

# ELABORAÇÃO, CONFEÇÃO E ANÁLISE DE CONCRETO COM RESISTÊNCIA À FLEXÃO, PARA PAVIMENTOS PROTENDIDOS DE PORTOS E AEROPORTOS

*Mateus Isaias Dantas de Melo<sup>1</sup>*

*Fábio Sergio da Costa Pereira<sup>2</sup>*

## RESUMO

Os pavimentos de portos e aeroportos estão sujeitos a tipos de cargas que variam em geometria e magnitude, conforme a sua finalidade. Os tipos de pavimentos executados em portos e aeroportos são: concreto simples, concreto armado, blocos intertravados de concreto e pedra natural. O objetivo deste trabalho foi confeccionar um traço e estudar o uso alternativo do concreto protendido para pavimentos portuários e aeroportuários, demonstrando a viabilidade. O uso da protensão é realidade para pisos industriais e de aeroportos, pois possibilita espessuras de concreto reduzidas, poucas juntas, prolongando a vida útil do pavimento. São estudadas variações de parâmetros como: espessura de concreto, resistência característica do concreto à flexão, cargas de protensão e dos veículos e propriedades da sub-base, pois a capacidade de carga do pavimento está diretamente ligada a eles. A metodologia adotada foi: elaboração de traço para pavimentos protendidos, ensaios de flexão para comprovar a eficiência em relação à NBR 12142/2010, confecção de um protótipo do pavimento protendido, mostrando que a sua configuração produz uma altura da camada de concreto menor do que as outras aplicações, e a análise comparativa de custo do pavimento protendido com o pavimento em concreto armado. Como resultados concluiu-se que o uso do traço de concreto calculado para pavimentos protendidos é viável, apresentando resultados acima dos mínimos exigidos por normas (10% da resistência à compressão), e 4 Mpa para a resistência a flexão, proporcionando um custo inferior de 10%.

**Palavras-chave:** Pavimento. Durabilidade. Resistência à flexão. Concreto protendido.

---

1 Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte: UNI-RN. Email: <mateusdantas123@gmail.com> Endereço para acessar CV: <http://lattes.cnpq.br/1070835080115292>.

2 Docente PHd. do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte: UNI-RN. Email: <engecal.fabio@gmail.com>. Endereço para acessar CV: <http://lattes.cnpq.br/6695109770318583>.

## ELABORATION OF TRACE AND ANALYSIS OF RESISTANCE TO THE FLEXION OF PAVEMENT PROTECTED FOR PORTS AND AIRPORTS

### ABSTRACT

The pavements of ports and airports are subject to types of loads that vary in geometry and magnitude, according to its purpose. The types of pavements executed in ports and airports are: simple concrete, reinforced concrete, interlocking blocks of concrete and natural stone. The objective of this work was to make a trace and to study the alternative use of the prestressed concrete for port and airport floors, demonstrating the feasibility. The use of prestressing is a reality for industrial and airport floors, as it allows reduced concrete thicknesses, few joints, prolonging the pavement life. Variations of parameters such as: concrete thickness, flexural concrete strength, pretension and vehicle loads and sub-base properties are studied, because the load capacity of the pavement is directly connected to them. The methodology adopted was: elaboration of traces for prestressed pavements, flexural tests to prove the efficiency in relation to NBR 12142/2010, preparation of a prototype of the prestressed pavement, showing that its configuration produces a height of the concrete layer smaller than the other applications, and the comparative cost analysis of the prestressed pavement with the pavement in reinforced concrete. As results it was concluded that the use of the calculated concrete trait for prestressed floors is feasible, presenting results above the minimum required by standards (10% of the compressive strength), the resistance specified by norm is 4 MPa for the flexural strength, obtaining in the work an average equal to 4,85 Mpa, providing a lower cost of 10%.

