dos ensaios de compressão nos corpos-de-prova devem ser enviados para obra com resultados aos 3 ou 4 dias, resultados estes que irão determinar se é possível tracionar os cabos. A responsabilidade pela liberação do tensionamento dos cabos é do projetista estrutural, que deve informar qual a resistência mínima do concreto necessária para resistir aos esforços transmitidos pela protensão aplicada. Quando do lançamento do concreto na forma, é imprescindível a supervisão da empresa contratada para execução da protensão, garantindo a integridade dos cabos, ancoragens, apoios, etc..

Também é importante que o processo de adensamento do concreto seja criterioso, para que a massa adquira homogeneidade e não haja descontinuidades no elemento. Próximo às ancoragens o adensamento deve ser ainda mais apurado, devido ao acúmulo de reforços de aço, formas plásticas e apoios, para evitar falhas de concretagem que possam dificultar ou até impedir o posterior tensionamento dos cabos. O processo de cura do elemento estrutural pode ser adotado seguindo as mesmas orientações da estrutura convencional em concreto armado. Um dos cuidados básicos na obra diz respeito à distribuição de cargas na laje (cimento, tijolos, argamassas, azulejos, chapas de *Drywall*, etc.). No caso de estruturas protendidas a recomendação é estocar os materiais na proximidade dos pilares, onde há o maior acúmulo de armaduras. Também o comportamento da estrutura protendida é diferenciado. Em estruturas convencionais, não é raro o aparecimento de flechas nas lajes ou vigas, ocasionadas pelo alívio mal feito, função da retirada precoce do escoramento, pelo excesso de carga na laje, etc., inclusive com o aparecimento de fissuras na face inferior do elemento, decorrentes de esforços de tração. Já as estruturas protendidas podem apresentar uma contra flecha, por ocasião da transmissão das cargas de tração dos cabos para a estrutura, que serão compensadas quando da aplicação das cargas permanentes (contrapiso, vedações, acabamentos, etc.) (PEREIRA *et. al.* 2005).

3. METODOLOGIA

Quanto ao tipo do estudo, o mesmo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois abrange estudos elaborados com o objetivo de resolver um problema identificado no âmbito da sociedade em que o pesquisador vive, estando esta voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação em uma situação específica. Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória porque proporciona maior familiaridade com a questão levantada, visando torná-la mais explícita. Com relação à natureza dos dados, a pesquisa é classificada como qualitativa (GIL, 2010).

Este estudo trata-se de uma análise voltada para a revisão bibliográfica, pois o trabalho desenvolve-se através de material já publicado a respeito do tema (MARCONI; LAKATOS, 2010) não se tratando por fim, de uma obra específica para o estudo de caso. Esta revisão bibliográfica terá como intuito a demonstração das linhas de pesquisa, atreladas à utilização que emprega a protensão como método construtivo.

A amostra utilizada foi qualquer edificação aonde a utilização da protensão fosse viável e que permitisse a flexibilização de seu *layout*, aplicadas à execução de lajes para edificações verticais de uso multifamiliar.

A coleta de dados foi realizada através das revisões bibliográficas encontradas mediante estudo prévio em literaturas relacionadas ao tema e em empresas que atuam no seguimento, bem como catálogos contendo informações técnicas a cerca do assunto, destacando suas propriedades e as qualidades interligadas ao uso da protensão como uma tecnologia proveniente da modernização na construção civil.

A organização deste trabalho foi realizada através de um estudo de caso, o qual se utilizou de uma caracterização abrangente para designar uma diversidade de pesquisas que coletam e registram dados de um caso particular ou de vários casos a fim de organizar um relatório ordenado e crítico de uma experiência, ou avalia-la analiticamente, objetivando tomar decisões a seu respeito ou propor uma ação transformadora. (CHIZZOTTI, 1995, p. 102).

Os dados foram levantados e analisados mediante a tendência mercadológica atual. Esta por sua vez, tende a ser altamente competitiva frente aos resultados inerentes à construção civil. Os dados analisados foram voltados para a área estética da construção, tendo como objetivo principal o estudo de espaços físicos gerados por uma laje protendida, levando em consideração a cultura regional, os quais serão discutidos no item a seguir.

