

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Daniela Fernandes Santos

**AMPLIAÇÃO DO PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE
AERONAVES DO AEROPORTO SALGADO FILHO:
ANÁLISE DE CUSTOS DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS
PARA O PROJETO APROVADO PELA INFRAERO**

Porto Alegre
junho 2013

DANIELA FERNANDES SANTOS

**AMPLIAÇÃO DO PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE
AERONAVES DO AEROPORTO SALGADO FILHO:
ANÁLISE DE CUSTOS DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS
PARA O PROJETO APROVADO PELA INFRAERO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Washington Peres Núñez
Coorientadora: Angela Gaio Graeff

Porto Alegre
junho 2013

DANIELA FERNANDES SANTOS

**AMPLIAÇÃO DO PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE
AERONAVES DO AEROPORTO SALGADO FILHO:
ANÁLISE DE CUSTOS DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS
PARA O PROJETO APROVADO PELA INFRAERO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelos Professores Orientadores e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2013

Prof. Washington Peres Núñez
Dr. pela UFRGS
Orientador

Prof^a. Angela Gaio Graeff
PhD pela Faculdade de Engenharia da
Universidade de Sheffield
Coorientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Carlos Silva Filho (UFRGS)
PhD pela University of Leeds

Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti (UFRGS)
DSc. pela UFRJ

Prof. Washington Peres Núñez (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Prof^a. Angela Gaio Graeff
PhD pela Universidade de Sheffield

Dedico este trabalho a meus pais, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me fazer capaz não só de sonhar, mas também de realizar.

Agradeço a meus pais Dirce e André, pelo apoio incondicional durante a minha vida, por sempre fazerem mais que o possível para a realização deste sonho e por compreender meus muitos momentos de ausência ao longo de todos esses anos de curso.

Agradeço ao Prof. Washington Peres Núñez, orientador deste trabalho, por sempre me motivar ao longo do curso e por acreditar que eu era capaz de desenvolver este trabalho.

Agradeço a Angela Graeff, pela inspiração de engenheira que devo me tornar, por todo seu apoio e dedicação, pois sem eles não seria possível a realização deste trabalho.

Agradeço a professora Carin, por sempre nos mostrar que devemos tentar fazer o melhor possível e por sua inesgotável paciência e dedicação para a conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos e colegas de curso, por fazerem estes anos especiais e inesquecíveis.

Agradeço a Paulo Ruwer e demais amigos da Conpasul, pela confiança e amizade, por tornarem esta experiência profissional agradável e motivadora.

Por fim, agradeço a Felipe Eckert, por sempre acreditar em mim, pelo carinho, apoio e, principalmente, por me ajudar sempre a lembrar de me divertir, mesmo nos momentos de caos.

No te rindas, por favor no cedas,
Aunque el frío queme,
Aunque el miedo muerda,
Aunque el sol se esconda,
Y se calle el viento,
Aún hay fuego en tu alma
Aún hay vida en tus sueños.

Mario Benedetti

RESUMO

Neste trabalho faz-se um estudo comparativo entre a estrutura com placas de concreto de cimento Portland, com armadura distribuída para controlar o trincamento por retração e os pavimentos dimensionados: de concreto sem armadura, continuamente armado e estruturalmente armado. O pavimento com armadura distribuída foi o escolhido pela Infraero para ampliação do pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho. Três estruturas alternativas de pavimentos rígidos foram dimensionadas para o estudo comparativo: o pavimento de concreto sem armadura, continuamente armado e estruturalmente armado. Dessa forma, foram calculadas e comparados quais as diferenças de custos de construção inicial, sem a avaliação de demais custos indiretos e de manutenção, entre as estruturas analisadas. O dimensionamento das novas estruturas foi realizado de acordo com as normas da *Federal Aviation Administration* e, para o cálculo dos custos, utilizou-se da tabela SICRO 2 do DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE, 2012). Conclui-se que, apesar do custo inicial do projeto aprovado pela Infraero ser um pouco superior a algumas das estruturas desenvolvidas, a escolha se justifica tendo em vista que a redução no número de juntas no projeto original terá como resultado menor custo de manutenção e, também, um menor tempo de interdição de posições de estacionamento.

Palavras-chave: Estudo Comparativo de Pavimentos Para Aeródromos. Ampliação do Pátio de Aeronaves do Aeroporto Salgado Filho. Diferença de Custos Entre Pavimentos de Concreto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa.....	15
Figura 2 – Comparação entre estruturas de pavimento flexível e pavimento rígido.....	19
Figura 3 – Distribuição das cargas dos pavimentos flexível e rígido.....	19
Figura 4 – Trechos da taxiway e do pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Presidente Prudente.....	22
Figura 5 – Distribuição das cargas no pavimento rígido.....	24
Figura 6 – Pavimento de concreto simples.....	27
Figura 7 – Pavimento de concreto simples com barras de transferência.....	27
Figura 8 – Execução de pavimento de concreto simples.....	28
Figura 9 – Pavimento de concreto com armadura distribuída.....	29
Figura 10 – Execução de pavimento de concreto com armadura distribuída.....	30
Figura 11 – Pavimento de concreto continuamente armado.....	31
Figura 12 – Pavimento de concreto estruturalmente armado.....	32
Figura 13 – Pavimento de concreto protendido.....	34
Figura 14 – Estrutura do pavimento para o pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho.....	35
Figura 15 – Planta de localização do Projeto Básico aprovado pela INFRAERO.....	36
Figura 16 – Cálculo da espessura da camada de rolamento do pavimento.....	38
Figura 17 – Configuração das juntas de retração do pavimento de concreto simples.....	43
Figura 18 – Configuração das barras de transferência do pavimento de concreto simples.....	43
Figura 19 – Configuração das placas do pavimento continuamente armado.....	45
Figura 20 – Configuração da armadura longitudinal para o pavimento de concreto continuamente armado.....	48
Figura 21 – Configuração da armadura transversal para o pavimento de concreto continuamente armado.....	49
Figura 22 – Configuração das placas do pavimento continuamente armado dimensionadas em outro sentido da pista.....	50
Figura 23 – Modelo para representar a reação do subleito de placas de concreto.....	52
Figura 24 – Pontos utilizados para cálculo de esforços na placa de concreto.....	54
Figura 25 – Configuração da armadura do pavimento estruturalmente armado.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das rodovias e aeródromos.....	21
Quadro 2 – Área de armadura considerando os comprimento de 21,1 m e as larguras de 5 m e 3,05 m.....	39
Quadro 3 – Comprimento e espaçamento das barras de transferência de carga.....	39
Quadro 4 – Planilha de serviços e quantidades.....	40
Quadro 5 – Planilha de serviços e custo do pavimento de concreto com armadura distribuída.....	40
Quadro 6 – Relação entre o tamanho da placa e o espaçamento máximo entre juntas de retração.....	42
Quadro 7 – Dimensões das placas de concreto simples.....	42
Quadro 8 – Demonstrativo do cálculo de aço CA-25 para o pavimento de concreto simples.....	43
Quadro 9 – Planilha de serviços e custo do pavimento de concreto simples.....	44
Quadro 10 – Cálculo de execução de juntas de construção e barras de transferência.....	49
Quadro 11 – Cálculo da armadura do pavimento de concreto continuamente armado.....	50
Quadro 12 – Planilha de serviços e custo do pavimento de concreto continuamente armado.....	50
Quadro 13 – Cálculo de execução de juntas de construção e barras de transferência com nova configuração das barras.....	51
Quadro 14 – Cálculo da armadura do pavimento de concreto continuamente armado com nova dimensão de placas.....	51
Quadro 15 – Planilha de serviços e custo do pavimento de concreto continuamente armado com placas dimensionadas em outro sentido da pista.....	51
Quadro 16 – Planilha de serviços e custo do pavimento de concreto estruturalmente armado.....	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	13
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	13
2.2.1 Objetivo Principal.....	13
2.2.2 Objetivo Secundário.....	13
2.3 PRESSUPOSTOS.....	14
2.4 DELIMITAÇÕES.....	14
2.5 LIMITAÇÕES.....	14
2.6 DELINEAMENTO.....	14
3 PAVIMENTOS.....	17
3.1 TERMINOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO.....	17
3.2 PAVIMENTOS DE RODOVIAS E DE AERÓDROMOS.....	19
4 PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA PÁTIOS DE AERONAVES.....	23
4.1 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES.....	25
4.2 PAVIMENTO DE CONCRETO COM ARMADURA DISTRIBUÍDA.....	28
4.3 PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO.....	30
4.4 PAVIMENTO DE CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO.....	31
4.5 PAVIMENTO DE CONCRETO PROTENDIDO.....	33
5 PROJETO DE AMPLIAÇÃO DO PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE AERONAVES DO AEROPORTO SALGADO FILHO ELABORADO PELA ECOPLAN ENGENHARIA LTDA.....	35
5.1 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DO PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM ARMADURA DISTRIBUÍDA.....	38
5.2 LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS E CÁLCULO DE CUSTOS DO PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM ARMADURA DISTRIBUÍDA...	39
6 DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS ALTERNATIVOS PARA O NOVO PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE AERONAVES DO AEROPORTO SALGADO FILHO.....	41
6.1 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS PARA O PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES.....	41
6.2 CÁLCULO DE CUSTOS DO PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA.....	43
6.3 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS PARA O PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO.....	44

6.4 CÁLCULO DE CUSTOS DO PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO.....	49
6.5 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS PARA O PAVIMENTO DE CONCRETO ARMADO.....	52
6.6 CÁLCULO DE CUSTOS DO PAVIMENTO DE CONCRETO ARMADO.....	56
7 ANÁLISE DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DOS PROJETOS ALTERNATIVOS PARA O NOVO PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE AERONAVES DO AEROPORTO SALGADO FILHO.....	58
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, Porto Alegre teve um crescimento urbano e econômico que infelizmente não foi acompanhado por suas vias e aeroportos. Já é sabido que o Aeroporto Internacional Salgado Filho opera na sua capacidade limite, além de estar situado em uma via de grandes congestionamentos. Algumas providências estão sendo tomadas para melhorar as condições de operação do Aeroporto atual, como a elaboração (e futura implantação) de projeto para ampliação do terminal de passageiros, das suas pistas de taxiamento e do pátio para estacionamento das aeronaves. Estas mudanças acarretarão aumento do seu espaço físico e melhoria de sua operação.

Nos aeroportos, os pavimentos com misturas cimentadas apresentam vantagens devido à grande durabilidade. Estes tipos de pavimentos apresentam, também, uma alta resistência a alguns agentes químicos, quando comparados com o pavimento asfáltico que reage quimicamente quando em contato com combustíveis utilizados nas aeronaves, causando desagregação e surgimento de trincas. Por essas razões, os pavimentos rígidos são empregados nas áreas de estacionamento de aeronaves de praticamente todos os aeroportos de médio e grande porte do Brasil, que são corriqueiramente constituídos por placas de concreto simples, o que resulta em algumas limitações com relação ao tamanho das mesmas e necessidade de maior controle para manutenção das juntas de retração.

Alguns tipos de pavimentos rígidos utilizados em aeroportos, como os de concreto simples, com armadura distribuída e continuamente e estruturalmente armados serão o foco de estudo deste trabalho. O trabalho pretende estudar e apresentar soluções alternativas para o projeto de ampliação do pátio de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho, no qual foi empregada como solução o pavimento rígido com armadura distribuída, para controlar o trincamento por retração. O estudo analisa as vantagens e desvantagens do emprego de outros tipos de pavimentos rígidos: o de concreto simples sem armadura, o estruturalmente e continuamente armado, comparados com o tipo de pavimento definido no projeto aprovado pela Infraero. Este estudo tem o objetivo de analisar as vantagens técnicas e econômicas das diferentes alternativas estudadas, visando verificar qual das alternativas apresenta maior economia de

recursos naturais e financeiros, considerando-se apenas o custo inicial da obra, sem analisar custos de manutenção e demais custos indiretos.

No próximo capítulo são apresentadas as delimitações e os objetivos da pesquisa realizada para o trabalho. Após, são apresentados dois capítulos de revisão bibliográfica: o capítulo 3 visa explicar as diferenças entre os pavimentos rodoviários e aeroportuários, enquanto no capítulo 4 são mostrados distintos tipos de pavimentos rígidos empregados para pátios de estacionamentos de aeronaves.

No capítulo 5 apresenta-se um resumo do Projeto Básico de ampliação do pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Internacional Salgado Filho, elaborado pela empresa Ecoplan Engenharia Ltda. No capítulo que segue, tem-se o desenvolvimento dos projetos das soluções alternativas, juntamente com o cálculo de seus quantitativos e levantamento de custos de implantação da obra.

No capítulo 7 é realizado um estudo comparativo dos custos de construção dos três tipos de pavimentos, visando apontar a alternativa que possuir o menor custo inicial de execução da obra, bem como apresentar considerações com relação aos quantitativos calculados.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: frente ao Projeto Básico de pavimento com armadura distribuída nas obras de ampliação do pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho, quais as diferenças de custos de construção decorrentes de sua substituição por pavimentos rígidos sem armadura, continuamente armado e estruturalmente armado?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação das diferenças de custo que podem ser observadas ao substituir a proposta de pavimentos de concreto com armadura distribuída por os tipos de pavimentos sem armadura, continuamente armado e estruturalmente armado no projeto de ampliação do pátio de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) apresentação do processo de dimensionamento das alternativas propostas, considerando o método da FAA (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2009);
- b) análise do consumo de materiais e respectivos custos de cada uma das soluções de pavimentos sugeridas e a escolhida para ampliação do Aeroporto Salgado Filho.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que todas as propostas de pavimentos apresentadas foram dimensionadas para resistir as mesmas cargas do projeto escolhido pela Infraero e poderiam ser adotadas nesse projeto.

2.4 DELIMITAÇÕES

A comparação delimita-se unicamente ao custo de construção (inicial), das várias alternativas para o pavimento do pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Internacional Salgado Filho, sem levar em conta o custo de manutenção dos pavimentos (especialmente nas juntas), assim como custos decorrentes da interrupção de posições para atividades de manutenção do pavimento.

2.5 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se a estudar as alternativas considerando pavimentos de concreto simples, continuamente armado e estruturalmente armado considerando somente os valores que constam da tabela SICRO (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE, 2012).