**Keywords:** Flooring. Durability. Flexural strength. Prestressed concrete.

## 1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos portuário e aeroportuário estão sujeitos a elevadas cargas e ações de movimentações, ocasionando as obras de manutenção, por isso, as soluções para os pavimentos devem ter durabilidade e resistência. As cargas variam de tamanho e peso, e as ações das mesmas geralmente são em pontos específicos variando conforme o intuito do terminal. Os tipos de pavimentos geralmente utilizados em portos e aeroportos são: pedra natural, concreto compactado a rolo, placas de concreto simples (sem armadura), concreto armado e blocos intertravados de concreto conforme a (Figura 1).

Os pavimentos de concreto podem fornecer excelente desempenho sob grande variedade de condições operacionais. Todavia, as juntas de dilatação constituem pontos por onde pode ocorrer à infiltração de água, o que provoca a perda de partículas finas, tornando a sub-base mais suscetível a recalques. Desse modo, a ação das rodas dos veículos, poderá causar tensões maiores no pavimento nas proximidades das juntas. A protensão constitui um método eficiente para diminuir o número de juntas e reduzir o risco de fissuração, além do aumento da resistência a flexão na placa. Assim, a protensão prolonga a vida útil do pavimento. No caso de pavimentos de concreto simples, a espessura precisa ser maior, porque o dimensionamento é baseado na pequena resistência do concreto à tração. Com o uso da protensão é possível reduzir a espessura da placa, pois ocorre um melhor uso da elevada resistência à compressão do concreto, e da resistência à tração e flexão proporcionada pelos cabos protendidos. (SANTOS, 2015).

**Figura 1** - Pavimento de concreto armado



**Fonte:** Cimento itambe (2018).

Com isso o objetivo desse artigo foi estudar a alternativa de utilização do concreto protendido para pavimentos portuários e aeroportuários, demonstrando que essa solução é viável técnica e economicamente para cargas pontuais elevadas, além de elaborar um traço para concreto para pavimentos protendidos com obtenção de resistência a flexão e a compressão especificadas por normas; confeccionar um protótipo de pavimentação de concreto protendido e realizar uma análise de custo do sistema de pavimento em concreto armado e em concreto protendido.

No pavimento rígido em concreto protendido, os esforços de tração são controlados pela protensão, a qual comprime o concreto criando nele uma reserva de tensão que permite uma redução sensível na espessura da placa, o que geralmente cobre os custos da protensão. A placa assim comprimida se constitui em um pavimento praticamente impermeável e sem trincas. As juntas de dilatação, maior fonte de quebras na placa convencional, podem ser distanciadas até 150 m uma da outra (SCHMID, 2005).

Devido à grande incidência das patologias nos outros tipos de pavimento, o uso do concreto protendido em pavimentos proporciona uma estrutura com maior durabilidade que o concreto simples e com menores custos de execução e de manutenção, por ter controle de fissuração, justificando assim a elaboração de traço para a execução deste pavimento (SCHMID, 2005).

Como pesquisas anteriores foram analisadas o estudo realizado por Mateus Berwaldt Santos, Matheus (2015), que analisou o porto da Tecon de Rio Grande (Figura 2), demonstrando que o uso da protensão em pavimentos portuários é viável.

**Figura 2** - Pátio do Tecon de Rio Grande – RS, construído todo em pavimento de concreto protendido



**Fonte:** Tecon (2018).

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 TRABALHOS DESENVOLVIDOS SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO

VASCONCELOS (1979), apresenta um estudo detalhado sobre o efeito das variações de temperatura em pavimentos rígidos. O gradiente térmico ao longo da espessura da placa provoca empenamento e o surgimento de tensões de flexão, já as variações uniformes provocam dilatação. O momento fletor devido à carga dos veículos é calculado através das equações de Westergaard e Cartas de Influência de Pickett e Ray. Mostra o conceito de Peso da Roda Única Equivalente (PRUE), ou seja, a roda que sozinha provoca o mesmo efeito no pavimento que o conjunto. Estuda as perdas imediatas e progressivas de protensão e apresenta um roteiro para dimensionamento de pavimento de concreto protendido. Enfatiza as diretrizes para projeto e execução do pavimento. Foi executado um modelo que foi aplicado no TECON. (Figura 3).