3.1 LAJES PROTENDIDAS

3.1.1 Definição

De acordo com o Portal da Educação (2013), as lajes são os elementos planos que se destinam a receber a maior parte das ações aplicadas em uma construção, como de pessoas, móveis, pisos, paredes, e os mais variados tipos de carga que podem existir em função da finalidade arquitetônica do espaço físico que a laje faz parte.

Ainda sobre o tema, para a NBR 6118/2014, são classificadas como lajes elementos de superfície, onde a dimensão chamada de espessura é relativamente pequena em face da largura e comprimento. Novamente sobre o tema citado de acordo com o normativo, as placas que possuem espessura maior do que $L/3$ do vão devem ser calculadas como placas espessas.

3.2 Concepção do Projeto Estrutural

É de grande importância que o projeto de estrutura em concreto protendido de lajes para edificações verticais deva atender às solicitações das Normas Brasileiras existentes, principalmente a NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.

De acordo com Esteche (2008), a determinação do tipo estrutural a ser adotado depende de vários fatores, que devem ser estudados em conjunto com o projetista arquitetônico e o construtor da obra. O arquiteto ou engenheiro precisa levar em conta determinadas características das estruturas protendidas e tirar partido arquitetônico disto, tanto no aspecto estético como no aspecto prático de execução da obra.

Porém, de acordo com alguns projetistas e construtores do meio, alguns itens merecem estudo mais detalhado, tais como:

I) Modulação de pilares: As lajes de concreto protendido têm eficiência estrutural melhorada se os pilares puderem obedecer uma distribuição modulada, com pilares alinhados em duas direções ortogonais.

II) Vãos das lajes: Como as lajes protendidas são mais econômicas para vãos superiores a 7,00 metros, convém trabalhar com vãos estruturais em torno deste valor (de 6,00 a 8,00 m).

III) Dimensões mínimas de pilares: Os pilares que suportam lajes protendidas, sem vigas, devem ter dimensão mínima de 30 centímetros, e isto deve ser levado em conta no projeto arquitetônico. Se o edifício for alto, a estabilidade global deve ser garantida com paredes estruturais (caixas de elevadores e de escada).

IV) Balanços e vãos extremos: Sempre que possível, deve-se evitar o lançamento de pilares em bordos de lajes, prevendo-se balanços além do pilar mais extremo, mesmo que pequenos. Os vãos extremos, se possível, devem ter comprimento menor que os vãos seguintes internos, de maneira a se manter os valores de momentos fletores dentro de uma mesma ordem de valores. Deve se evitar vãos isostáticos, onde a eficiência dos cabos de protensão cai muito, devido à falta de excentricidade geométrica na disposição dos cabos.

3.3 Esquemas Estruturais

Segundo Emerick (2002), os principais tipos de lajes adotados para lajes protendidas são as lajes lisas e as lajes nervuradas. As lajes lisas apresentam vantagens em relação às demais lajes, porém podem necessitar de reforços nos apoios devido ao puncionamento. O qual pode ser melhorado com o uso do engrossamento da laje na região de seus pilares ou ainda com o uso de vigas faixas protendidas.

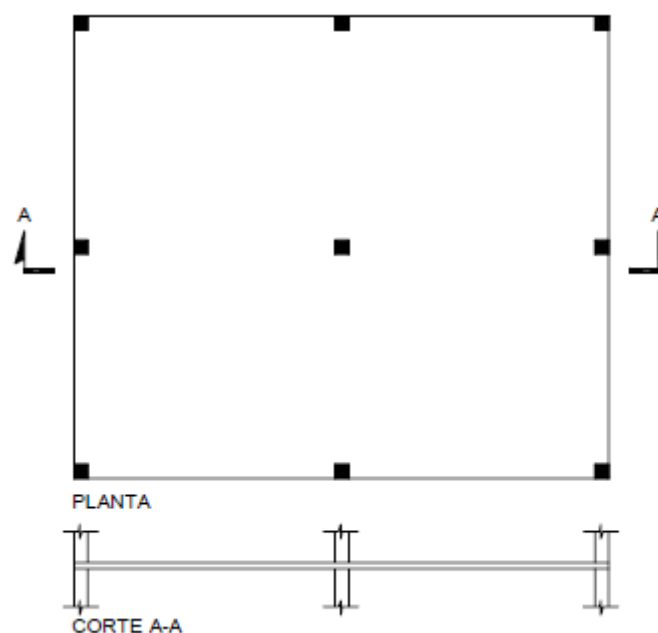


Figura 01 – Laje Lisa
Fonte: Esteche, 2008.