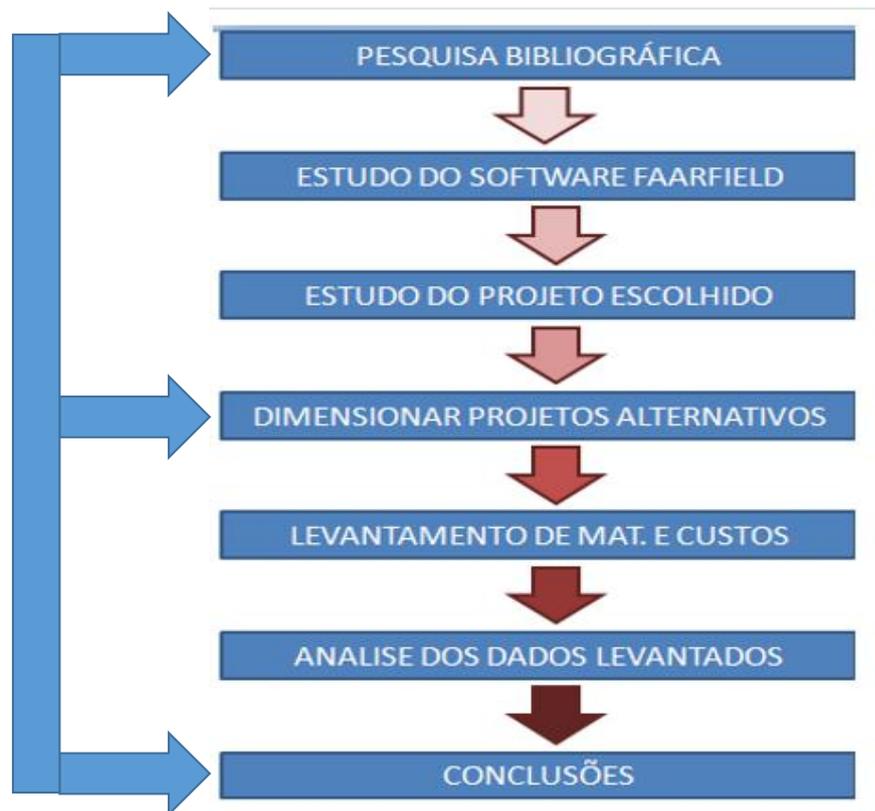
2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) aprendizado do software FAARFIELD empregado no dimensionamento dos pavimentos;
- c) estudo do Projeto Básico aprovado para ampliação do pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho;
- d) dimensionamento dos pavimentos rígidos alternativos: sem armadura, continuamente e estruturalmente armado para a referida obra;

- e) levantamento do quantitativo de materiais e custos de implantação dos projetos alternativos desenvolvidos;
- f) análise entre os diferentes custos entre os projetos;
- g) considerações finais e proposição para trabalhos futuros.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Primeiramente, foi realizada a **pesquisa bibliográfica**, que proporciona o entendimento necessário para análise dos projetos estudados. Esta etapa fornece as ferramentas necessárias para que seja possível caracterizar as variáveis que afetam o dimensionamento dos pavimentos.

Na segunda fase, foi realizado o **aprendizado do uso do software FAARFIELD** empregado para o dimensionamento da estrutura do pavimento escolhido para ampliação do pátio de estacionamentos de aeronaves. Também foi necessário estudar as diretrizes envolvidas com o uso do software, como os tipos de aeronaves inseridos para o cálculo. A fase que seguiu, denominada **estudo do Projeto Básico**, elaborado pela empresa Ecoplan Engenharia Ltda.,

consiste em uma análise dos aspectos técnicos, custo e consumo de materiais considerando o projeto aprovado pela Infraero para a ampliação do pátio de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho.

A etapa seguinte consistiu no **dimensionamento dos projetos alternativos**. Foram dimensionados pavimentos sem armadura, continuamente armado e estruturalmente armado para a ampliação do pátio de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho. Estes pavimentos foram dimensionados para resistir as mesmas solicitações a que o projeto proposto foi concebido.

Depois de desenvolvidas as novas alternativas de projetos, é realizada a **análise de diferença de custos entre os mesmos**. Esta fase consistiu na elaboração de uma planilha de quantitativos de materiais, com seus devidos custos, e mostra quais as principais diferenças entre o Projeto Básico e os que foram analisados neste trabalho em termos, apenas, de custos iniciais.

Por fim, para as **conclusões da pesquisa** foi desenvolvida análise comparativa, indicando quais as vantagens e desvantagens do emprego de cada uma das estruturas em termos de custo e consumo de materiais na implantação.

3 PAVIMENTOS

Para introduzir o tema da Mecânica dos Pavimentos, é necessário definir o que se entende por pavimento. De acordo com Igual (2011, p. 25) define-se pavimento da seguinte forma:

É a estrutura construída sobre o terreno de fundação que suporta as cargas provenientes do tráfego, redistribui essas cargas para a infraestrutura e proporciona as condições satisfatórias de conforto e segurança a quem utiliza a estrutura fazendo-o de forma o mais econômica possível.

Medina (1997, p. 11) define a Mecânica dos Pavimentos como sendo:

[...] uma disciplina da Engenharia Civil que permite estudar o pavimento como uma estrutura do engenheiro, tal como se aborda o estudo de fundações, muros de contenção, aterro, etc. As ferramentas básicas estão na teoria da elasticidade, análise numérica, mecânica, resistência dos materiais, etc.

No mesmo trabalho são descritas por Medina (1997, p. 13) as etapas do dimensionamento:

Faz-se o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos, conhecidos os parâmetros de deformabilidade, geralmente com a utilização de programas de computação. Verifica-se o número de aplicações de carga que leva o revestimento asfáltico ou a camada cimentada à ruptura por fadiga [...]

Nos itens a seguir, será apresentada a classificação dos pavimentos, bem como suas características.

3.1 TERMINOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO PAVIMENTO

De acordo com Medina (1997, p. 15), a norma TB-7/1953 – Terminologia e Classificação de Pavimentação¹ descreve as camadas do pavimento como:

- a) subleito é o terreno de fundação do pavimento ou do revestimento;
- b) sub-base é a camada corretiva do subleito, ou complementar à base, quando por qualquer circunstância não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplenagem;

¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **TB 7**: Rio de Janeiro, 1953.

- c) base é uma camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos sobre a qual se constrói um revestimento;
- d) revestimento é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinada a econômica e simultaneamente,
 - a melhorar as condições do rolamento quanto à comodidade e segurança;
 - a resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

A partir do momento em que o pavimento começou a ser analisado como um sistema em camadas, notou-se necessidade de calcularem-se as tensões e deformações que esta estrutura sofre ao ser solicitada pelo tráfego, sob condições climáticas variadas. Sendo assim, não há sentido em dimensionar as camadas analisando suas funções específicas, sem considerá-las como um conjunto, e sim como uma estrutura na qual o funcionamento de uma camada depende da outra.

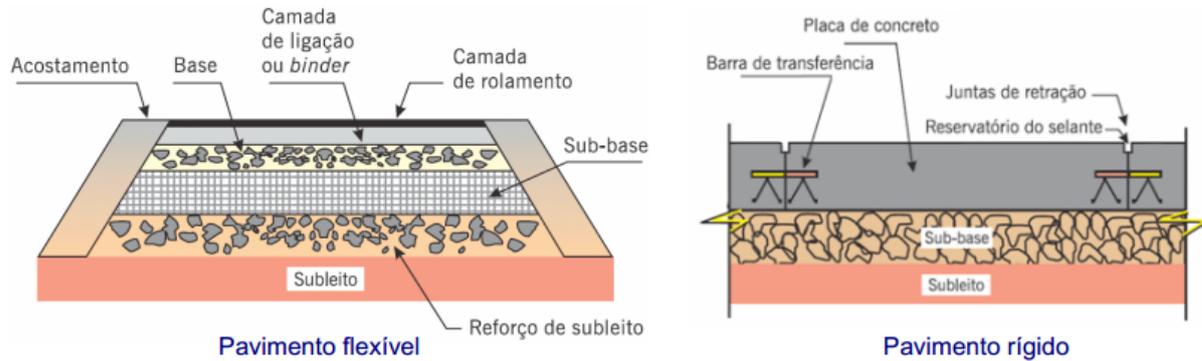
Medina (1997, p. 16) cita que são consideradas duas categorias de pavimentos:

- a) pavimentos flexíveis – constituídos por um revestimento betuminoso sobre uma base granular ou de solo estabilizado granulometricamente;
- b) pavimento rígido – constituído por placas de concreto (raramente armado) assentes sobre o solo de fundação ou sub-base intermediária.

A obra ainda relata outro tipo de pavimento: o semirrígido, no qual é inserida, sob o revestimento betuminoso, uma base cimentada. O pavimento reforçado de concreto asfáltico sobre placa de concreto é considerado pavimento composto.

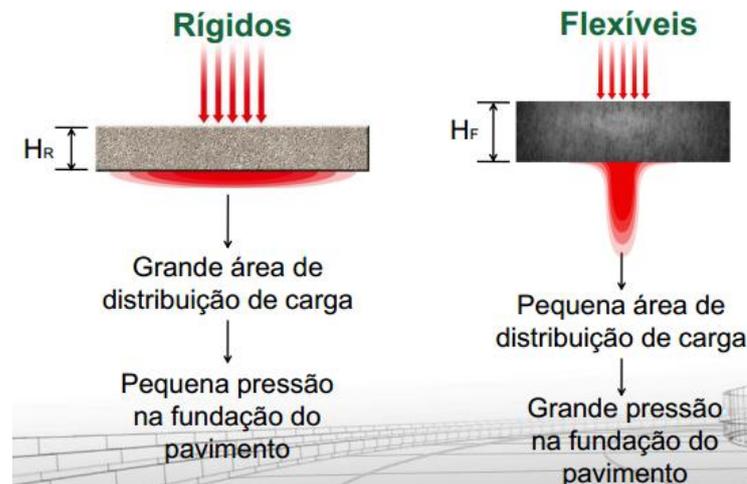
Os pavimentos rígidos apresentam um bulbo de tensões com maior área de distribuição das forças, com cargas menos concentradas, transmitindo baixas tensões verticais ao subleito. Sendo assim, na maioria das vezes é possível eliminar a camada de reforço de subleito, às vezes usada em pavimentos flexíveis. As placas de concretos, as quais têm a finalidade de revestimento e de base simultaneamente, eliminam mais uma etapa do dimensionamento do pavimento. Seguem, nas figuras 2 e 3, as diferenças entre as estruturas dos pavimentos flexível e rígido.

Figura 2 – Comparação entre pavimentos flexível e rígido



(fonte: BERNUCCI et al., 2006)

Figura 3 – Distribuição de cargas em pavimentos flexível e rígido



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, [2013])

3.2 PAVIMENTOS DE RODOVIAS E DE AERÓDROMOS

Em um aeroporto, a função dos pavimentos das pistas, das *taxiways* e dos pátios de estacionamento é a de transmitir as cargas dos trens de pouso das aeronaves ao terreno de fundação, proporcionando, igualmente, condições de tráfego com conforto e segurança. Em um aeródromo são utilizados dois tipos de pavimentos: para as pistas e *taxiways* são normalmente utilizados os pavimentos flexíveis, e, para as zonas de estacionamento das aeronaves, empregam-se com frequência os pavimentos rígidos.

Medina (1997, p. 19-20) comenta algumas importantes diferenças existentes entre os pavimentos de rodovias e os de aeródromos, tanto nas suas características geométricas quanto

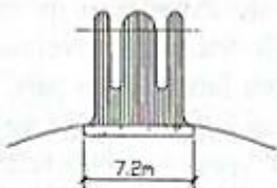
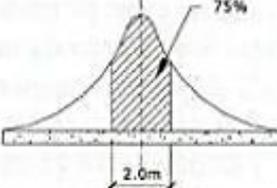
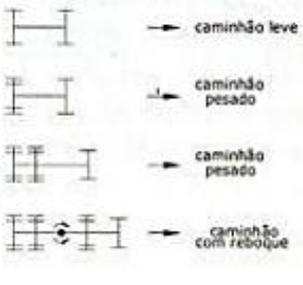
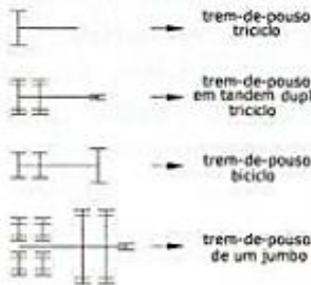
físicas, decorrentes das solicitações dos diferentes tipos de veículos utilizados para o cálculo da estrutura do pavimento.

A previsão do tráfego e sua evolução é uma das grandes dificuldades no momento do dimensionamento de um pavimento e com isso, a avaliação do poder de destruição que exercem as diferentes cargas em distintos níveis de repetição torna-se uma grande incógnita. O autor cita que para aeródromos, jamais se deve ultrapassar a carga máxima para qual o pavimento foi dimensionado, sendo esta medida crucial para a segurança das aeronaves. A carga máxima é calculada considerando o peso bruto do avião. Nas rodovias é citado que as cargas máximas são frequentemente ultrapassadas, tendo por consequência uma acelerada degradação dos pavimentos, criando assim um desgaste maior dos veículos e uma grande redução na segurança para o usuário da via, porém como suas tensões são mais uniformemente distribuídas no pavimento e suas solicitações são menores, os automóveis possuem maior estabilidade diante de problemas no pavimento.

A largura das pistas dos aeródromos chega a ser cinco vezes maior que a das rodovias, fazendo com que haja uma distância de drenagem muito superior à que ocorre nas rodovias. As cargas na pista dos aeródromos são cerca de 10 vezes maior que a suportada por uma rodovia. Outro fator importante é que, devido à distribuição não uniforme das rodas dos aviões no pavimento, tem-se uma distribuição não uniforme das cargas na pista, diferentemente da distribuição das cargas consideradas nas rodovias. No quadro 1, apresentam-se principais diferenças entre as características do dimensionamento das pistas de aeródromos e de rodovias.

Outra característica importante para a definição do tipo de pavimento para o pátio de estacionamento das aeronaves é a reação química que o asfalto sofre quando em contato com combustíveis que eventualmente vazam durante o abastecimento das aeronaves. Giuliani et al. (2009, p. 1539, tradução nossa) citam que os asfaltos são misturas complexas de hidrocarbonetos, com quantidades menores de outros orgânicos e compostos metalorgânicos geralmente obtidos a partir do processamento de resíduos de petróleo bruto e usado principalmente como ligantes em pavimentos rodoviários e de aeroportos. Como os asfaltos são altamente solúveis em combustíveis de hidrocarbonetos, os pavimentos podem ter a sua superfície submetida a desagregação e trincas, como resultado de derramamento acidental do combustível.

Quadro 1 – Características das rodovias e aeródromos

Características	Rodovias	Aeródromos
Largura das pistas	7 a 10m	20 a 50m (taxis: 10 a 25m)
Comprimento	Vários quilômetros	Até cerca de 3000m
Cargas	10tf por eixo, veículo 45tf máximo	100tf ou mais por trem-de-pouso principal, aviões de até 500tf
Frequência de repetição de cargas	Por exemplo: 2000 veículos por dia, vários milhões na vida de serviço, o efeito de fadiga dos materiais é importante.	Pequena, por dia: 50 a 100; menos de 100.000 na vida de serviço.
Pressão dos pneumáticos	0,15 a 0,6MPa (1,5 a 6Kgf/cm ²)	1,0 a 3,0MPa (10 a 30 kgf/cm ²)
Distribuição transversal da carga nas pistas	 (não se faz diferenciação transversal praticamente)	 (diferencia-se o dimensionamento transversalmente)
Distância de drenagem	Pequena (3m)	Grande (10 a 50m)
Impacto de veículo no pavimento	pequeno	Grande no pouso, porém minorado pela sustentação do ar e amortecimento.
Ação de carga dinâmica (vibrações) de veículos parados	Não considerada	É importante nas cabeceiras das pistas, na decolagem e nas pistas de taxiamento
Ação de frenagem	Não é relevante; nas ruas sim, nos sinais luminosos (semáforos), nos cruzamentos, etc.	Importante quando do acionamento dos motores, com as rodas do trem-de-pouso travadas, antes da decolagem.
Geometria de rodas		

(fonte: MEDINA, 1997, p. 21)

Outra característica importante para a definição do tipo de pavimento para o pátio de estacionamento das aeronaves é a reação química que o asfalto sofre quando em contato com combustíveis que eventualmente vazam durante o abastecimento das aeronaves. Giuliani et al

(2009, p. 1539, tradução nossa) cita que os asfaltos são misturas complexas de hidrocarbonetos, com quantidades menores de outros orgânicos e compostos metalorgânicos geralmente obtidos a partir do processamento de resíduos de petróleo bruto e usado principalmente como ligantes em pavimentos rodoviários e de aeroportos. Como os asfaltos são altamente solúveis em combustíveis de hidrocarbonetos, os pavimentos podem ter a sua superfície submetida a desagregação e trincas, como resultado de derramamento acidental do combustível. Assim, devido ao fato de que o abastecimento das aeronaves ocorre quando as mesmas estão estacionadas no pátio, os pátio de aeronaves são, em geral, constituídos por pavimentos rígidos.