RODRIGUES e PITTA (1997), desenvolveram um método gráfico para determinar o momento fletor em pavimentos rígidos, baseado nas Cartas de Influência de Pickett e Ray, porém de uso mais prático. Ainda exhibe um modelo de dimensionamento para pavimento rodoviário e outro para piso industrial, ambos de concreto armado com o uso de telas soldadas.

OLIVEIRA (2000), demonstra em forma de resumo a teoria de Westergaard para cálculo das tensões decorrentes de veículos. Analisa o comportamento de pavimentos rígidos com diferentes configurações de cargas, com o auxílio do software Ansys 5.5, o qual utiliza o Método dos Elementos Finitos. Estuda a formação de fissuras no concreto, as barras de transferência e a importância das juntas de dilatação e exhibe exemplos de dimensionamento de pavimentos em concreto simples e armado.

ALMEIDA FILHO (2002), faz a utilização da protensão não aderente em lajes de edifícios residenciais e comerciais. Com o auxílio do software de análise estrutural TQS, estuda três sistemas estruturais: laje plana maciça apoiada sobre pilares, laje plana nervurada apoiada sobre pilares e laje nervurada armada apoiada em vigas faixa protendidas.

Em PALIGA (2003), ele demonstra um ensinamento sobre o comportamento de lajes de concreto armado apoiadas no solo, sob a ação de cargas distribuídas e concentradas, aplicando o método dos elementos finitos.

O concreto é modelado através de elementos finitos, com a combinação do estado plano de tensões e da formulação de placas de Mindlin. A modelagem é bidimensional e inclui o comportamento não-linear do material e a fissuração. O solo é representado como uma base elástica, utilizando o Princípio dos Trabalhos Virtuais. Além disso, o trabalho também apresenta um estudo de caso de pavimento portuário submetido a cargas de grande intensidade, onde foram testadas variáveis como espessura da placa, resistência à compressão do concreto, taxa de armadura e coeficiente de reação vertical do solo.

ALAGARSAMY et al. (2004), exibiu um programa que determina as tensões e os deslocamentos em pavimentos de concreto protendido, causados por cargas de veículos e condições ambientais. Os resultados obtidos podem ser utilizados no projeto de pavimentos para determinar a espessura e comprimento da placa e o nível de protensão, de modo a manter as tensões resultantes sob limites admissíveis. Como resultados do estudo foi comprovado que em comparação com a placa de concreto convencional, a placa protendida oferece uma alternativa tecnicamente superior e economicamente competitiva. “Não foi usada até hoje com mais frequência porque dificilmente se considerou o aspecto custo-benefício e também porque o dimensionamento em geral foi baseado em experiências práticas anteriores do projetista. A pavimentação, além disto, não tem sido considerada como elemento estrutural e sim tratada como elemento secundário. No mais, os problemas com as placas simples nunca apareceram na época da construção e sim bem mais tarde, quando o projetista já havia se desvinculado há muito do projeto e a substituição das placas ficou entregue a equipes pouco preocupadas com a origem do problema.”

ALAGARSAMY et al. (2004), parece-nos que, em função dos novos rumos da conjuntura brasileira, a vida útil de um pavimento e o custo-benefício são aspectos de real interesse para quem se envolve no empreendimento. Pretendemos com o presente trabalho acender novamente um velho assunto (ver F. Leonhardt - 1954 ou A. C. Vasconcelos - 1979), porque julgamos a solução do pavimento protendido competitiva, com elevada durabilidade, interessante e sem dúvida, uma solução bonita, capaz de entusiasmar o engenheiro do pavimento, o engenheiro do concreto e o usuário da pista.

SCHMID (2005), demonstra as principais cargas e esforços solicitantes para dimensionamento de pavimentos em concreto protendido: o momento

devido ao gradiente térmico e o momento devido à carga dos veículos. Também exhibe fórmulas para o cálculo da deflexão vertical devido à carga de roda e uma explanação sobre as etapas da execução do pavimento.

SCHMID (2005), faz uma comparação com as placas de concreto convencional, obtendo que a placa protendida oferece uma alternativa tecnicamente superior e economicamente competitiva. (Figuras 4).