Visando obter tetos sem a presença de elementos enrijecedores nas lajes, tem-se a solução estrutural de lajes maciças protendidas, sem vigas, também chamada de lajes lisas protendidas. Onde a placa é apoiada diretamente sobre os pilares. Este tipo de solução está sendo muito utilizado atualmente, principalmente em edificações residências e comerciais. O vão máximo obtido com este sistema é da ordem de 12 metros, para vãos maiores a laje torna-se demasiadamente espessa, inviabilizando o seu uso. (Esteche, 2008).

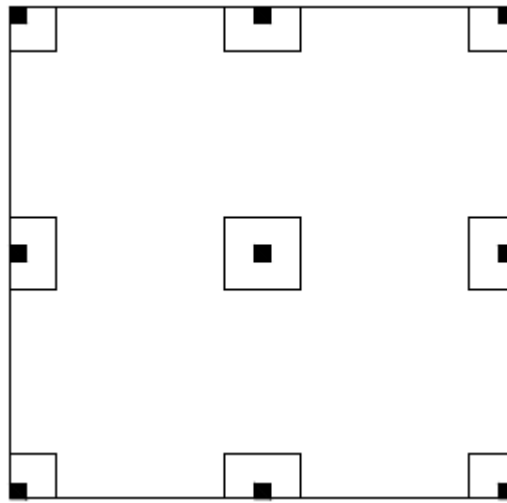


Figura 02 – Laje Lisa com Engrossamento na Região dos Pilares
Fonte: Esteche, 2008.

As lajes maciças sem vigas também sofrem o efeito do puncionamento junto aos pilares, ou seja, forças cortantes elevadas nos apoios que tentam furar o pano de laje; dessa maneira, outra solução viável para esse sistema é criar um enrijecimento junto aos pilares, por meio de um engrossamento da laje (ábaco) ou um engrossamento do pilar (capitel, que pode ser em tronco de pirâmide ou de cone). Este sistema é também denominado de laje cogumelo protendida e, com esse sistema, pode-se diminuir a espessura da placa fora da região do pilar, tornando-se viável para vãos até 14 metros.

Para lajes com carregamentos menores que 5 kN/m^2 e vãos até 12 metros, pode-se optar pelo esquema de vigas faixa numa única direção. Para lajes com carregamento superior a 5 kN/m^2 torna-se necessário a utilização de vigas-faixa em ambas direções podendo aumentar os vãos até 14 metros.

Nas lajes nervuradas com engrossamento na região dos pilares ou com vigas-faixa, pode-se estimar carregamentos acima de 5 kN/m^2 , limitando seu vão a 12 metros.

Segundo recomendações do meio técnico brasileiro as lajes lisas sem vigas têm a espessura pré-dimensionada da seguinte maneira: $h = L/30$ a $L/40$, sendo “h” a altura da laje maciça e “L” a distância entre os pilares, em centímetros. As lajes cogumelo (com engrossamentos junto aos pilares) podem ter a sua espessura pré-dimensionada entre $L/34$ a $L/44$.

Outra possibilidade de aplicação da laje protendida moldada "in loco" é a criação de vigas faixa ligando os pilares, em uma ou duas direções. Esse recurso possibilita que, fora das faixas, a laje possa ter espessura menor que aquela obtida com uma laje de espessura constante. Podem ter

vãos máximos da ordem de 13 metros, e têm uma estimativa para sua espessura de $L/35$ a $L/45$. As faixas maciças têm sua espessura pré-estimada de $L/18$ a $L/25$. (ESTEACHE, 2008).