As pistas de pouso, de decolagem e de *taxiway* são constituídas por pavimentos flexíveis, por proporcionarem condições de rolamento com maior conforto aos usuários das aeronaves e sua rápida execução de manutenções, bem como pelo fato de que a possibilidade de contato do pavimento com combustível de aeronaves é mais restrita. Na figura 4 pode-se observar o pavimento rígido empregado em uma área do pátio de aeronaves e o pavimento flexível em uma pista de *taxiway*.

Figura 4 – Trechos da *taxiway* e do pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Presidente Prudente



(fonte: PANORAMIO, [2013])

4 PAVIMENTOS RÍGIDOS PARA PÁTIOS DE AERONAVES

Os pavimentos rígidos são descritos, por Igual (2011, p. 27), como constituídos em geral por uma laje de concreto apoiada sobre uma camada de sub-base.

Segunda a *Federal Aviation Administration* (2009, p. 33), a superfície de concreto deve apresentar uma textura com qualidade antiderrapante, evitar a infiltração de águas superficiais para o subleito, e fornecer suporte estrutural para os aviões.

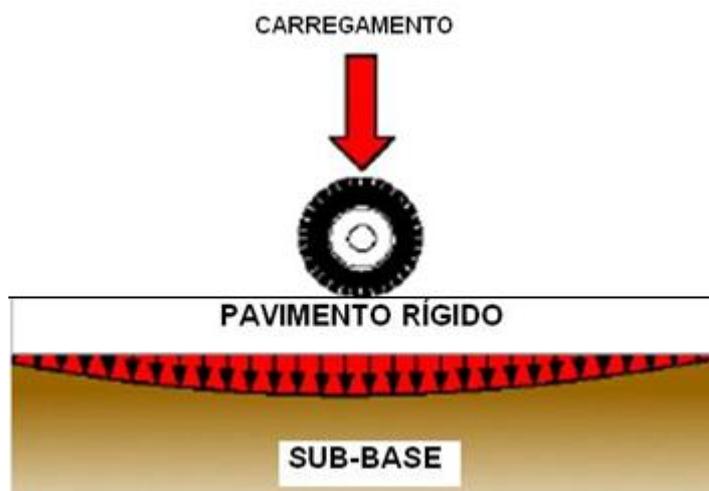
Viel² (2009 apud IGUAL, 2011, p. 27) descreve as propriedades dos pavimentos rígidos, justificando sua utilidade nas plataformas de estacionamento da seguinte forma:

- a) distribuem as cargas verticais sobre uma área grande e com pressões muito reduzidas;
- b) rigidez,
 - muito resistente a elevadas pressões de contato das aeronaves;
 - tensões verticais distribuem-se sobre o apoio da laje de concreto em toda a sua extensão;
 - capacidade de suporte da fundação influencia menos que no dimensionamento de um pavimento flexível;
- c) juntas,
 - evitam o aparecimento aleatório de fissuras por retração e variações de volume termo higrométrico;
 - facilitam o ciclo diário contração-expansão das lajes;
 - com barras de transferência asseguram a transmissão de cargas entre lajes contíguas;
 - sensibilidade aos agentes externos: é resistente a óleo e combustíveis;
- d) durabilidade,
 - requer pouca conservação e reabilitação.

² VIEL, M. S. C. **Apunamentos da construção de aeroportos**. Valência: Quinto de Engenharia Aeronautica, 2009.

Na figura 5 é mostrada a distribuição das cargas no pavimento rígido. Pode-se notar a ampla distribuição dos esforços na camada de sub-base, como citado por Viel³ (2009 apud IGUAL, 2011, p. 27).

Figura 5 – Distribuição das cargas no pavimento rígido



(fonte: adaptada de PICADO⁴, 2010 apud IGUAL, 2011, p. 28)

O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2004, p. 71) comenta que devido ao grande volume de estudos desenvolvidos nas últimas décadas, constatam-se, hoje, grandes avanços no dimensionamento de pavimentos de concreto. Estes estudos geraram novos modelos de comportamento distinto do modelo clássico baseado exclusivamente na fadiga do concreto sob ação de cargas repetidas.

O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2004, p. 71) cita os aspectos considerados no projeto de placas de concreto:

- a) a influência das sub-bases estáveis, mormente as tratadas com cimento;
- b) o papel do tipo de transferência de carga nas juntas e bordas do pavimento, representado pelas barras de transferência e pelos acostamentos de concreto;
- c) as conseqüências da ocasional ocorrência de contato parcial entre o pavimento e a sua fundação;
- d) a ação de diferentes distribuições de tráfego, com relação à geometria das placas;

³ VIEL, M. S. C. **Apontamentos da construção de aeroportos**. Valência: Quinto de Engenharia Aeronautica, 2009.

⁴ PICADO, L. S. **Apontamentos de construção e manutenção de infraestructuras de transportes**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. 2010.

- e) os efeitos do empenamento térmico e higroscópio do concreto no nível de tensões;
- f) no projeto das juntas, a adoção do reservatório do selante, capaz de aumentar a eficiência do sistema de juntas, com os reflexos benéficos correspondentes na durabilidade.

O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2004, p. 71) cita ainda, que outro avanço importante no dimensionamento de pavimentos rígidos foi a introdução do conceito de confiabilidade estatística, entendida como a probabilidade de que um certo pavimento irá desempenhar satisfatoriamente ao longo de sua vida útil as funções previstas no projeto.

O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2004, p. 73) salienta que ao projetar-se pavimentos rígidos deve-se dar especial atenção às variações volumétricas do subleito, especialmente quanto à presença de solos expansivos e camadas espessas de argila mole. O parâmetro que caracteriza o suporte do subleito é o coeficiente de recalque, também denominado como Módulo de Reação ou Módulo de Westergaard. Este parâmetro é considerado o principal ao se dimensionar a espessura da placa de concreto.

A prática atual dos projetos de pavimentos rígidos inclui a utilização de uma sub-base entre a placa de concreto e o subleito, conforme explica o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2004, p. 75). Esta camada de pequena espessura tem as funções de uniformizar e tornar constante o suporte ao longo da faixa do pavimento e evitar o bombeamento dos finos plásticos. Quando em presença de água em excesso e de grandes solicitações, o bombeamento é a causa principal da ruína de grande parte dos pavimentos de concreto. Atualmente tem-se como prática corriqueira, a aplicação de sub-bases de concreto rolado. Este concreto não atende as especificações de um concreto convencional, em termos de desempenho mecânico, e dispensa o uso de juntas de retração ou de dilatação.

A seguir serão descritos os principais tipos de pavimentos rígidos que podem ser utilizados tanto em rodovias como em pátios de estacionamentos de aeronaves.

4.1 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES

O pavimento de concreto simples é definido pela norma NBR 7583 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986, p. 2) como:

Pavimento de concreto de cimento portland no qual as tensões solicitantes são combatidas tão somente pelo próprio concreto e que não contém nenhum tipo de armadura distribuída, não se considerando como tal, eventuais sistemas de ligação ou de transferência de carga entre as placas formadas pelas juntas longitudinais e transversais, nem armaduras de retração, também eventualmente exigidas pelo projeto e aplicadas em poucas placas isoladas de forma, tamanho ou funções inusuais.

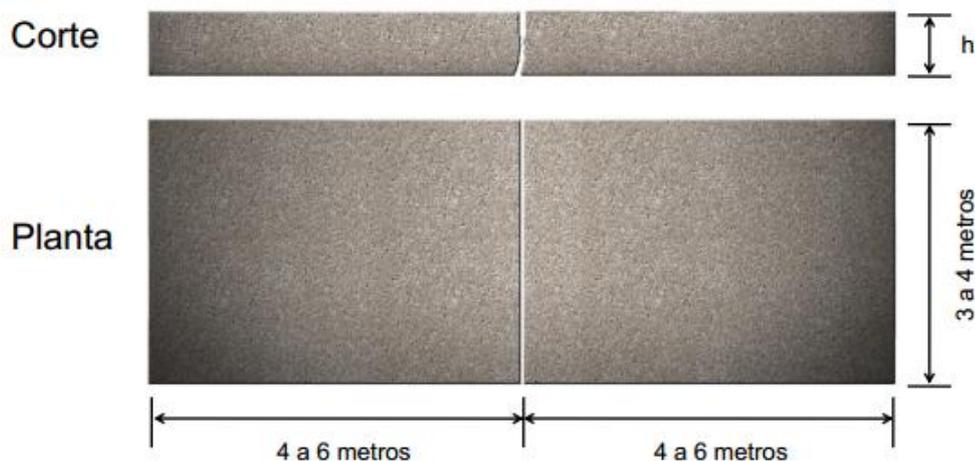
Segundo a *Federal Aviation Administration* (2009, p. 38), as variações na temperatura e no teor de umidade podem causar alterações de volume e de deformação da placa de concreto, resultando no surgimento de tensões significativas. A fim de reduzir os efeitos prejudiciais destas tensões e minimizar trincas aleatórias, é necessário dividir o pavimento em uma série de placas de dimensão pré-determinada, por meio de enfraquecimento da seção transversal (junta). Estas placas devem ser tão quadradas quanto possível, quando não é utilizado aço embutido.

Santana (2008, p. 22) cita que o pavimento de concreto simples pode ser dividido em duas categorias: sem barras de transferência ou com barras de transferência. Quando se tem as barras de aço, empregadas com a função de transferir esforços entre placas, elas não são consideradas armaduras, sendo assim não descaracterizam o pavimento de concreto simples.

Em um pavimento de concreto simples podem existir armaduras em poucas placas isoladas. Eventualmente exigidas pelo projeto, essas armaduras têm a função de combater a fissuração por retração ou pela geometria irregular da placa.

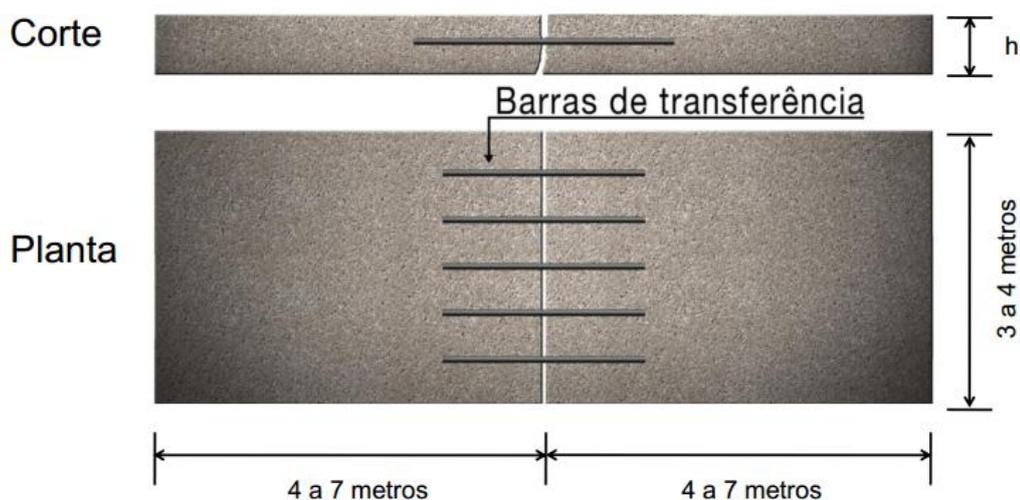
Santana (2008, p. 22) cita ainda que no cenário atual do Brasil tem-se um uso muito maior dos pavimentos de concreto simples com barras de transferência, em grandes vias. Já os pavimentos sem barras de transferência são direcionados para vias de pouco uso e submetidos a menores solicitações. Nestes pavimentos, sem barras de transferência, tem-se em média uma espessura entre 15 e 20 cm, em placas de 4 a 6 metros de comprimento com 3 a 4 metros de largura. Em casos como este deve ser executada a sub-base tratada com cimento ou ser executada uma camada de concreto rolado, reduzindo-se os efeitos de erosão na região de encontro entre duas placas. Nos pavimentos com barras de transferência a espessura média da placa de concreto é de 16 a 45 cm de espessura e suas dimensões em planta podem chegar a 7 metros. Nas figuras 6 e 7, pode-se observar a diferença entre a estrutura da placa de concreto simples sem barras de transferência e com barras de transferência.

Figura 6 – Pavimento de concreto simples



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, [2013])

Figura 7 – Pavimento de concreto simples com barras de transferência



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, [2013])

Santana (2008, p. 22) explica, também, que a placa de concreto, devido à sua grande superfície exposta a agentes externos, necessita de um concreto que sofra a menor retração possível e que tenha resistência suficiente para suportar os esforços impostos pelas condições climáticas desfavoráveis.

Santana (2008, p. 23) cita, ainda que, em um pavimento de concreto simples, a resistência aos esforços de tração é suportada somente pelo concreto. Tendo isso em vista, o concreto deve

apresentar elevada resistência à tração na flexão para ser capaz de suportar o momento fletor atuante. Quando a resistência do concreto à tração é aumentada, e, conseqüentemente, sua resistência à compressão, tem-se um maior consumo de cimento, o que gera um aumento significativo no custo do material. Além disso, quanto maior a quantidade de cimento, mais retrátil é o concreto. Sendo assim, um dos desafios no momento de dosar o concreto é a busca de um consumo de cimento que proporcione resistência adequada, sem acentuar demasiadamente o problema da retração. Com isso, observa-se que o ideal é utilizar uma baixa relação água/cimento, devendo sempre atentar para a mistura como um todo, já que, normalmente as condições de concretagem exigem um concreto duro, de consistência seca, mas com uma trabalhabilidade mínima que garanta homogeneidade, densidade e impermeabilidade adequadas. Na figura 8, pode-se visualizar parte do processo de execução da placa de concreto simples antes da passagem da régua vibratória para acabamento da superfície do concreto.

Figura 8 – Execução do pavimento de concreto simples em via urbana



(fonte: foto da autora)

4.2 PAVIMENTO DE CONCRETO COM ARMADURA DISTRIBUÍDA

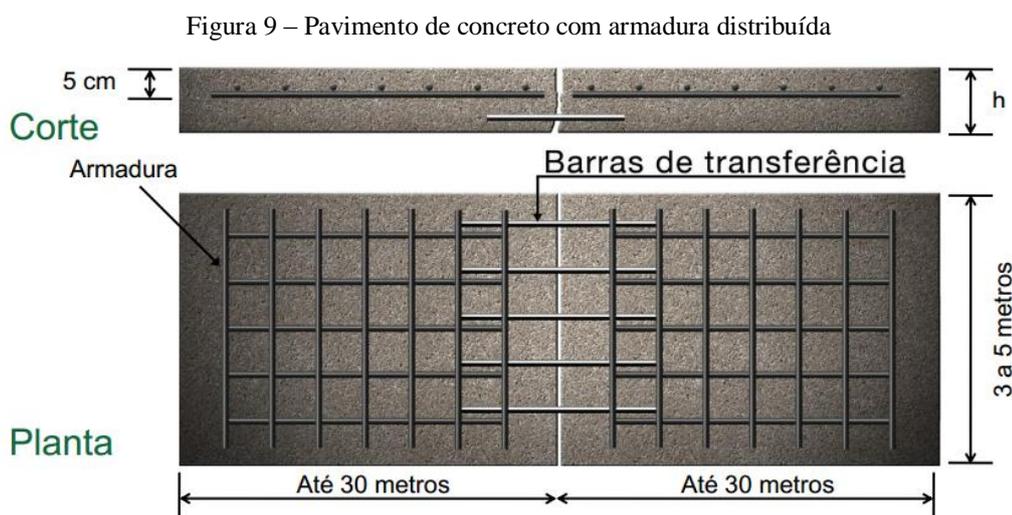
Segunda a *Federal Aviation Administration* (2009, p. 44), placas de concreto podem conter barras de aço de reforço ou telas de arame soldado embutidos nas placas para o controle de

fissuras. O principal benefício da incorporação de aço é que, apesar de não evitar fissuras, ele mantém as fissuras que se formam unidas, fornecendo integridade estrutural e ajudando a manter o desempenho do pavimento por um maior tempo de vida útil. Mantendo as fissuras fechadas, o aço minimiza a infiltração de detritos para dentro das fendas.