Em RODRIGUES (2006), localiza-se uma revisão sobre as características relevantes do subleito e da sub-base para o projeto de pavimentos rígidos, aonde são apresentados ensaios de caracterização do solo e de determinação da capacidade de carga. É explicado o conceito do coeficiente de recalque ( $k$ ), o qual é utilizado para representar o solo como uma base elástica. O trabalho explica as funções da sub-base e os tipos mais utilizados para pavimentos de concreto, além de critérios e fórmulas para determinar o momento fletor, como os métodos de Westergaard, Mayerhof e Lösberg.

Em RODRIGUES (2006), é estudado a resistência ao desgaste do pavimento em concreto, a qual é um parâmetro importante para o dimensionamento, por influenciar no desempenho do pavimento. A resistência ao desgaste está diretamente relacionada às resistências à tração e compressão do concreto, por isso a norma delimita que se deve adotar um  $f_{ck}$  mínimo de 30 MPa.

SENEFONTE (2007), analisa a utilização do sistema de protensão não aderente em pisos industriais de concreto. Aborda aspectos relativos ao subleito, especificação do concreto e das cordoalhas engraxadas, diretrizes de dimensionamento, interação com outros elementos estruturais, tecnologia e controle da execução.

BALBO (2009), compara diversas características dos materiais utilizados para pavimentos em concreto armado. Após ele apresenta um estudo sobre o coeficiente de recalque do solo e fórmulas de diferentes autores para cálculo do momento provocado pelos veículos, sendo que há um destaque para a teoria e equações de Westergaard.

Em XEREZ NETO (2013), se encontra um exemplo de dimensionamento de pavimento em concreto armado para tráfego de ônibus e outro para empilhadeiras e estantes. Em ambos os casos, são utilizados os métodos de Rodrigues e Pitta, Mayerhof, Lösberg, e Plamgren Miner para cálculo do momento devido aos veículos, dessa forma o trabalho estabelece uma oportunidade para comparar os resultados de diferentes métodos. Ainda,

apresenta os aspectos geométricos e as cargas das empilhadeiras mais comumente utilizadas em pavilhões industriais e comerciais.

**Figura 3** – Vista superior do Tecon Rio Grande



**Fonte:** Portal Maritomo (2018).

**Figura 4** – Detalhe da construção do aeroporto Afonso Pena, Curitiba – PR



**Fonte:** SCHMID (2005).

## 2.2 CONCEITO DE PROTENSÃO

SANTOS (2015), diz que o sistema de protensão consiste na aplicação prévia de esforços em um elemento sólido buscando melhorar seu comportamento durante a atuação das cargas de serviço. A protensão normalmente é utilizada em elementos estruturais, com a finalidade de melhorar seu desempenho e otimizar o uso de materiais de construção.

De acordo com CÉSAR JÚNIOR e VERÍSSIMO (1998), o princípio do sistema de protensão pode ter outras inúmeras outras aplicações. Por

exemplo, se uma pessoa deseja carregar uma pilha de livros na horizontal, conforme a figura 6, é necessário aplicar uma força prévia no sentido de comprimir uns livros contra os outros. Dessa forma, o atrito entre os livros é ampliado de forma a tornar-se capaz de impedir a queda deles durante o transporte. (Figura 5).

**Figura 5** - Detalhamento dos livros recebendo esforço de compressão



**Fonte:** SANTOS (2015).

### 2.3 CONCRETO PROTENDIDO

O concreto protendido consiste basicamente na utilização de cabos de aço no interior do concreto, os quais recebem um esforço de tração através de macacos hidráulicos. Então esta tensão é transferida para o concreto, com o uso de ancoragens, no caso da pós-tensão, ou através do atrito e aderência entre cabos e concreto, no caso da pré-tensão (LANNES, 2005).