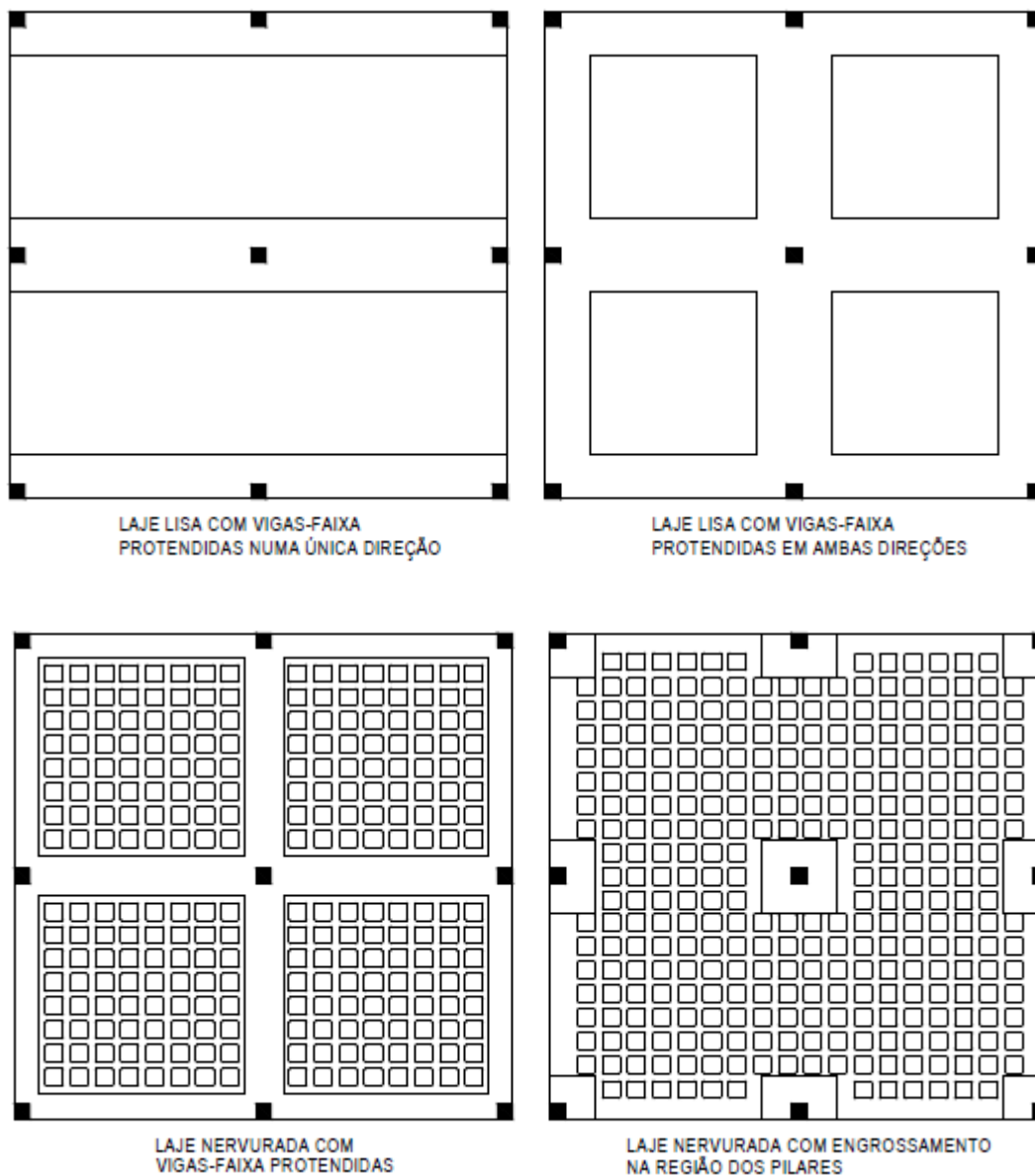


Figura 03 – Esquemas Estruturais para Lajes Protendidas
Fonte: Esteche, 2008.

3.4 Vantagens do concreto protendido

Frente à crescente utilização das monocordoalhas engraxadas (protensão não aderente) em lajes protendidas nas mais diversas obras tanto no Brasil quanto ao redor do mundo, são explicadas algumas vantagens que o sistema traz em relação às estruturas em concreto armado convencional.

Ainda sobre o assunto, segundo a empresa Concrefato (2006), o concreto protendido apresenta benefícios se atrelados a uma correta execução, Entre estes podemos citar:

- a) Redução das tensões de tração provocadas pela flexão e pelos esforços cortantes.
- b) Reduz a incidência de fissuras.
- c) Reduz as quantidades necessárias de concreto e aço, devido ao emprego eficiente de materiais de maior resistência.
- d) Permite vencer vãos maiores que o concreto armado convencional; para o mesmo vão, permite reduzir a altura necessária da viga.
- e) Facilita o emprego generalizado de pré-moldagem, uma vez que a protensão elimina a fissuração durante o transporte das peças.
- f) Aumento da vida útil da estrutura.