Os requisitos de dimensionamento da espessura para pavimentos de concreto com armadura distribuída são os mesmos de pavimentos de concreto simples e podem ser determinadas com o uso do programa FAARFIELD. A incorporação do aço de armadura distribuída permite um maior espaçamento entre juntas. Desta maneira, tem-se um número menor de juntas, fator este que deve ser considerado na decisão de usar armadura distribuída no pavimento de concreto simples.

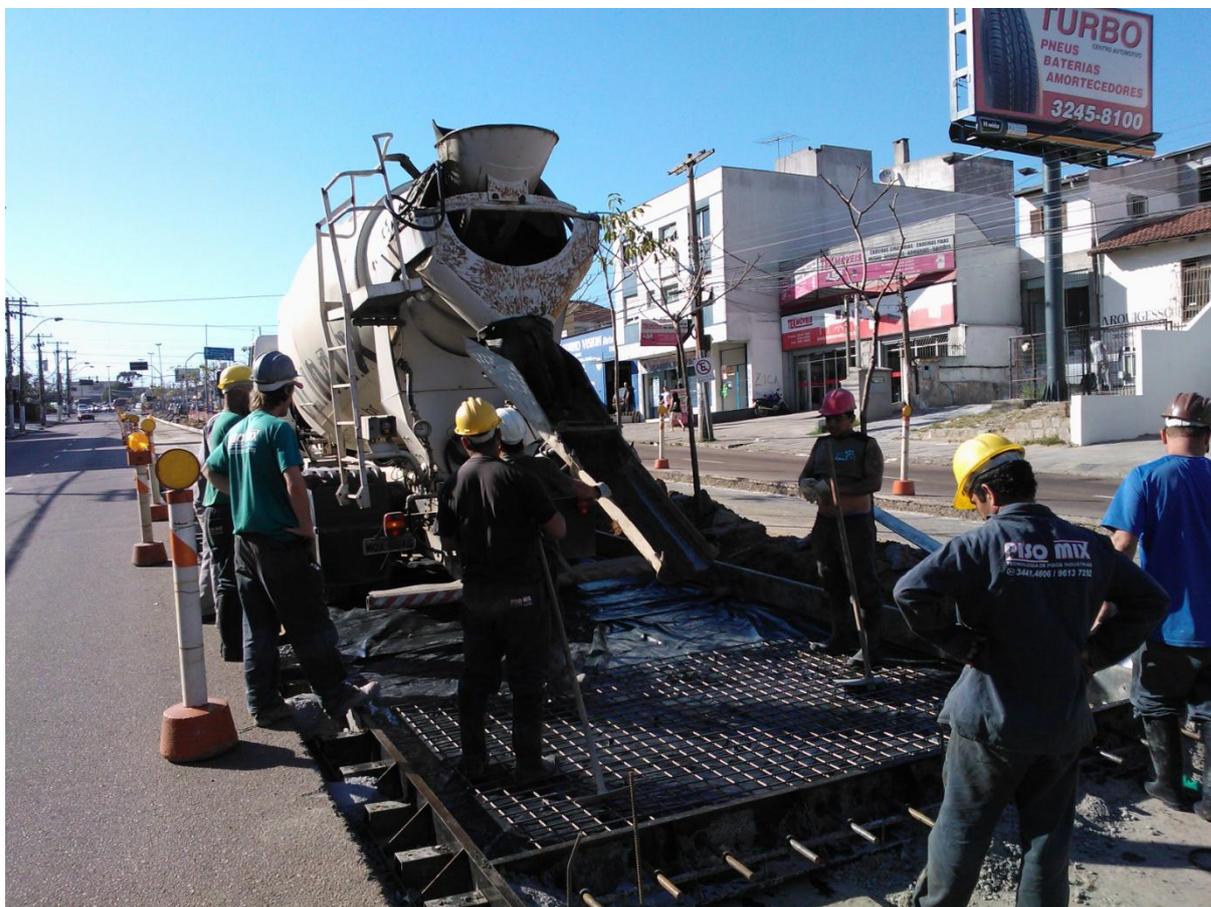
Cristelli (2010, p. 35) cita que os pavimentos de concreto com armadura distribuída são compostos por placas de concreto e por uma tela posicionada no terço superior da placa, com o objetivo de controlar as fissuras causadas por dilatação higró-termica.

A estrutura formada por placas com armadura distribuída, com dimensões normalmente adotadas, pode ser observada na figura 9. Na figura 10 pode-se observar o processo de execução do pavimento com armadura distribuída.



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, [2013])

Figura 10 – Execução de pavimento de concreto com armadura distribuída



(fonte: foto da autora)

4.3 PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO

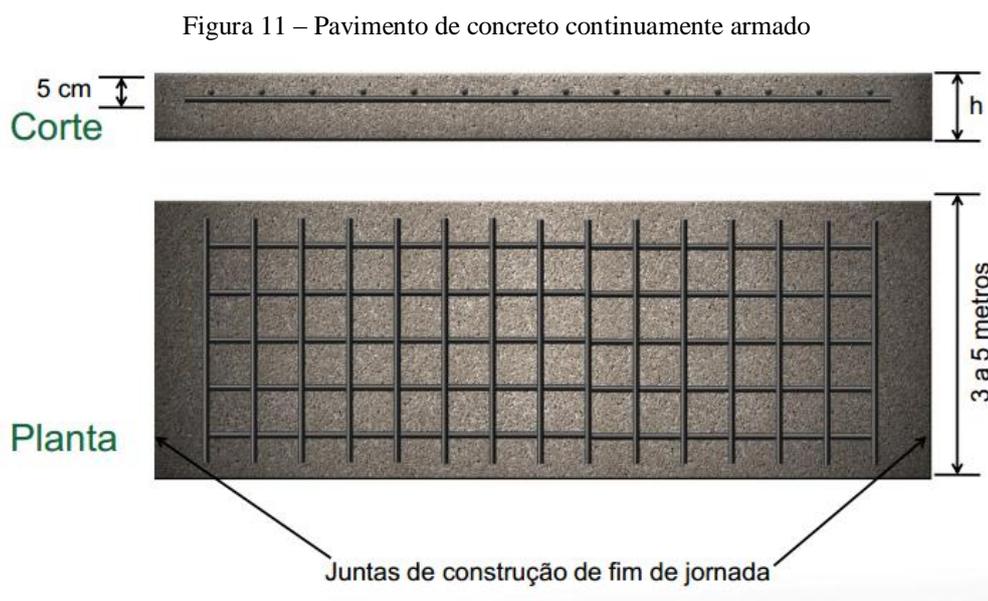
A *Federal Aviation Administration* (2009, p. 48), cita que um pavimento de concreto continuamente armado, é um pavimento de concreto de cimento Portland com aço longitudinal contínuo embutido e sem isolamento transversal intermediário ou juntas de contração. Pavimentos de concreto continuamente armados normalmente contém cerca de 0,5 a 1,0 por cento de aço incorporado longitudinalmente, em relação a área de seção.

A principal vantagem do pavimento de concreto continuamente armado é a redução do número de juntas transversais, que são trabalhosas para se construir, requerem selagem periódica, e são muitas vezes uma fonte de problemas de manutenção. O pavimento de concreto continuamente armado corretamente projetado irá desenvolver trincas transversais

aleatórias em intervalos de 0,6 a 3,0 m. O pavimento resultante é composto por uma série de placas curtas, firmemente mantidas juntas por aço de reforço longitudinal.

A *Federal Aviation Administration* (2009, p. 48, tradução nossa) cita que o aço de reforço em um pavimento de concreto continuamente armado proporciona continuidade de transferência de carga. No entanto, ainda deve ser fornecida uma boa capacidade de suporte pela fundação, que deve ser uniforme para um desempenho satisfatório. As exigências de espessura para um pavimento de concreto continuamente armado são os mesmos que para um pavimento de concreto simples. Os dados de entradas de projeto são os mesmos: resistência do concreto à flexão, módulo do subleito, propriedades dos materiais para as camadas de sub-base e informações do mix de aeronaves.

A figura 11 apresenta a estrutura da placa de concreto do pavimento continuamente armado.



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, [2013])

4.4 PAVIMENTO DE CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO

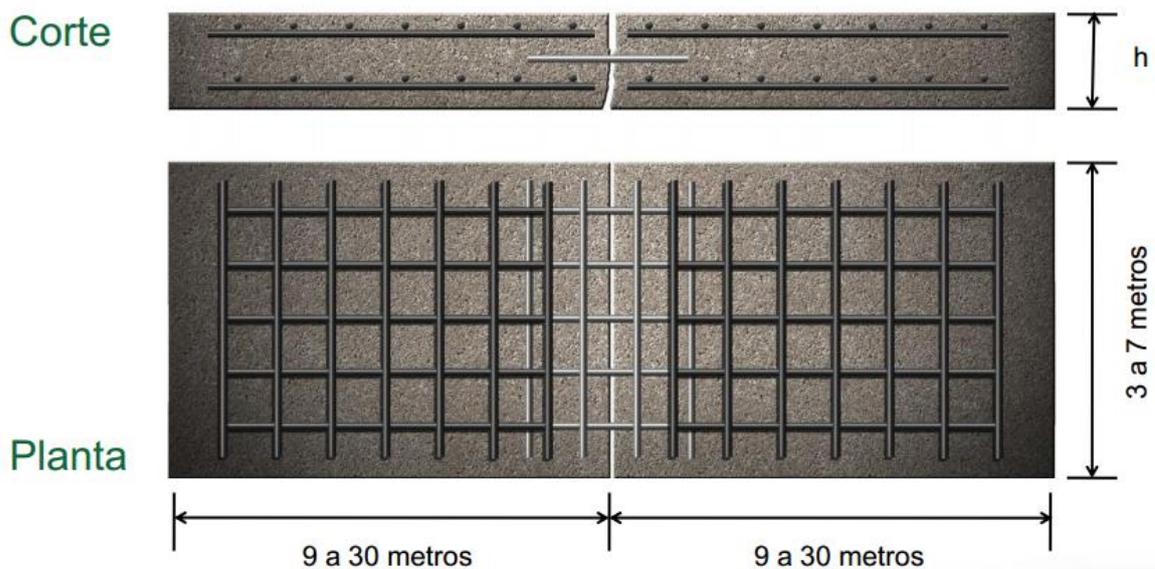
O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2004, p. 138) define o pavimento de concreto estruturalmente armado da seguinte forma:

O pavimento rígido de cimento Portland estruturalmente armado, é um pavimento de concreto armado, com armadura para suportar as tensões oriundas do tráfego, geralmente disposta na parte inferior da placa e uma armadura para combater os esforços de retração e empenamento, disposta na parte superior da placa.

Igualmente, o Instituto Brasileiro de Tela Soldada (2004, p. 8-9) cita que o pavimento de concreto estruturalmente armado deve apresentar armadura positiva para a absorção dos momentos fletores, podendo ou não apresentar armadura negativa para o controle das fissuras por retração hidráulica. Diferentemente dos pavimentos de concreto simples, que tem limitações quanto ao tamanho da placa, o pavimento estruturalmente armado pode ser dimensionado com placas de grandes dimensões, bastando para isso estabelecer uma taxa de armadura compatível com as suas necessidades. Além desta vantagem, outro ponto fundamental que influencia na sua adoção é relativo às questões ambientais, já que consome menos volume de matéria prima, devido à menor espessura das placas.

O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2004, p. 139) cita que as vantagens deste pavimento são a redução da espessura da placa, maior espaçamento entre as juntas, tanto as transversais como as longitudinais, gerando, com isso, gastos menores em manutenções, uma vez que há menos extensão de juntas. Nas juntas de construção e de retração devem haver mecanismos de transferência de carga, como por exemplo, as barras de transferência de carga, com encaixe tipo macho-fêmea ou entrosagem dos agregados. Para este tipo de projeto são utilizadas sub-bases tratadas com cimento. Na figura 12 pode-se observar a estrutura da placa de concreto estruturalmente armado.

Figura 12 – Pavimento de concreto estruturalmente armado



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, [2013])

4.5 PAVIMENTO DE CONCRETO PROTENDIDO

Segundo a *Federal Aviation Administration* (2009, p. 55, tradução nossa), pavimentos de concreto protendido têm sido utilizados em aeroportos na Europa e nos Estados Unidos. Os pavimentos de concreto protendido de aeroportos são, geralmente, pós-tensionado com cordoalhas de aço de alta resistência. Estes pavimentos normalmente apresentam espessura mais delgada do que os demais tipos de pavimentos rígidos e ainda proporcionam alta capacidade de suporte de cargas. As placas têm, geralmente, comprimentos que podem chegar a até 150 m.

Rudloff Industrial Ltda. (2005, p. 3) salienta algumas vantagens do emprego do concreto protendido para pavimento:

No pavimento em concreto protendido a resistência à tração é aumentada pela compressão prévia aplicada ao concreto pela protensão. Com isto, a espessura se torna consideravelmente menor, as placas podem ser muito maiores e conseqüentemente as juntas - quase sempre o ponto fraco do pavimento, muito menos frequentes. A redução de espessura do concreto cobre aproximadamente o custo da protensão.

Rudloff Industrial Ltda. (2005, p. 3) cita que a placa de concreto protendido quando comprimida se constitui num pavimento praticamente impermeável e sem trincas, resguardando a sub-base principalmente do fenômeno de bombeamento dos materiais mais finos da camada do subleito. Utilizou-se o concreto protendido para a pavimentação em 1945, as primeiras experiências foram realizadas na Europa e nos Estados Unidos. Na Austrália, na década de 60, a solução foi utilizada em pisos industriais.