A protensão tem como objetivo aproveitar o máximo dos benefícios das propriedades do aço e do concreto, como materiais de construção. O aço resiste muito bem a esforços de tração e compressão, porém devido ao seu alto custo é importante que as seções sejam reduzidas, devido a isso as barras ou cabos ficam sujeitos à flambagem, quando submetidos à compressão. Por isso é mais útil colocar o aço nos locais da estrutura onde ocorre a tração. O concreto por sua vez, possui uma boa resistência à compressão, porém sua resistência à tração é muito limitada, cerca de 10% da resistência à compressão. Por isso o concreto precisa ser reforçado com aço, nos locais da estrutura que estarão sujeitos à tração (SANTOS, 2015).

## 2.4 HISTÓRICO DO CONCRETO PROTENDIDO

A utilização da protensão em estruturas de concreto remonta em torno da segunda metade do século XIX, quando o engenheiro J. P. Jackson patenteou, nos Estados Unidos, um método para unir blocos pré-moldados de concreto utilizando um tirante para aplicar uma tensão prévia (GOMES JUNIOR, 2009).

Outros pesquisadores também realizaram análises e pesquisas sobre o concreto protendido e obtiveram patentes na Europa e nos EUA, porém até o final do século XIX nenhum sistema se mostrava realmente eficaz, pois as perdas de protensão comprometiam as estruturas. A situação mudou quando Mörsch e Koenen (1912), demonstraram a existência da retração e da fluência no concreto, as quais provocavam perdas de protensão. Concluiu-se que então forças reduzidas de protensão não eram eficientes (GOMES JUNIOR, 2009).

O grande desenvolvimento do concreto protendido deu-se em torno de 1928, quando o engenheiro francês Eugène Freyssinet publicou um estudo bastante abrangente sobre o tema. Uma das inovações propostas por Freyssinet, foi a utilização de aços de alta resistência sob a forma de cordoalhas, assim era possível superar as perdas por retração e fluência do concreto. Também desenvolveu métodos construtivos, equipamentos e aços especiais, sob os quais obteve patentes (CÉSAR JÚNIOR e VERÍSSIMO, 1998).

Com o término da Segunda Guerra Mundial, em 1945, foi uma grande oportunidade para a utilização do concreto protendido, a Europa estava destruída, então era necessário a aplicação de métodos capazes de agilizar a reconstrução. O concreto protendido foi utilizado principalmente para pontes e devido ao seu sucesso difundiu-se por todo o mundo. (CÉSAR JÚNIOR e VERÍSSIMO, 1998).

A precedente obra utilizando o sistema de concreto protendido no Brasil foi a ponte do Galeão, no Rio de Janeiro, a qual foi concluída em 1948. Todos os aços utilizados na construção foram importados da França. O projeto também era francês, sendo que o engenheiro Eugène Freyssinet contribuiu na sua elaboração (CÉSAR JÚNIOR e VERÍSSIMO, 1998). (Figuras 6 e 7)

Por volta do ano de 1950, começou a produção de aços para protensão no Brasil, com destaque para a Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, o que serviu de estímulo para o desenvolvimento do uso da protensão no país. (CÉSAR JÚNIOR e VERÍSSIMO, 1998)

**Figura 6** - Primeira obra de concreto protendido. Ponte do Galeão-Rio de Janeiro 1948.



**Fonte:** Mondorf 2006.

**Figura 7**– Detalhe da ponte do Galeão que foi construída em 1949 e possibilitou o crescimento da Ilha, estado atualmente.



**Fonte:** Insulano (2018).

### 3 METODOLOGIA

Teve por finalidade elaborar um traço para concreto protendido obtendo-se uma resistência a flexão do traço de concreto para aplicar na confecção de pavimentos de concreto protendido para a aplicação em portos e aeroportos, de acordo com a ABNT NBR 12142:2010, que normatiza os ensaios de flexão em corpos de provas prismáticos.

### 3.1 CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS

Para a produção deste estudo de caso foi elaborado o traço e foram confeccionados 15 corpos de prova prismáticos. Esta moldagem foi feita seguindo os parâmetros da NBR 5738 que normatiza o procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos. Desta forma, seguindo a NBR 6118 (ABNT, 2014) que normatiza os projetos de estruturas de concreto e procedimentos, foi determinado a classes de agressividade ambiental (CAA). a CAA IV que corresponde a resistência a compressão que o concreto estrutural precisa atingir em meio de respingos de maré, no caso 40 MPA, segundo a norma citada anteriormente.