Durante a operação da protensão, o concreto e o aço são submetidos a tensões em geral superiores às que poderão ocorrer na laje sujeita às cargas de serviço. A operação de protensão constitui, neste caso, uma espécie de prova de carga para esta laje. Garantindo, desta maneira, que as tensões aplicadas na mesma serão suportadas por esta estrutura.

3.5 Problemas com armaduras ativas e desvantagens do concreto protendido

a) Corrosão do aço de protensão. Como nos aços de concreto armado as armaduras de protensão também sofrem com a corrosão eletrolítica. No entanto nas armaduras protendidas apresentam outro tipo de corrosão, denominado corrosão sob tensão (*stress-corrosion*) fragilizando a seção da armadura, além de propiciar a ruptura frágil. Por este motivo à armadura protendida deve ser muito protegida.

b) Perdas de protensão. São todas as perdas verificadas nos esforços aplicados nos cabos de protensão (Hideki Ishitani Ricardo Leopoldo e Silva França, 2002).

c) Custo elevado para pequenos vãos (PEREIRA *et. al.*, 2005).

d) Não apropriada para estruturas que exijam massa de concreto (PEREIRA *et. al.*, 2005).

e) Maiores cuidados de projeto e em sua na execução (PEREIRA *et. al.*, 2005).

3.6 Sentido econômico do concreto protendido

De acordo com a empresa Concrefato (2006), as resistências de concreto, utilizadas para o concreto protendido, são duas a três vezes maiores que as utilizadas em concreto armado. Os aços utilizados nos cabos de protensão têm resistência três a cinco vezes superiores às dos aços usuais de concreto armado. Sendo de grande valia o sentido econômico do concreto protendido já que o mesmo consiste no fato de que os aumentos percentuais de preços são muito inferiores aos acréscimos de resistência utilizáveis, tanto para o concreto como para o aço de protensão.

4. ANÁLISES E DISCUSSÕES

Este trabalho teve como objetivo demonstrar a importância do concreto protendido para a construção civil, que almeja flexibilizar o *layout* para o mercado consumidor, atendendo desta maneira, o público que tenha o intuito de maior flexibilidade interna de um imóvel, inclusive pensando nos maiores espaços que podem ser gerados para as garagens, advindos do uso da protensão.

Demonstrou-se desta maneira, a relevância do emprego do sistema protensão frente aos métodos utilizados convencionalmente no mercado hoje em dia, como é o caso do concreto armado.

Desejou-se também, mostrar que há de fato benefícios atrelados à sua utilização, em conjunto com a verificação da tendência mercadológica voltada para este meio. Os benefícios aqui mencionados, disseram respeito à parte de *layout* interno, as quais envolvem a estrutura de uma edificação.

Nas Figuras a seguir inseridas, consegue-se notar o uso prático da protensão juntamente com o concreto armado. Porém, observa-se a diminuição dos pilares e dos maiores vãos gerados para esta estrutura, que anteriormente haviam sido demonstrados a partir de referencial bibliográfico.



Figura 04 e 05 – Interior de uma edificação que utiliza-se da protensão e do Concreto Armado

Fonte: Autora, 2016.

Demonstra-se também a eficácia estrutural deste método, haja vista o ganho proporcionado ao ambiente, bem como o benefício atrelado ao desuso das vigas, eliminando prazo, material e mão de obra de aplicação das formas dentre o processo de sua execução, entre compartimentos dos ambientes, possuindo desta maneira uma grande flexibilização de *layout*, que neste caso, propôs-se ao cliente, uma obra em *Drywall*, o que de certa maneira proporcionou ao comprador, uma variabilidade e uma maleabilidade em caso de modificação de sua estrutura interna. Desta maneira, observou-se que a protensão viabilizou o conforto arquitetônico bem como uma ampla variedade de possibilidades para disposição dos ambientes internos à edificação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em decorrência ao estudo mencionado a cima, pode-se concluir que a protensão é de grande valia para o mercado da construção civil, tendo em vista seu emprego mundialmente aceito.

Comprovou-se através das revisões bibliográficas que o método apresenta benefícios se atrelados a uma adequada execução, destaca-se ainda, seu uso para residências e ambientes corporativos, os quais almejam uma flexibilização de seu *layout* interno, bem como uma diminuição dos pilares existentes em garagens e internamente aos ambientes.