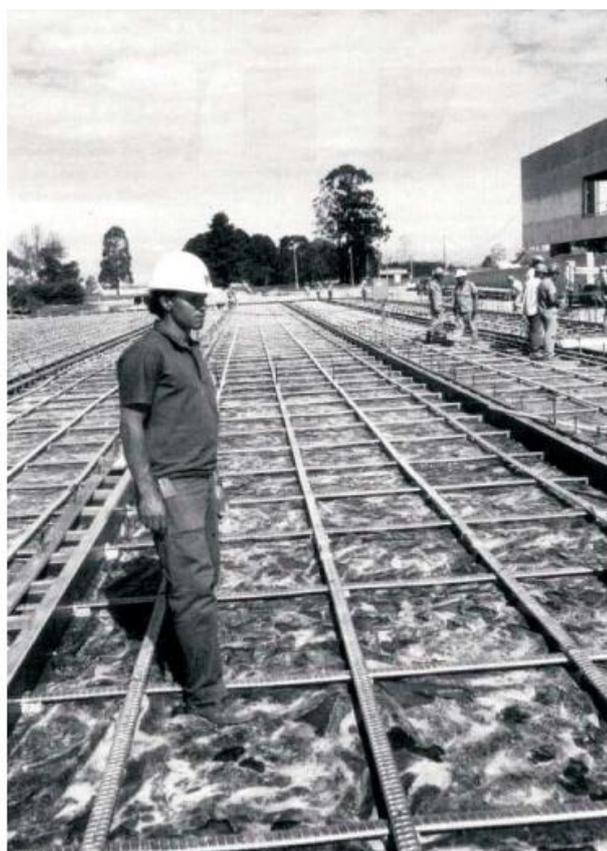
Rudloff Industrial Ltda. (2005, p. 3) cita que em princípio, há três maneiras de se conseguir a protensão de um pavimento:

- a) protensão externa por meio de macacos hidráulicos ou tóricos apoiados em estruturas ancoradas no solo;
- b) pré-tensão por meio de fios ou cordoalhas de aço pré-tensionados entre estruturas ancoradas no solo, com transferência imediata da força de protensão ao concreto, por aderência;
- c) protensão do concreto através de sistemas de pós-tensão, com ou sem aderência posterior.

Rudloff Industrial Ltda. (2005, p. 4) relata que quando em condições normais de uso quase não ocorrem tensões de tração no pavimento com placa de concreto protendida, as tensões podem ser controladas através da protensão, podendo ser protensão completa, limitada ou mesmo parcial, caso se queira admitir a fissuração na parte inferior do pavimento. Diferente das outras estruturas de pavimentos, as juntas de dilatação, maior fonte de quebras na placa convencional, podem ser distanciadas de até 150 metros uma da outra, porém são mais difíceis de executar que as juntas das placas convencionais de concreto simples.

As dimensões médias da placa dadas por Rudloff Industrial Ltda. (2005, p. 12) mostram que a área a ser pavimentada é dividida em faixas de 3 a 7 metros de largura, dependendo do processo de concretagem elas chegam até 150 metros de comprimento. Na figura 13 há a imagem da estrutura de uma placa protendida antes da concretagem.

Figura 13 – Pavimento de concreto protendido



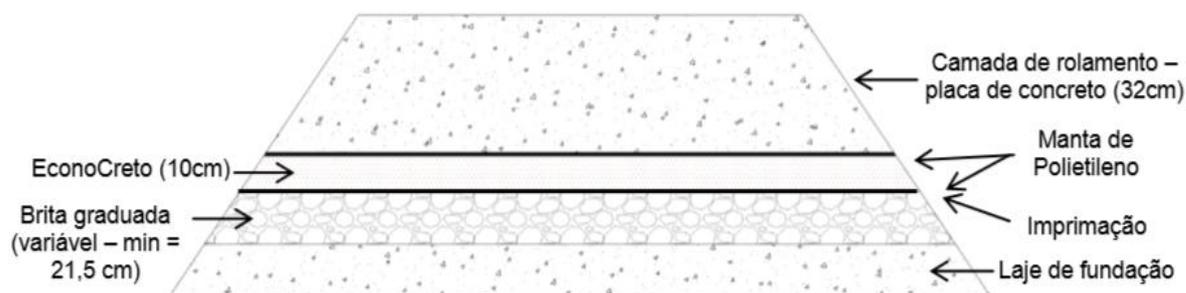
(fonte: RUDLOFF INDUSTRIAL LTDA., 2005, p. 16)

5 PROJETO BÁSICO DE AMPLIAÇÃO DO PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE AERONÁVES DO AEROPORTO SALGADO FILHO ELABORADO PELA EMPRESA ECOPLAN ENGENHARIA LTDA.

O Projeto Básico de ampliação do pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho elaborado pela Ecoplan Engenharia Ltda. considerou, em seu dimensionamento, aspectos de viabilidade técnica, prazo de execução da obra, condições geotécnicas e custos. Os procedimentos adotados para o dimensionamento do pavimento da ampliação do pátio de estacionamentos de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho foram determinados nas especificações da FAA, incluídas na *Circular AC 150/5370-10* (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2009).

A figura 14, mostra as camadas projetadas para o pavimento do pátio de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho, que constam no Projeto Básico da Ecoplan Engenharia Ltda. (2012).

Figura 14 – Estrutura do pavimento para o pátio de estacionamento de aeronaves



(fonte: ECOPLAN ENGENHARIA LTDA., 2012, p. 14)

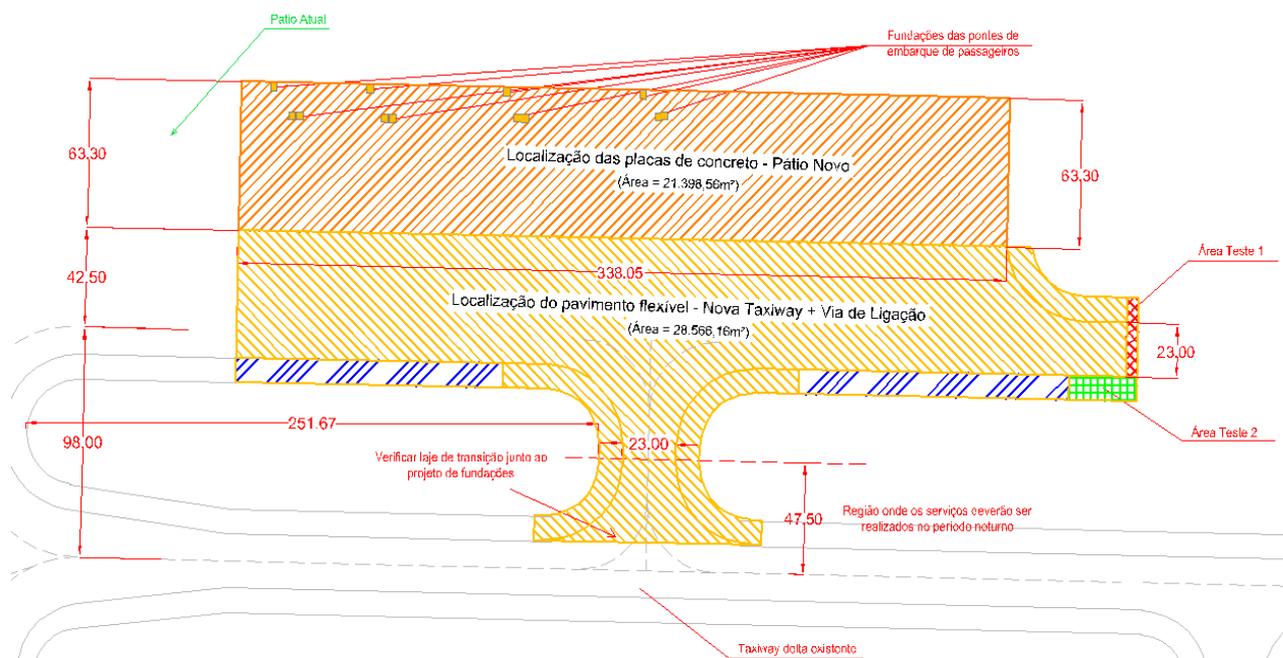
O Memorial Descritivo da Ecoplan Engenharia Ltda. (2012, p. 15) cita que a armadura das placas de concreto deva ser constituída por aço CA-50. Nas barras de transferência de carga será utilizado aço CA-25. Estas barras de transferência devem ser lisas, para permitirem sua movimentação quando a placa contrai ou dilata, garantindo uma maior durabilidade do

pavimento. Recomenda-se no projeto, também, a utilização de barras galvanizadas ou revestidas com epóxi.

Foi determinado que a resistência característica à tração na flexão do concreto endurecido, aos 28 dias, deve ser superior a 5 MPa. A resistência a compressão característica do concreto aos 28 dias deve ser superior a 40 MPa e a camada de EconoCreto deve apresentar resistência à compressão axial aos 7 dias compreendida entre 3,5 e 5,0 MPa.

A região a ser pavimentada possui uma área de 21.398,56 m². Na figura 15 pode-se verificar as dimensões que compõem esta área.

Figura 15 – Planta de localização do projeto básico



(fonte: ECOPLAN ENGENHARIA LTDA., 2012)

No Memorial Descritivo da Ecoplan Engenharia Ltda. (2012, p. 5) cita-se que a *Federal Aviation Administration* identifica três tipos de pavimentos rígidos para emprego em aeroportos civis, ou seja, pavimentos de concreto:

- de cimento Portland simples, com barras de transferência;
- com armadura de aço para controle do trincamento; e
- continuamente armado.

Esses tipos de pavimentos rígidos já foram detalhados no capítulo 4 deste trabalho. O tipo de pavimento rígido escolhido para o Pátio Novo é o constituído por placas de concreto, com barras de transferência e ligação e armadura para controle do trincamento.

A Ecoplan Engenharia Ltda. (2012, p. 5-6) observa que a *Federal Aviation Administration* determina que as espessuras de camadas com armadura de aço para controlar o trincamento, assim como as espessuras de placas com concreto continuamente armado sejam consideradas da mesma maneira que placas de concreto simples, não sendo possível uma redução na espessura da placa. A incorporação de aço, além de controlar o trincamento, permite aumentar o espaçamento entre as juntas transversais.

O critério utilizado pela Ecoplan Engenharia Ltda. (2012, p. 5-6) para o dimensionamento do novo pátio de estacionamento de aeronaves, está baseado na máxima tensão horizontal na borda inferior da placa de concreto como indicador da previsão da vida-útil do pavimento. Esta tensão é determinada considerando uma condição crítica de carregamento na borda do pavimento.

O dimensionamento da espessura da placa de revestimento de concreto foi realizado com a utilização do software FAARFIELD 1.305 que acompanha a Circular AC 150/5320-6E (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2009).

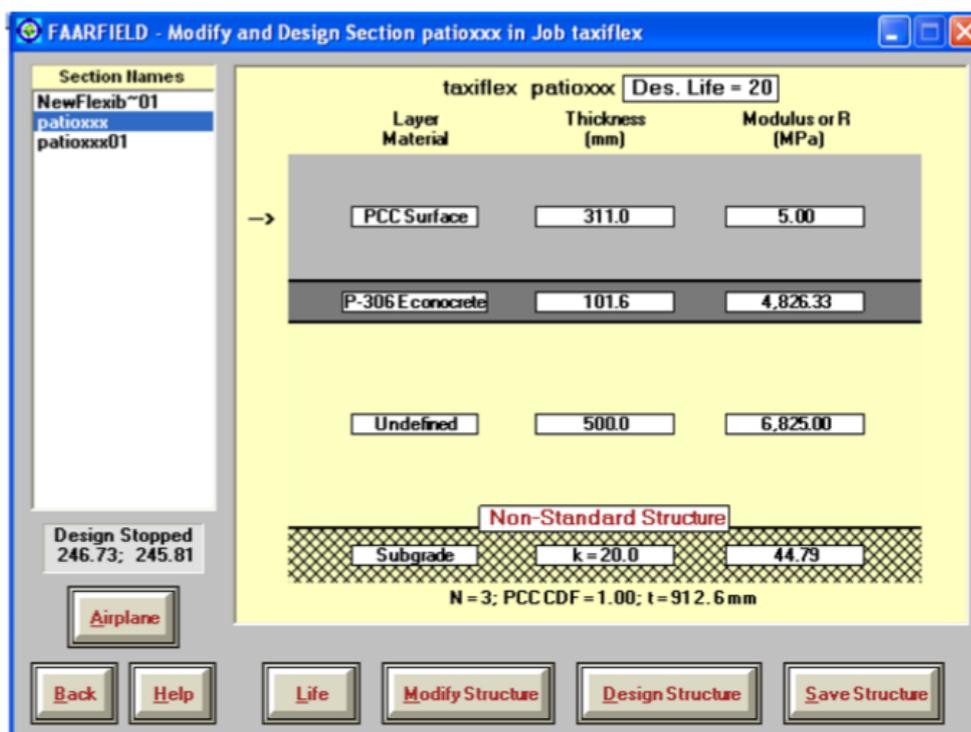
As camadas utilizadas para o dimensionamento do pavimento estão mostradas na figura 16. Esta imagem mostra uma tela do programa após o dimensionamento da placa de concreto, que resultou em uma espessura de 311 mm. Este valor foi arredondado para 320 mm, de maneira a garantir a segurança da estrutura, visando facilidade no momento da execução.

O período de vida útil, considerado para o dimensionamento do projeto, é de 20 anos. Foi adotado, também, um coeficiente de recalque $k = 20 \text{ MPa/m}$ para o subleito, constituído pela camada de argila mole e pelos capitéis das estacas. Já que o espaçamento entre os centros de duas estacas contíguas de 4 m e os capitéis terão largura de 2 m, os dois metros centrais da laje de fundação estarão apoiados em uma camada de argila mole. Sendo a distribuição transversal das passagens das cargas aproximadamente normal, é certo que parte das passagens dos carregamentos ocorrerá sobre as faixas centrais apoiadas diretamente na camada de argila mole.

As espessuras das camadas do pavimento do pátio de estacionamento são:

- espessura da placa de concreto igual a 320 mm;
- espessura da camada de EconoCreto igual a 100mm;
- espessura da camada de brita graduada variável (mínimo 215).

Figura 16 – Dimensionamento da espessura da camada de rolamento do pavimento.



(fonte: ECOPLAN ENGENHARIA LTDA., 2012, p. 11)

As espessuras das camadas do pavimento do pátio de estacionamento de são:

- espessura da placa de concreto igual a 320 mm;
- espessura da camada de EconoCreto igual a 100mm;
- graduada variável (mínimo 215).

As propriedades dos materiais utilizadas para o dimensionamento da placa de concreto foram:

- resistência à tração na flexão do concreto = 5,0 MPa;
- módulo de elasticidade da camada de EconoCreto = 4800 MPa;
- módulo de elasticidade da camada de brita graduada = 100 MPa.

5.1 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DO PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM ARMADURA DISTRIBUÍDA

O resultado do cálculo da área de armadura (comprimento de 21,1 m e larguras de 5 m e 3,05 m) está mostrado no quadro 2.

Quadro 2 – Área de armadura considerando os comprimento de 21,1 m e as larguras de 5 m e 3,05 m

Comprimento ou largura da placa [m]	As [cm ² /m]	As mínimo [cm ² /m]	As adotado [cm ² /m]	Diâmetro [mm] e espaçamento entre as barras [cm]
3,05	0,18	1,60	1,60	Φ 8 c/ 30 cm
5	0,38	1,60	1,60	Φ 8 c/ 30 cm
21,1	3,79	1,60	3,35	Φ 8 c/ 15 cm

(fonte: ECOPLAN ENGENHARIA LTDA., 2012, p. 15)

Barras de transferência devem ser utilizadas para garantir a transferência de carga entre as placas adjacentes de concreto, nas extremidades transversais e longitudinais ao comprimento destas placas, onde há juntas de contração e construção, respectivamente.

O dimensionamento das barras de transferência foi realizado de acordo com os procedimentos da Circular 150/5320-6E (Federal Aviation Administration, 2009). O comprimento e o espaçamento destas barras estão apresentados no quadro 3.

Quadro 3 – Comprimento e espaçamento das barras de transferência de carga

Tipo de barra	Comprimento [cm]	Diâmetro [mm]	Espaçamento [cm]
Transferência	52	32	30

(fonte: ECOPLAN ENGENHARIA LTDA., 2012, p. 15)

5.2 LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS E CÁLCULO DE CUSTOS DO PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM ARMADURA DISTRIBUÍDA

O cálculo dos quantitativos para o pavimento com armadura distribuída foi elaborado pela Ecoplan Engenharia Ltda. (2012) juntamente com o desenvolvimento do projeto básico para o

novo pátio de aeronáves do Aeroporto Salgado Filho. Os valores dos quantitativos estão apresentados no quadro 4.