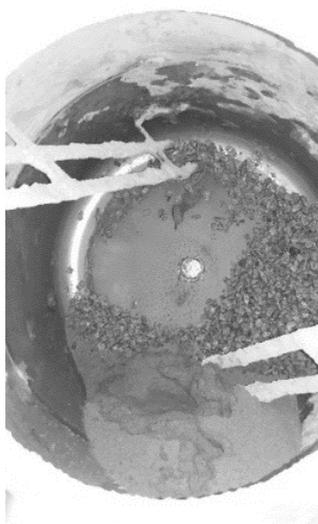
Após o cálculo do traço em peso obtemos os seguintes valores:

**1 : 1,61 : 1,93 : 0,45**

A confecção dos CP's foi realizada da seguinte maneira: primeiro, após lavagem da betoneira para remoção de resíduos e para umidificar a betoneira, foi colocado a quantidade de brita necessária para a quantidade a confecção do corpos de prova e 1/3 da água utilizada, a betoneira trabalhou por 5 minutos com esses dois elementos, logo após essa mistura foi adicionado a quantidade de areia grossa necessária seguindo a proporção inicial e mais 1/3 da água necessária sendo misturados por mais 5 minutos. Por último, foi adicionado a quantidade de cimento necessária e os últimos 1/3 de água utilizado, por mais 5 minutos, finalizando assim o traço. Como mostram as (Figuras 8 e 9), a seguir.

Logo após a moldagem dos corpos de provas ainda seguindo os critérios da NBR 5738 (ABNT, 2015) foi dado início ao procedimento de cura inicial, onde os moldes foram colocados em superfície plana e livre de vibração sendo desformados com 24h, devidamente identificados. Após esses procedimentos os corpos de prova foram armazenados em câmara úmida como rege a norma citada anteriormente até serem rompidos com a idade de 28 dias.

**Figura 8** - Detalhe da adição de areia na mistura.



**Fonte:** Acervo do autor (2018).

**Figura 9** – Detalhe do concreto finalizado pronto para moldagem



**Fonte:** Acervo do autor (2018).

### 3.2 ENSAIOS REALIZADOS

Os ensaios de resistência a tração na flexão foram feitos com base na norma ABNT NBR 12142, que rege os ensaios de corpo de prova prismáticos de concreto. Os corpos de prova depois de 28 dias de cura submersos em tanque com água como regido também na norma da ABNT NBR 5738 (ABNT, 2015), foram retirados do tanque em que estavam passando por este processo 24h antes do seu rompimento. Após isso, um por um, foram sendo colocados na prensa mecânica de compressão exatamente como a norma orienta, e foram rompidos um por um até apresentarem a ruptura. Este ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção do UNI/RN.

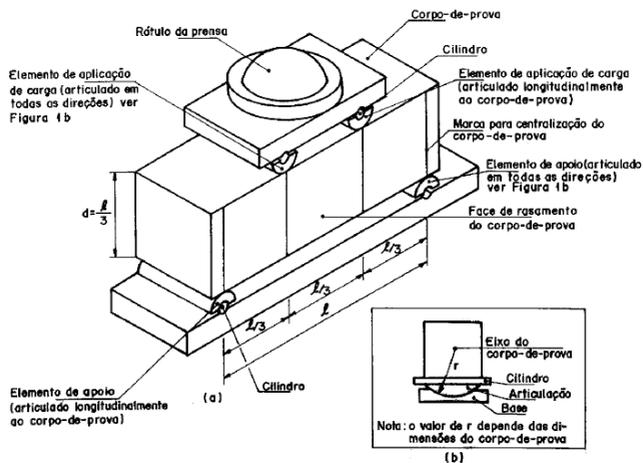
A prensa é uma máquina com a capacidade de promover uma aplicação controlada da carga sobre o corpo de prova, devendo o equipamento ser colocado como o esquema da Figura 10, conforme a ABNT NBR 12142. A principal função do pavimento é resistir aos esforços de flexão, por isso foi realizado o ensaio de flexão em 3 pontos. Quando o corpo de prova atinge a ruptura a máquina para de fazer o processo de aproximação das duas faces, mostrando assim o quanto de carga foi necessário para o rompimento em tonelada força.