Observou-se ainda que, devido à redução de pilares que pode existir devido ao dimensionamento de uma estrutura protendida, que esta, possuirá a possibilidade de uma maior personalização interna dos ambientes, pois de certa maneira, os usuários de uma edificação protendida, podem experimentar diversas formas de layout arquitetônico para o interior de suas

residências. Considera-se ainda, que, a partir do estado de compressão sofrido pela laje no momento de sua protensão, que a mesma venha a apresentar uma significativa diminuição quanto à sua fissuração. Destaca-se também a viabilidade de maiores vãos entre pilares, os quais em menor quantidade geram uma melhor adaptabilidade do projeto arquitetônico bem como uma melhor disponibilidade de vagas de garagem, entretanto, nota-se que, mesmo ocorrendo uma diminuição de pilares, não necessariamente haverá uma diminuição linear das fundações, uma vez que as mesmas estarão mais carregadas. Tornando-se um método atrativo para os investidores de uma edificação que pretendam empreender com agilidade enquanto na fase de execução, bem como uma maior oferta de possibilidades na hora de atender seus clientes. Possibilitando desta maneira, uma vasta gama de atrativos frente ao mercado construtor, que pretenda atrair seus clientes visando um método de maior agilidade para execução bem como de grande eficiência arquitetônica e desta maneira, ofertando um maior ganho da personalização interna ofertada a seus consumidores.

Levando em consideração que a construção civil encontra-se cada vez mais competitiva, há uma tendência mercadológica voltada para a implementação de novas tecnologias no mercado, onde torna-se de grande importância a rapidez, a personalização do produto, o conforto do usuário e o ganho de área útil de uma edificação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro 2003.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas em Concreto. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

CAUDURO, EUGÊNIO. A execução de estruturas de concreto protendido com cordoalhas engraxadas exige cuidados do recebimento do material no canteiro até a inspeção pós-carga (Artigo para internet). **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 185 – Junho 2012.

CHIZZOTTI, Antonio. **Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1995.

CONCREFATO (2006) http://www.concrefato.com.br/lajes_protendidas.htm, com acesso em Agosto de 2016.

FUSCO, P.B. (2008). Estruturas de Concreto: solicitações tangenciais. Pini, São Paulo.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HANAI, João Bento - **Fundamentos do Concreto Protendido** - E-Book de apoio para o curso de engenharia civil - Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia Civil de São Carlos, 2005.

Hideki Ishitani Ricardo Leopoldo e Silva França, 2002. **Concreto Protendido, Fundamentos Iniciais**. Escola Politécnica – USP (Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações).

LACROIX, Roger; FUENTÈS, Albert - Hormigón Pretensado: concepción, cálculo, ejecución; traducción al español Amalio Jaime Rivas Zaragüeta. Editores Técnicos Asociados, dA, Maigón, 26 - Barcelona - España, 1978.

LEONHARDT, Fritz - Construção de Concreto. Volume 5. Concreto Protendido; tradução João Luis Escosteguy Merino. Rio de Janeiro - Ed. Interciência, 1983.

LEONHARDT, Fritz - Hormigón Pretensado; traducción de la segunda edición alemana por Alberto Corral - Artes Gráfica MAG, SL - Burgos - Madrid, 1967.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 7. Ed São Paulo: Atlas, 2010.

MONTOYA, PEDRO JIMÉNEZ; MESEGUER, ÁLVARO GARCÍA; CABRÉ, FRANCISCO MORÁN. **Hormigón Armado**. 14. ed. 2ª tirada, Barcelona – Espanha: TECFOTO, 2001.

Pereira, Carvalho, Lacerda, Alves e Cunha (2005) CONCRETO PROTENDIDO E LAJES PROTENDIDAS COM MONOCORDOALHAS ENGRAXADAS NOÇÕES GERAIS SOLUÇÃO ESTRUTURAL E CORRETA EXECUÇÃO.

PFEIL, Walter – **Concreto Protendido**, Livros Técnicos e Científicos editora Ltda, 1980.

PFEIL, Walter - Concreto Protendido: Processos construtivos, perdas de protensão. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983.

Relatório Anual de Administração, ArcelorMittal, 2012.

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza e KLÉOS M. LENZ César Jr - Concreto Protendido - Fundamentos Básicos. Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Engenharia Civil, 4a edição nov/1998.

Walter Pfeil, **Concreto Protendido** – vol 01, Livros Técnicos e científicos editora Ltda (1980).