Quadro 4 – Planilha de serviços e quantidades

Pavimentação - Pátio Novo		
	Unid.	Quantidade
Execução de Base de brita graduada	m ³	7.995,99
Geomembrana lisa PEAD espessura 2mm	m ²	42.797,12
Confecção e lançamento de EconoCreto	m ³	2.127,70
Imprimação	m ²	21.398,56
Execução de Concreto de cimento portland com forma deslizante	m ³	6.808,64
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 8mm	kg	83.041,00
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 16mm	kg	7.554,00
Barra de transferência CA-25 (Ø 32,0 mm / massa linear da barra: 6,24 kg/m)	kg	53.190,00
Ensaio resistência à flexão (3), compressão (2) módulo de elasticidade (2) pav. Concreto	Unid.	137,00
Ensaio resistência à compressão (3) e módulo de elasticidade (2) EconoCreto	Unid.	43,00
Execução de Junta de Isolamento	m	948,00
Execução de Junta de Construção	m	4.241,10
Execução de Junta de Contração	m	676,10

(fonte: adaptado de ECOPLAN ENGENHARIA LTDA., 2012, p. 3)

A composição dos custos foi retirada da tabela SICRO 2 de agosto de 2012. O orçamento, apresentado no quadro 5, considerou somente os itens que constam na planilha de quantidades do projeto básico elaborado pela EcoPLAN Engenharia Ltda. Este levantamento de custos resultou em uma quantia de R\$ 5.215.239,70. Demais variáveis, como tempo de execução do projeto, não foram avaliadas.

Quadro 5 – Planilha de serviços e custo

PROJETO BÁSICO - PAVIMENTO DO PÁTIO DE AERONÁVES DO AEROPORTO INTERNACIONAL SALGADO FILHO				
	Unid.	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
Execução de Base de brita graduada	m ³	R\$ 80,84	7.995,99	R\$ 646.395,83
Geomembrana lisa PEAD espessura 2mm	m ²	R\$ 18,91	42.797,12	R\$ 809.293,54
Confecção e lançamento de EconoCreto	m ³	R\$ 168,25	2.127,70	R\$ 357.985,53
Imprimação	m ²	R\$ 0,26	21.398,56	R\$ 5.563,63
Execução de Concreto de cimento portland com forma deslizante	m ³	R\$ 377,52	6.808,64	R\$ 2.570.397,77
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 8mm	kg	R\$ 5,66	83.041,00	R\$ 470.012,06
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 16mm	kg	R\$ 5,66	7.554,00	R\$ 42.755,64
Barra de transferência CA-25 (Ø 32,0 mm / massa linear da barra: 6,24 kg/m)	kg	R\$ 5,66	53.190,00	R\$ 301.055,40
Execução de Junta de Isolamento	m	R\$ 2,52	948,00	R\$ 2.388,96
Execução de Junta de Construção	m	R\$ 2,52	4.241,10	R\$ 10.687,57
Execução de Junta de Contração	m	R\$ 2,52	676,10	R\$ 1.703,77
			Total	R\$ 5.218.239,70

(fonte: elaborado pelo autor)

6 DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS ALTERNATIVOS PARA O NOVO PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE AERONAVES DO AEROPORTO SALGADO FILHO

Neste capítulo descreve-se o dimensionamento de pavimentos equivalentes em desempenho (mecânico e durabilidade) e funcionalidade ao Projeto Básico de ampliação do pátio de estacionamento de aeronaves do Aeroporto Salgado Filho, elaborado pela Ecoplan Engenharia Ltda.

Como já mencionado, os dimensionamentos das placas de concreto simples e continuamente armado obedeceram as regras da FAA, as quais constam no Circular 150/5320-6E (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2009). Já os critérios adotados para o pavimento estruturalmente armado foram os procedimentos da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

São desenvolvidas novas configurações para o projeto, com os tipos de pavimento simples, continuamente armado e estruturalmente armado. É realizado também, o levantamento dos quantitativos e cálculo dos custos, utilizando a tabela SICRO 2 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2012) como parâmetro de preços.

6.1 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS PARA O PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES

O dimensionamento da geometria máxima da placa foi realizado de acordo com os procedimentos da *Federal Aviation Administration*, Circular 150/5320-6E (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2009). A referida Circular indica que a dimensão máxima admissível para placas de concreto simples varia de acordo com a espessura da placa. No quadro 6, pode-se observar as relações entre espessura da placa, que deve-se manter a mesma que foi dimensionada para o Projeto Básico, e dimensão máxima admitida, para a espessura adotada para o pavimento com armadura distribuída. Para o caso da espessura da placa

dimensionada no Projeto Básico, tem-se uma espessura de 32 cm, o que segundo a *Federal Aviation Administration* (2009, p. 41) resulta em um espaçamento máximo de 4,6 metros.

Quadro 6 – Relação entre o tamanho da placa e o espaçamento máximo entre juntas de retração

Espessura da Laje [cm]	Espaçamento Máximo Entre Juntas [m]
26,7 - 33,0	4,6

(fonte: adaptado de FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2009, p. 41)

A área para a ampliação do Pátio apresenta dimensões 338,05m x 63,3m, resultando em uma área de 21.398,56 m². Tendo que o espaçamento máximo admitido entre juntas de retração é de 4,6 metros, e procurou-se utilizar o menor número de juntas possível, e conseqüentemente, gerou-se a configuração de placas apresentada no quadro 7. Esta configuração foi adotada de maneira a considerar valores múltiplos de 5 para a dimensão das placas, facilitando os trabalhos em campo. Nota-se na figura 17 que as três últimas colunas de placas bem como as três primeiras linhas apresentam dimensões diferenciadas das demais placas, de maneira a assegurar a relação de 1,25 entre o maior e o menor vão das placas, conforme os procedimentos da *Federal Aviation Administration* (2009).

Quadro 7 – Dimensões da Placa de Concreto Simples

Largura da Placa [m]	Comprimento da Placa [m]	Quantidade [un.]	Área de Placa [m ²]
4,60	4,60	781,00	21,16
4,25	4,60	213,00	19,55
4,60	3,75	33,00	17,25
4,25	3,75	9,00	15,94

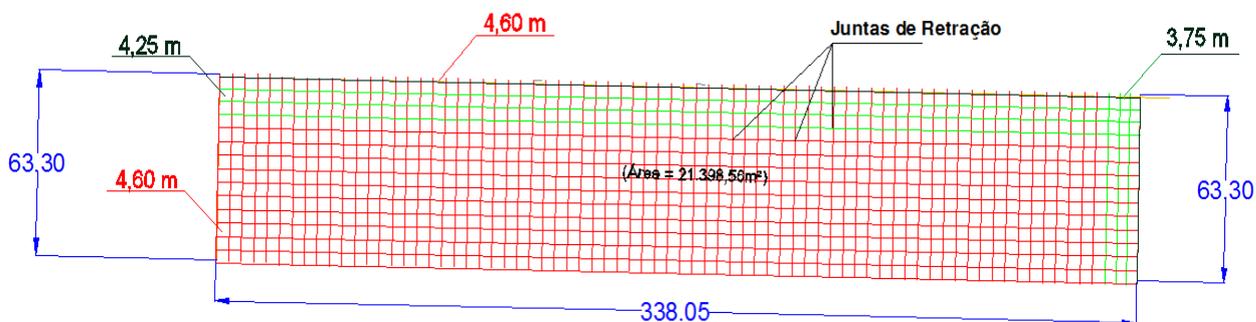
(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 17 apresenta a configuração das placas de concreto com suas devidas dimensões, bem como o *layout* das juntas de retração das placas para a área de projeto.

As barras de transferência terão as mesmas dimensões e espaçamentos apresentados anteriormente no quadro 3, do capítulo 5, já que estas independem do espaçamento entre as

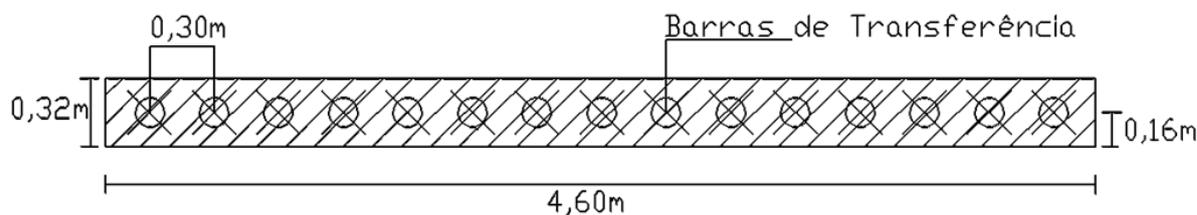
juntas, tendo somente a espessura da placa como fator de dimensionamento. Mostra-se na figura 18, um croquis com a configuração das barras na placa de concreto.

Figura 17 – Configuração da juntas de contração do pavimento de concreto



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 18 – Configuração das barras de transferência do pavimento de concreto simples



(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 CÁLCULO DE CUSTOS DO PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA

O levantamento de quantitativos da solução utilizando o pavimento de concreto simples sem armadura, apresentando somente barras de transferência, utilizou como base os itens que constam na planilha de quantitativos do Projeto Básico elaborado pela Ecoplan Engenharia Ltda.

Para o cálculo das barras de transferência, foi feita a contagem das barras, seguindo o espaçamento e tamanho de barras indicados no capítulo anterior. Segue memória de cálculo no quadro 8.

Quadro 8 – Demonstrativo do cálculo de aço CA-25

	Diâmetro [cm]	Comprimento [cm]	Massa [kg]	Quantidade [un.]	Massa Total [kg]
Barra de transferência CA-25	32,00	52,00	3,2448	29.364,00	95.280,31

(fonte: elaborado pelo autor)

No cálculo de execução de juntas foi considerado que todas as juntas são de contração, já que dispõe-se do mesmo custo em metros para a execução dos diversos tipos de juntas e que no momento da concretagem sempre é planejado que o final coincida com uma junta de contração.

Para o cálculo foram consideradas 73 vezes o tamanho de 338,05 metros, representando as divisões transversais entre as placas. Na longitudinal foram consideradas 13 vezes a dimensão de 63,30 metros. O somatório representa o total de 25.500,55 metros lineares de juntas a serem executadas.

O quadro 9 apresenta o levantamento do custos do projeto de pavimento simples com barras de transferência.

Quadro 9 – Planilha de serviços e custo do pavimento de concreto simples

PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES - PAVIMENTO DO PÁTIO DE AERONÁVES DO AEROPORTO INTERNACIONAL SALGADO FILHO				
	Unid.	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
Execução de Base de brita graduada	m ³	R\$ 80,84	7.995,99	R\$ 646.395,83
Geomembrana lisa PEAD espessura 2mm	m ²	R\$ 18,91	42.797,12	R\$ 809.293,54
Confecção e lançamento de EconoCreto	m ³	R\$ 168,25	2.127,70	R\$ 357.985,53
Imprimação	m ²	R\$ 0,26	21.398,56	R\$ 5.563,63
Execução de Concreto de cimento portland com forma deslizante	m ³	R\$ 377,52	6.808,64	R\$ 2.570.397,77
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 8mm	kg	R\$ 5,66	-	R\$ -
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 16mm	kg	R\$ 5,66	-	R\$ -
Barra de transferência CA-25 (Ø 32,0 mm / massa linear da barra: 6,24 kg/m)	kg	R\$ 5,66	95.280,31	R\$ 539.286,54
Execução de Junta de Isolamento	m	R\$ 2,52	-	R\$ -
Execução de Junta de Construção	m	R\$ 2,52	-	R\$ -
Execução de Junta de Contração	m	R\$ 2,52	25.500,55	R\$ 64.261,39
			Total	R\$ 4.993.184,22

(fonte: elaborado pelo autor)

Os materiais e serviços que não apresentam variação de sua quantidade com a troca da solução de projeto da placa de concreto, foram mantidos sem alteração, apresentando os mesmos valores vistos na planilha de serviços e custos do projeto elaborado pela Ecoplan Engenharia Ltda. (2012).

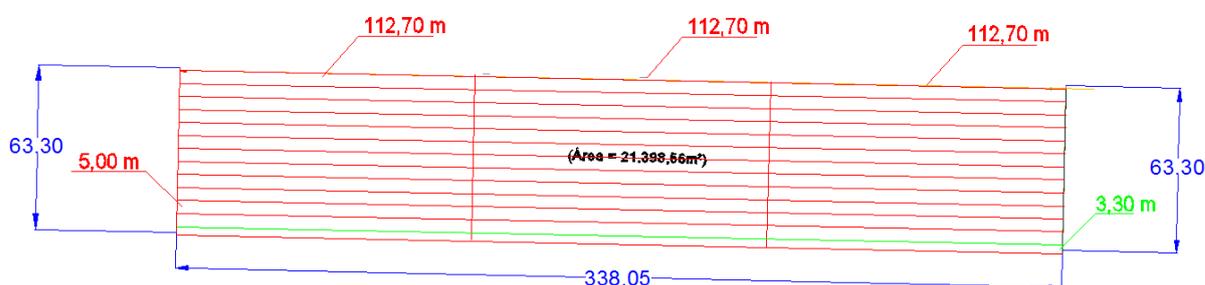
6.3 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS PARA O PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO

Segundo a *Federal Aviation Administration* (2009, p. 48-49), a principal vantagem do pavimento de concreto continuamente armado é a eliminação de juntas de contração, que são trabalhosas de construir, requerem selagem periódica, e são muitas vezes problemáticas quando submetidas a manutenção.

No projeto de um pavimento de concreto continuamente armado, a largura das juntas de construção deve ser pequena para proporcionar um elevado grau de transferência de cisalhamento e para impedir a penetração de água. O projeto de aço embutido longitudinal deve satisfazer três condições citadas a seguir. A percentagem máxima de aço determinada por qualquer um dos seguintes três requisitos devem ser selecionada como o valor de projeto. Em nenhum caso, a percentagem de armadura longitudinal pode ser inferior a 0,5 por cento da área da seção transversal da placa de concreto.

As placas foram divididas, primeiramente, conforme a configuração apresentada na figura 19. O tamanho das placas foi limitado a um volume diário de concretagem que não ultrapasse 200 m³/ dia. A inserção da armadura contínua, não altera a espessura da placa, ou seja, o cálculo da espessura da placa é realizado igualmente à estrutura simples, sendo necessários 32 cm de espessura.

Figura 19 – Configuração das placas do pavimento continuamente armado



(fonte: elaborado pelo autor)

A primeira equação que deve resultar em um percentual de aço maior que 0,5 por cento é a do aço incorporado longitudinalmente necessário para resistir às forças geradas pelo atrito entre o apoio de o pavimento de concreto continuamente armado e a sub-base. Ele deve ser determinado usando a equação 1:

—
(equação 1)

Onde:

F= fator de atrito do subleito;

= resistência a tração do concreto;

= tensão admissível do aço;

Ps= porcentagem de aço.

Conforme projeto aprovado desenvolvido pela Ecoplan Engenharia Ltda., tem-se os seguintes valores:

F = 1,8;

= 485,87 psi;

= 54.389,11 psi;

Ps = 0,84%.

O aço incorporado longitudinal deve ser capaz de resistir às forças geradas pela expansão e contração do pavimento, devido a alterações de temperatura. A equação 2 é usada para calcular o percentual de aço para resistir as tensões geradas pelos gradientes térmicos:

—————
(equação 2)

Onde:

= resistência à tração do concreto;

= tensão admissível do aço;

T= variação máxima de temperatura para o pavimento em Fahrenheit;

Ps= porcentagem de aço.