Esta norma também orienta quanto a localização da fissura. E determina se a fissura se encontra dentro do terço médio ou fora dele. Após determinar onde ocorreu a fissura podemos calcular a sua resistência final em Mpa através da Equação 1 ou 2. A Figura 11 a seguir mostra o corpo de prova já na prensa e a (Figura 12) mostra o rompimento de um dos corpos de prova dentro do terço médio. Além disso, é necessário multiplicar esse valor por uma constante (0,0980665) para que o resultado seja apresentado em MPa.

$$F_{ctm} = \frac{P \times F}{B \times D^2} \times 0,0980665 \quad (\text{Para casos onde a ruptura acontece dentro do terço médio}) \quad (\text{Equação 1})$$

$$F_{ctm} = \frac{3 \times P \times a}{b \times d^2} \times 0,0980665 \quad (\text{Para casos onde a ruptura acontece fora do terço médio}) \quad (\text{Equação 2})$$

Figura 10 – Detalhe de como deve ficar o dispositivo para o ensaio de flexão



Fonte: NBR 12142.

Figura 11 – Vista do corpo de prova pronto para ser rompido



Fonte: Acervo do autor.

**Figura 12** - Detalhe da ruptura de um dos corpo-de-prova



**Fonte:** Acervo do autor.

### 3.3 CONFEÇÃO DO PROTÓTIPO

Para confecção deste protótipo foi levado em consideração todos os parâmetros abordados pelas normas citadas anteriormente tendo cuidado com o espaçamento entre cabos e cobrimento de concreto. Como mostra a (Figura 13).

O mesmo simula em pequena escala como deve ficar o pavimento de concreto protendido.

**Figura 13** - Vista do protótipo já confeccionado



**Fonte:** Acervo do autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os corpos de prova prismáticos foram submetidos a ensaios de resistência a flexão em 3 pontos, todos orientados e regidos pelas normas supracitadas, desde o início da moldagem até o momento da ruptura. Segue abaixo de acordo com a (Tabela 1) os resultados obtidos:

**Tabela 1** – Resultados obtidos no ensaio

CP	F (tf)	T(MPa)
1	3,92	5,12
2	4,53	5,92
3	3,54	4,62
4	3,8	4,96
5	3,68	4,81
6	3,71	4,85
7	3,65	4,77
8	3,75	4,9
9	3,66	4,78
10	3,58	4,68
11	3,6	4,7
12	3,68	4,81
13	3,35	4,38
14	3,67	4,8
15	3,57	4,66
<b>MÉDIA</b>		4,8507
<b>DESVIO PADRÃO</b>		0,3392

**Fonte:** Elaborado pelos autores do artigo.

Como especificado na norma supracitada anteriormente a resistência a flexão do concreto gira em torno de 8% a 12% da resistência a compressão do mesmo, como nesse caso foi considerado uma CAA IV o traço teria 40 Mpa de resistência a compressão, assim como podemos ver através da média dos 15 CP's analisados acima temos um valor 4,85 Mpa, e um desvio padrão de 0,34 Mpa, maior que os 12% especificado em norma, assim comprovando a eficiência do traço calculado.

## 5 CONCLUSÕES

Tendo em vista que todos os ensaios realizados (flexão) deram resultados positivos e estão assegurados por norma, foi comprovada a eficiência do traço elaborado e a possível utilização do mesmo nos pavimentos de concreto protendido.

Pode-se também citar a viabilidade econômica que trará a utilização do sistema de pavimento em concreto protendido comparada com os sistemas convencionais, uma vez que passamos a utilizar um material com mais resistência e durabilidade apresentando uma economia de mais ou menos 10%, no custo total do seu pavimento diminuindo ainda a quantidade de juntas fazendo com que aumente a durabilidade com inexistência de patologias (fissuras). (SANTOS, 2015).

Com os ensaios realizados obtemos uma resistência acima da especificado nas normas citadas anteriormente, com a resistência a flexão do concreto gira em torno de 12% da resistência a compressão do mesmo, fato comprovado através da média que foi de 4,85 Mpa, maior que os 12% especificados em norma, assim comprovando a eficiência do traço calculado. Outro ponto importante deste trabalho é a possibilidade de aplicação de um sistema construtivo pouco utilizado na nossa região, com execução crescente trazendo para obras de portos e aeroportos, benefícios técnicos e econômicos, como foi provado neste artigo.

## REFERÊNCIAS

ALAGARSAMY, Supriya; CHAVEZ, Cesar M.; FOWLER, David W.; MCCULLOUGH, Frank. Application of PSCP 3.0 Program to Predict Stresses. In: **Prestressed Concrete Pavements**. Austin, University of Texas at Austin, 2004.

ALMEIDA FILHO, Fernando M.. **Estruturas de Pisos de Edifícios com a Utilização de Cordoalhas Engraxadas**. São Carlos, USP, 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:** Projetos de estruturas de concreto - procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BALBO, José T. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo, Oficina de textos, 2009.

CÉSAR JÚNIOR, Kléos L.; VERÍSSIMO, Gustavo de S. **Concreto Protendido:** Fundamentos Básicos. Notas de Aula. Universidade Federal de Viçosa, 1998. Executivos. São Paulo, IBTS, 2006.

GOMES JÚNIOR, Humberto A. **Vigas Protendidas:** Estudo da Norma e Modelagem com Auxílio de Programa de Análise Comercial. Rio de Janeiro, UFRJ, 2009. Monografia de Graduação em Engenharia Civil.

INSULANO. Disponível em <<https://blogdoinsulano.wordpress.com/tag/historico/>>, Acesso em: 31 de out. de 2018.

ITAMBE CIMENTO. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/eua-pavimento-de-concreto/>>, Acesso em: 31 de out. de 2018.

LANNES, Caroline V. **Dimensionamento de uma concessionária de veículos em concreto protendido**. Campos dos Goytacazes, UENF, 2005. Monografia de Graduação em Engenharia Civil.

OLIVEIRA, Patrícia L. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. São Carlos, USP, 2000. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas.

PALIGA, Charlei M.. **Estudo da solução laje de concreto armado sobre base elástica para pavimentos portuários através do método dos elementos finitos**. Rio Grande, FURG, 2003.

PORTAL MARÍTIMO. Disponível em <<https://www.portalmaritimo.com/2017/02/10/tecon-rio-grande-investe-us-40-milhoes-em-novos-equipamentos/>>, Acesso em: 31 de out. de 2018.

RODRIGUES, Públio P. **Pavimentos industriais de concreto armado: projeto e critérios executivos**. São Paulo, IBTS, 2006.

RODRIGUES, Públio P.; PITTA, Márcio R. Dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados. **Revista Ibracon**, n. 19, 1997.

SANTOS, Mateus Berwaldt. **Utilização de concreto protendido em pavimentos portuários**. 2015.

SCHMID, Manfred T. **Pavimentos rígidos em concreto protendido**. 2.ed. Curitiba, Rudloff, 2005.

SENEFONTE, Kleber B. **Diretrizes de projeto, execução e controle de pisos industriais de concreto protendido**. São Paulo, USP, 2007. Monografia de MBA.

VASCONCELOS, Augusto. C. Documentário sobre pavimentos de concreto protendido para aeroportos e rodovias. **Ibracon**, São Paulo, 1979.

WILSONSONS Disponível em: <<https://www.wilsonsons.com.br/pt/teconriogrande/noticia/tecon-rio-grande-bate-novo-recorde-de-productividade-em-2017>>, Acesso em: 10 de outubro de 2018.

XEREZ NETO, Jary de. **Pavimentos usuais de concreto para cargas simples**. São Paulo: Pini, 2003.