Conforme projeto aprovado desenvolvido pela Ecoplan Engenharia Ltda., tem-se os seguintes valores:

= 485,87 psi;

$$= 54.389,11 \text{ psi};$$

$$T = 68^{\circ}\text{F}.$$

$$O_s = 0,59\%$$

A terceira consideração no dimensionamento da quantidade de aço incorporado longitudinalmente é a razão entre a força de tração do concreto e a força de rendimento mínimo especificado de aço. A percentagem de aço é obtida multiplicando a razão entre a resistência do concreto e a resistência ao escoamento do aço por 100, a fórmula é apresentada na equação 3:

(equação 3)

Onde:

= resistência a tração do concreto;

= tensão mínima admissível do aço;

Ps = percentagem de aço.

Conforme projeto aprovado desenvolvido pela Ecoplan Engenharia Ltda., tem-se os seguintes valores:

$$= 485,87 \text{ psi};$$

$$= 72518,85 \text{ psi};$$

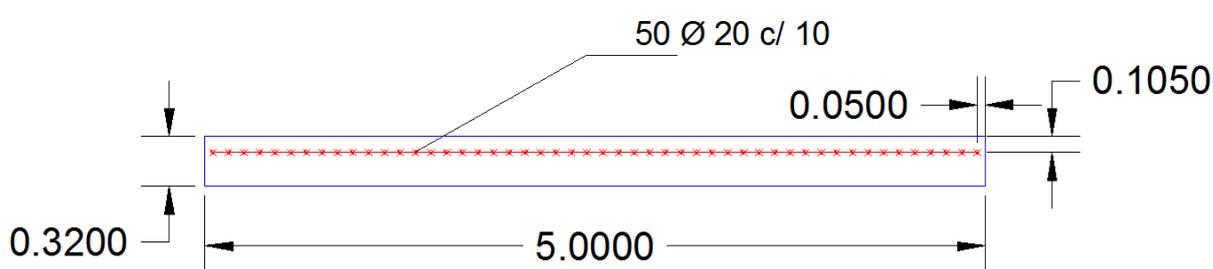
$$Ps = 0,67\%.$$

Após o cálculo das três percentagens, deve-se adotar a solução que apresentar o maior valor para o dimensionamento da armadura. A primeira equação gerou a maior percentagem de aço, gerando um resultado de 0,84% de aço em relação a área transversal da placa.

A seção transversal da placa tem medidas de 5,00 m x 0,32 m, gerando uma área de 1,60 m². A área de armadura necessária corresponde a 0,84% de 1,60 m², resultando em uma área de 134 cm² de armadura. Dividindo este valor pela largura da área transversal de 5 metros, determina-se a quantidade de aço inserida necessária a cada metro linear. Necessita-se de uma área de 27 cm²/m para satisfazer uma percentagem de 0,84% de aço.

Com barras de diâmetro de 20 mm, tem-se uma área circular de 3,15 cm². Espassando as barras a cada 10 cm, gera-se uma área de 31,5 cm²/m, superando a área de armadura necessária. Na figura 20, pode-se observar a distribuição das barras na área transversal da placa em metros. A altura da armadura é determinada dividindo-se a espessura da placa por 4 e somando mais 2,5 cm para cobertura da armadura.

Figura 20 – Configuração da armadura longitudinal para o pavimento de concreto continuamente armado.



(fonte: elaborado pelo autor)

A armadura transversal é recomendada para controlar fissuras longitudinais que possam vir a se formar. Ela ainda auxilia na manutenção de espaçamento de aço incorporado longitudinal. A equação 4 é usada para determinar os requisitos de aço transversais:

(equação 4)

W_s = largura da laje = 1,05 pés;

F = fator de atrito de subleito = 1,80;

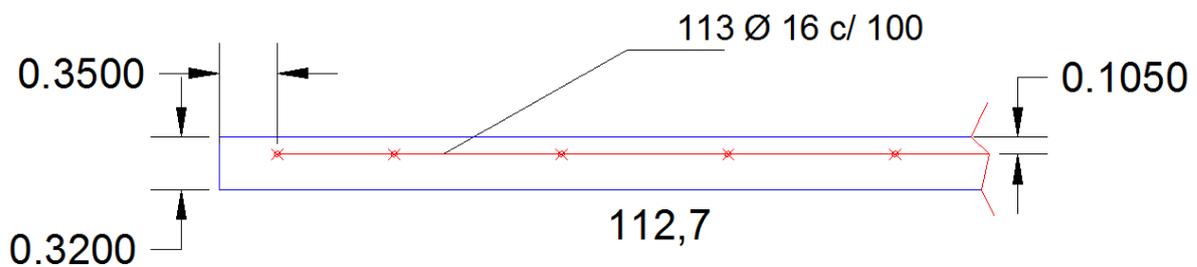
= tensão admissível do aço = 500 MPa * 75% = 54.389,11 psi;

P_s = porcentagem de aço = 0,0017%.

A porcentagem de aço obtida pela equação é inferior a porcentagem mínima, que corresponde a 0,05%. Adota-se a porcentagem mínima, que corresponde a área de 112,68 m x 0,32m x 0,05%, que resulta em 1,60 cm²/m.

Utilizando-se barras com diâmetro de 16 mm, tem-se uma área circular de 2,00 cm², distribuídas a cada 100 cm. Na figura 21 pode-se verificar a distribuição das barras na área transversal. Esta configuração adotada é suficiente para suprir o valor mínimo de 1,60 cm²/m.

Figura 21 – Configuração da armadura transversal para o pavimento de concreto continuamente armado.



(fonte: elaborado pelo autor)

6.4 CÁLCULO DE CUSTOS DO PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO

Na planilha de serviços e custos do pavimento de concreto continuamente armado, assim como na planilha da placa de concreto simples, os serviços que não sofreram alteração com a mudança de projeto da placa de concreto foram mantidos com os mesmos valores.

Foram consideradas juntas somente de construção, sendo utilizadas barras de transferência de diâmetro igual a 32 mm, espaçadas a cada 30 cm em todas as áreas de contato entre placas. No quadro 10 pode-se observar o cálculo da massa total das juntas de construção e barras de transferência.

Quadro 10 – Cálculo de execução de juntas de construção e barras de transferência

	Diâmetro [cm]	Comprimento [cm]	Massa [kg]	Quantidade [un.]	Total [kg]
Barra de transferência CA-25	32,00	52,00	3,2448	13.934,00	45.213,04
	Comprimento Total [m]	Largura Total [m]	Nº de Juntas Longitudinais	Nº de Juntas Transversais	Total [m]
Exec. de Junta de Construção	338,05	63,30	12	2,00	4.183,20

(fonte: elaborado pelo autor)

O quadro 11 apresenta o cálculo da armadura do pavimento de concreto continuamente armado, com os diâmetros calculados anteriormente. Foi considerado nos cálculos que a cada 12 metros de barra de aço CA-50, são necessários 50 cm de ancoragem.

O quadro 12 apresenta os quantitativos resultantes do dimensionamento do pavimento de concreto continuamente armado.

Quadro 11 – Cálculo da armadura do pavimento de concreto continuamente armado

	kg/m	Nº de Barras	Largura das Placas	Comprimento [m]	Nº de Placas	Total [kg]
Aço CA-50 - Ø 20mm (Armadura Longitudinal)	2,465	50,00	5,00	117,55	36,00	521.552,05
Aço CA-50 - Ø 20mm (Armadura Longitudinal)	2,465	33,00	3,30	117,55	3,00	28.685,36
Aço CA-50 - Ø 16mm (Armadura Transversal)	1,577	113,00	5,00	5,00	36,00	32.076,18
Aço CA-50 - Ø 16mm (Armadura Transversal)	1,577	113,00	3,30	3,30	3,00	1.764,19

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 12 – Planilha de serviços e custo do pavimento de concreto continuamente armado

PROJETO - PLACA DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO				
	Unid.	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
Execução de Base de brita graduada	m ³	R\$ 80,84	7.995,99	R\$ 646.395,83
Geomembrana lisa PEAD espessura 2mm	m ²	R\$ 18,91	42.797,12	R\$ 809.293,54
Confeção e lançamento de EconoCreto	m ³	R\$ 168,25	2.127,70	R\$ 357.985,53
Imprimação	m ²	R\$ 0,26	21.398,56	R\$ 5.563,63
Execução de Concreto de cimento portland com forma deslizante	m ³	R\$ 377,52	6.808,64	R\$ 2.570.397,77
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 20mm	kg	R\$ 5,66	550.237,41	R\$ 3.114.343,73
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 16mm	kg	R\$ 5,66	33.840,37	R\$ 191.536,49
Barra de transferência CA-25 (Ø 32,0 mm / massa linear da barra: 6,24 kg/m)	kg	R\$ 5,66	45.213,04	R\$ 255.905,82
Execução de Junta de Isolamento	m	R\$ 2,52	-	R\$ -
Execução de Junta de Construção	m	R\$ 2,52	4.183,20	R\$ 10.541,66
Execução de Junta de Contração	m	R\$ 2,52	-	R\$ -
			Total	R\$ 7.961.964,01

(fonte: elaborado pelo autor)

Para verificar a diferença de custos, foram também realizados os cálculos dimensionando as placas no outro sentido do pavimento (norte-sul ao invés de leste-oeste), conforme mostra a figura 22.

Figura 22 – Configuração das placas dimensionadas em outro sentido do pavimento



(fonte: elaborado pelo autor)

No quadro 13 pode-se observar o cálculo da massa total das juntas de construção e barras de transferência com a nova configuração das barras.

Quadro 13 – Cálculo de execução de juntas de construção e barras de transferência com nova configuração das barras

	Diâmetro [cm]	Comprimento [cm]	Massa [kg]	Quantidade [un.]	Total [kg]
Barra de transferência CA-25	32,00	52,00	3,2448	14.070,00	45.654,34
	Comprimento Total [m]		Nº de Juntas		Total [m]
Exec. de Junta de Construção		63,30		67,00	4.241,10

(fonte: elaborado pelo autor)

O quadro 14 mostra o cálculo da armadura longitudinal e transversal para a nova configuração das barras. Foi considerado nos cálculos que a cada 12 metros de barra de aço CA-50, são necessários 50 cm de ancoragem. O quadro 15 apresenta o cálculo dos custos do pavimento continuamente armado com a nova configuração das placas.

Quadro 14 – Cálculo da armadura do pavimento de concreto continuamente armado com nova dimensão de placas

	kg/m	Nº de Barras/Placa	Largura [m]	Comprimento [m]	Nº de Placas	Total [kg]
Aço CA-50 - Ø 20mm (Armadura Longitudinal)	2,465	50,00	5,00	66,02	67,00	545.192,34
Aço CA-50 - Ø 20mm (Armadura Longitudinal)	2,465	30,00	3,05	66,02	1,00	4.882,32
Aço CA-50 - Ø 16mm (Armadura Transversal)	1,577	63,00	5,00	5,00	67,61	33.585,61
Aço CA-50 - Ø 16mm (Armadura Transversal)	1,577	63,00	3,05	5,00	1,00	496,76

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 15 – Planilha de serviços e custo do pavimento de concreto continuamente armado com placas dimensionadas em outro sentido do pavimento

PROJETO BÁSICO - PAVIMENTO DO PÁTIO DE AERONÁVES DO AEROPORTO INTERNACIONAL SALGADO FILHO				
	Unid.	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
Execução de Base de brita graduada	m ³	R\$ 80,84	7.995,99	R\$ 646.395,83
Geomembrana lisa PEAD espessura 2mm	m ²	R\$ 18,91	42.797,12	R\$ 809.293,54
Confecção e lançamento de EconoCreto	m ³	R\$ 168,25	2.127,70	R\$ 357.985,53
Imprimação	m ²	R\$ 0,26	21.398,56	R\$ 5.563,63
Execução de Concreto de cimento portland com forma deslizante	m ³	R\$ 377,52	6.808,64	R\$ 2.570.397,77
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 20mm	kg	R\$ 5,66	550.074,66	R\$ 3.113.422,60
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 16mm	kg	R\$ 5,66	34.082,36	R\$ 192.906,16
Barra de transferência CA-25 (Ø 32,0 mm / massa linear da barra: 6,24 kg/m)	kg	R\$ 5,66	45.654,34	R\$ 258.403,54
Execução de Junta de Isolamento	m	R\$ 2,52	-	R\$ -
Execução de Junta de Construção	m	R\$ 2,52	4.241,10	R\$ 10.687,57
Execução de Junta de Contração	m	R\$ 2,52	-	R\$ -
			Total	R\$ 7.965.056,17

(fonte: elaborado pelo autor)

Apesar de bastante próximas, pode-se observar que a segunda configuração apresenta um custo menor principalmente na quantidade de aço CA-50, de diâmetro igual a 20mm. Esta redução dos custos será melhor avaliada no capítulo 7, onde será realizada uma análise dos resultados apresentados neste capítulo.

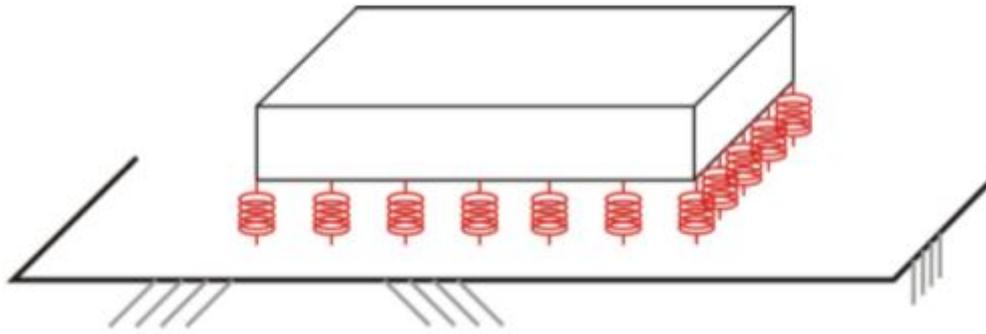
6.5 DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS PARA O PAVIMENTO DE CONCRETO ARMADO

O dimensionamento da placa de concreto armado não consta na Circular 150/5320-6E (Federal Aviation Administration, 2009), da FAA. Por isso, utilizou-se para seu dimensionamento os critérios da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), bem como o método das fórmulas de Westergaard ⁵ (1927 apud GRAEFF, 2011, p. B.1) para o cálculo das tensões na placa de concreto. As fórmulas utilizadas para este dimensionamento serão descritas ao longo do dimensionamento.

O método de Westergaard (1927) considera a situação na qual o pavimento está com vínculos semelhantes ao de molas, representando o solo como um líquido contínuo, como apresentado na figura 23.

Figura 23 – Modelo para representar a reação do subleito de placas de concreto

⁵ A autora indica que a fonte é o trabalho de H.M. WESTERGAARD, de 1927, intitulado Analysis of stresses in concrete pavements caused by variations of temperature.



(fonte: PAVEMENT INTERACTIVE ⁶, 2007 apud GRAEFF, 2011, p. 50)

Segundo Westergaard ⁷ (1927 apud GRAEFF, 2011, p. B.1) as principais equações propostas para calcular as tensões em pavimentos de concreto são mostrados a seguir, nas fórmulas 5, 6 e 7, convertidas no Sistema Internacional de Unidades (SI):

_____ - (equação 5)

_____ - (equação 6)

_____ - (equação 7)

Onde:

= tensão no pavimento em N/mm²;

b = raio equivalente da seção eficaz: $b = \sqrt{(1.6.a^2+h^2)} - 0.675h$ [mm];

a = raio da carga distribuída [mm];

h = espessura da laje de concreto [mm];

⁶ Pavement Interactive (2007) Modulus of subgrade reaction [online]. Available at: <URL: http://pavementinteractive.org/index.php?title=Modulus_of_Subgrade_Reaction> [Accessed 29 June 2010].

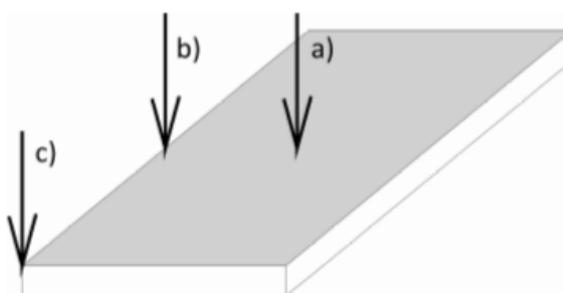
⁷ op. cit.

Q = carga total [N] = Aeronave B77 – 300 ER = 2.640.000 Newtons;

L = raio da rigidez relativa (relação entre o raio da rigidez da chapa e o módulo de reação aterra k).

Cada uma das equações acima refere-se a uma posição de carga específica na placa de concreto, como se mostra na figura 24. A equação 5, refere-se a seta “a” para carregamentos a uma distância considerável das extremidades, a seta “b” refere-se a carga em uma das bordas da placa, com o valor da tensão correspondendo a equação 6. A seta “c” representa a carga da roda no canto da placa, conforme apresenta a equação 7.

Figura 24 – Pontos utilizados para cálculo de esforços na placa de concreto



(fonte: PAVEMENT INTERACTIVE⁸, 2007 apud GRAEFF, 2011, p. 50)

A carga total “ Q ” foi definida escolhendo-se a aeronave com maior massa que irá trafegar no pavimento. A aeronave de modelo B77 – 300 ER é a que apresenta maior massa, com um total de 352.000 kg, ou seja, 3.520.000 N. Segundo o quadro 1 – Características das rodovias e aeródromos (MEDINA, 1997, p. 21), citado anteriormente, setenta e cinco por cento da carga de um avião se concentra em um raio de cerca de 1 metro, a partir de um ponto central da aeronave. Com isso, calcula-se para o pior caso que 75% da carga de 3.520.000 N estará concentrada em um raio de 1 metro, tendo assim $Q = 2.640.000$ N. Estima-se para os cálculos que a espessura da laje é de 200 mm.

⁸ Pavement Interactive (2007) Modulus of subgrade reaction [online]. Available at: <URL: http://pavementinteractive.org/index.php?title=Modulus_of_Subgrade_Reaction> [Accessed 29 June 2010].

São os seguintes os dados de entrada para as equações:

$$b = 1146 \text{ mm};$$

$$a = 100 \text{ mm};$$

$$h = 200 \text{ mm};$$

$$Q = 2.640.000 \text{ N};$$

$$l = 1020 \text{ mm}.$$

Por simplificação, são apresentados somente os resultados de tensões calculados para as três equações, que são respectivamente:

$$= 18,08 \text{ N/mm}^2;$$

$$= 5,91 \text{ N/mm}^2;$$

$$= - 4,29 \text{ N/mm}^2 \text{ (cálculo da armadura negativa).}$$

Tendo sido realizado o cálculo das tensões, descobre-se o momento fletor para cada tensão através da equação 8.

(equação 8)

Onde:

$$= \text{tensão no pavimento em N/mm}^2;$$

$$= \text{momento de inércia da placa [} \quad \text{]};$$

$$y = \text{distância do centro de massa da placa [mm]}.$$

Realizando-se os cálculos para uma placa de 1 m de comprimento e 20 cm de largura, se obtém os seguintes valores de momentos fletores, respectivamente:

$$= 12.053 \text{ kN.cm/ m};$$

$$= 3.940 \text{ kN.cm/ m};$$

$$= -2.860 \text{ kN.cm/ m}.$$

Após o cálculo dos momentos fletores, inicia-se o dimensionamento da armadura das placas. Para isso é necessário majorar os momentos pelo coeficiente de valor 1,4, esta majoração ocorre por fatores de segurança da estrutura. Os valores dos três momentos majorados são:

$$= 16.874,20 \text{ kN.cm/ m};$$

$$= 5.516 \text{ kN.cm/ m};$$

$$= -4.004 \text{ kN.cm/ m}.$$

Como o momento M_{x1} irá gerar uma armadura superior a necessária para suportar os esforços causados pelo momento M_{x2} , será trabalhado apenas com o maior valor, resultando do esforço M_{x1} .

Os valores de resistência de cálculo do concreto (f_{cd}) e resistência de cálculo do aço (f_{yd}) são obtidos através das equações 9 e 10, de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

$$\text{---}$$

(equação 9)

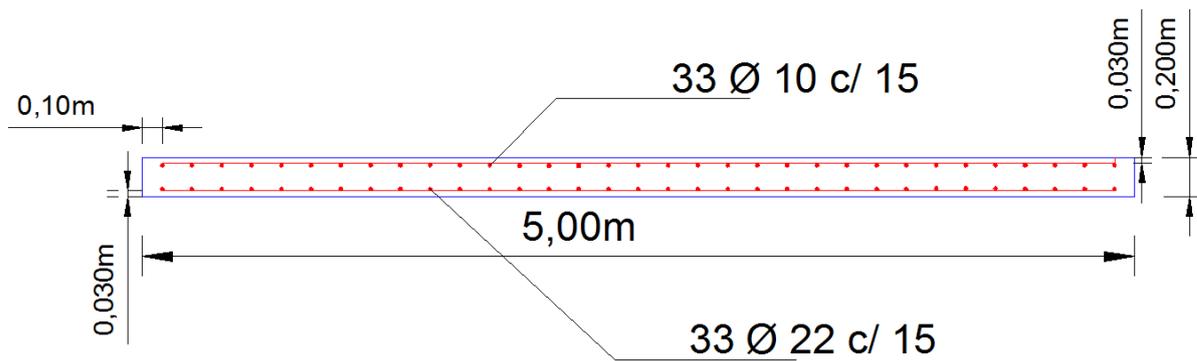
$$\text{---}$$

(equação 10)

Conforme os dados de projeto apresentados pela Ecoplan Engenharia Ltda., descritos anteriormente, tem-se que o f_{cd} do concreto corresponde a 40 MPa e o f_{yd} do aço corresponde a 500 MPa. O resultado das equações, dados estes parâmetros, são $f_{cd} = 2,86 \text{ kN/cm}^2$ e $f_{yd} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$.

Pelo cálculo do equilíbrio entre os esforços atuantes e resistentes da seção transversal da placa de concreto, tem-se que os valores de armadura A_{s1} e A_{s2} , resultaram, respectivamente em $26,56 \text{ cm}^2/\text{m}$ e $7,78 \text{ cm}^2/\text{m}$. Para A_{s1} escolheu-se barras de diâmetro igual a 22 mm espaçadas a cada 15 cm. Para A_{s2} , o diâmetro da armadura escolhida foi de 10 mm, as armaduras serão espaçadas a cada 15 cm. A figura 25 mostra a configuração da armadura para o pavimento continuamente armado.

Figura 25 – Configuração da armadura do pavimento estruturalmente armado



(fonte: elaborado pelo autor)

6.6 CÁLCULO DE CUSTOS DO PAVIMENTO DE CONCRETO ARMADO

Para o dimensionamento da armadura determinou-se a configuração utilizada para o primeiro cálculo do pavimento continuamente armado, apresentado na figura 22. O quadro 16 apresenta o cálculo dos custos para execução do pavimento estruturalmente armado. Foi considerado para cálculos que a cada 12 metros de barra de aço CA-50, são necessários 50 cm de ancoragem.

Quadro 16 – Planilha de serviços e custo do pavimento de concreto estruturalmente armado

PROJETO BÁSICO - PAVIMENTO DO PÁTIO DE AERONÁVES DO AEROPORTO INTERNACIONAL SALGADO FILHO				
	Unid.	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
Execução de Base de brita graduada	m ³	R\$ 80,84	7.995,99	646.395,83
Geomembrana lisa PEAD espessura 2mm	m ²	R\$ 18,91	42.797,12	809.293,54
Confecção e lançamento de EconoCreto	m ³	R\$ 168,25	2.127,70	357.985,53
Imprimação	m ²	R\$ 0,26	21.398,56	5.563,63
Execução de Concreto de cimento portland com forma deslizando	m ³	R\$ 377,52	4.279,71	1.615.677,25
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 22mm	kg	R\$ 5,66	458.512,66	2.595.181,68
Fornecimento, preparo e colocação aço CA 50 - Ø 10mm	kg	R\$ 5,66	96.010,71	543.420,59
Barra de transferência CA-25 (Ø 32,0 mm / massa linear da barra: 6,24 kg/m)	kg	R\$ 5,66	-	-
Execução de Junta de Isolamento	m	R\$ 2,52	-	-
Execução de Junta de Construção	m	R\$ 2,52	4.241,10	10.687,57
Execução de Junta de Contração	m	R\$ 2,52	-	-
			Total	R\$ 6.584.205,62

(fonte: elaborado pelo autor)

7 ANÁLISE DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DOS PROJETOS ALTERNATIVOS PARA O NOVO PÁTIO DE ESTACIONAMENTO DE AERONAVES DO AEROPORTO SALGADO FILHO

Neste capítulo faz-se uma análise comparativa de custos e consumo de materiais, a partir dos dimensionamentos realizados no capítulo anterior. Apesar de algumas alternativas apresentarem menor custo de implantação que o Projeto Básico aprovado pela Infraero, é imperativo que a avaliação leve em conta os custos de manutenção e durabilidade (o chamado “custo ao longo do ciclo de vida”), bem como os transtornos à operação das aeronaves causados pela necessidade frequente de manutenção de pavimento.

Os valores finais dos custos de cada pavimento de concreto são:

- a) Pavimento de concreto simples com armadura distribuída- R\$ 5.218.239,70;
- b) Pavimento de concreto simples - R\$ 4.993.184,22;
- c) Pavimento de concreto continuamente armado - R\$ 7.993.184,22;
- d) Pavimento de concreto continuamente armado 2 - R\$ 7.961.964,01;
- e) Pavimento de concreto armado - R\$ 6.584.205,62.

O pavimento de concreto simples apresentou o menor custo dentre os pavimentos estudados, porém apresenta o maior número de juntas. As juntas de contração sempre representam um ponto de fraqueza no pavimento. As juntas necessitam de constante manutenção uma vez que apresentam vida útil inferior às placas da qual fazem parte, e por este motivo elas devem ser inspecionadas regularmente e mantidas livres de detritos. A longo prazo, este pavimento normalmente apresenta um tempo de vida útil menor que os demais, já que dificilmente as manutenções são realizadas com a frequência devida.

O pavimento de concreto continuamente armado, quando comparado aos demais, apresenta vantagens quanto à execução, já que somente são realizadas juntas de construção e apresenta armadura em uma altura apenas. Este pavimento, apesar de dispensar algumas etapas exigidas em outros pavimentos, apresenta o maior custo inicial. Estes custos não foram avaliados considerando o tempo de mobilização necessário para execução da obra. Salienta-se que, uma

avaliação mais profunda poderia contribuir para diminuição dos custos. A escolha deste pavimento é válida quando é prioritário o tempo de execução, e não os custos envolvidos.

O pavimento de concreto armado foi dimensionado somente na direção segundo a qual o avião atravessa o menor número de juntas possíveis, visto que a mudança de posição das placas não iria gerar diferenças significativas nos custos, optou-se por essa conformação de placas.

O pavimento de concreto armado teve um custo superior ao continuamente armado de cerca de R\$ 1.300.00,00. Este pavimento apresenta algumas vantagens construtivas, pois, assim como o pavimento continuamente armado, o tamanho das placas é limitado pelo volume de concretagem diário. A armadura deste pavimento é dividida em armadura positiva e negativa, ou seja, a montagem é feita em duas etapas. A placa de concreto trabalha como um sistema independente, não sendo utilizadas barras de transferência, apenas juntas para que o concreto possa trabalhar de acordo com a variação térmica. A eliminação desta etapa gera agilidade no momento da construção, já que as barras de transferência são difíceis de manter-se alinhadas até o momento da próxima concretagem, gerando muitas vezes patologias localizadas por apresentarem problemas na transmissão dos esforços de uma placa até a outra, por não estarem alinhadas.

É importante reiterar que o levantamento de custos foi feito de forma resumida, sendo avaliados apenas itens de projeto, sem avaliar profundamente itens como, por exemplo, tempo de mobilização para execução da obra e mão de obra disponível do mercado.

O resultado dos custos de projeto representam somente o primeiro estudo para definir qual projeto se adequa melhor em cada caso. Uma análise das demais variáveis como tempo, verba disponível, mão de obra, fornecedores disponíveis, logística de transporte de materiais e máquinas e demais variáveis que podem tornar um ou outro projeto mais conveniente, devem ser levados em consideração para a escolha de projeto adequada.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Curso de tecnologia de pavimentos de concreto: módulo 2 – projeto e dimensionamento dos pavimentos**. São Paulo, [2013]. Disponível em <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/Pavim_Concreto_Apres_Mod02%20ABCP.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2013
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7583: execução de pavimento de concreto simples por meio mecânico**. Rio de Janeiro, 1986.
- _____. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.
- BERNUCCI, L. P.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro. Petrobrás, ABEDA, 2006.
- CRISTELLI, R. **Pavimentos industriais de concreto: análise do sistema construtivo**. 2004. Monografia (Curso de Especialização em Gestão e Tecnologia na Construção Civil) – Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/62.pdf>>. Acesso em: 1 jan. 2013.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentos rígidos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004.
- ECOPLAN ENGENHARIA. **Aeroporto Internacional Salgado Filho: memorial de cálculo e dimensionamento**. Porto Alegre, 2012.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Circular AC 150/5370-10**. Washington, 2009.
- GIULIANI, F.; MERUSI, F.; FILIPPI, S.; BIONDI, D.; FINOCCHIARO, M. L.; POLACCO, G. Effects of polymer modification on the fuel resistance of asphalt binders. **Elsevier**. Italy, v. 88, p. 1539-1546, Jan. 2009.
- GRAEFF, A. G. **Long-term performance of recycled steel fibre reinforced concrete for pavement applications**. 2011. A Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the Faculty Of Engineering Of The University Of Sheffield, Centre for Cement and Concrete Department of Civil and Structural Engineering. The University of Sheffield. Sheffield, 2011.
- IGUAL, J. Z. **Catálogo para pavimentos aeroportuários**. 2011. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE TELA SOLDADA. **Pavimentos estruturalmente armados para aeroportos**. São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.ibts.org.br/pdfs/MANUAL_PAV.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2013.
- MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1997.

PANORAMIO. [Imagens do aeroporto Presidente Prudente]. São Paulo, [2013]. Disponível em <<http://www.panoramio.com/photo/59393117>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

RUDLOFF INDUSTRIAL LTDA. INDUSTRIAL LTDA. **Pavimentos rígidos em concreto protendido**. 2 ed. São Paulo, 2005. Disponível em <http://www.rudloff.com.br/downloads/publicacoes-tecnicas/publicacao4_pavimentos_rigidos_em_concreto_protendido.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2013.

SANTANA, E. N. **Pavimento de concreto: a evolução das rodovias brasileiras**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2008. Disponível em: <<http://www.skynet.eng.br/projetos/dec/tcc/12855976632464.pdf> > Acesso em: 9 fev. 2013.