

FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA

MATEUS APOLINÁRIO DE MATOS

PEDRO ERNESTO DE PAULA

**ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM PARA
AERONAVES DE MÉDIO PORTE REFERENTE AO AEROPORTO DE
CARATINGA.**

CARATINGA

2017

MATEUS APOLINÁRIO DE MATOS
PEDRO ERNESTO DE PAULA
FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA

**ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM PARA
AERONAVES DE MÉDIO PORTE REFERENTE AO AEROPORTO DE
CARATINGA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Pavimentos Aeroportuários

Orientador: João Moreira de Oliveira Júnior

CARATINGA

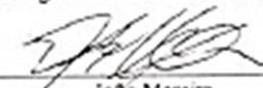
2017

TERMO DE APROVAÇÃO

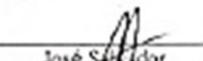
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Estudo de dimensionamento da pista de pouso e decolagem para aeronaves de médio porte referente ao aeroporto de Caratinga, elaborado pelo(s) aluno(s) Mateus Apolinário de Matos e Pedro Ernesto de Paula foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

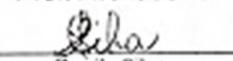
Caratinga 6 de Dezembro de 2017



João Moreira
Prof. Orientador



José Salvador
Prof. Avaliador 1



Camila Silva
Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTOS DE MATEUS

A Deus por ter me dado a saúde e a força necessária para superar cada desafio.

A Faculdade DOCTUM de Caratinga, seu corpo docente e funcionários em geral, que trabalharam firmemente nesses 5 anos para me conceder esse título.

Ao orientador João Moreira pelo suporte e pela paciência.

Aos meus pais, Hermes e Sandra, que sem eles nada disso faria sentido.

A minha irmã Nairana que sempre esteve presente nessa luta.

A minha amada Avó Nair (*in memory*), que cuidou de mim nos momentos mais difíceis, esse sonho era o dela também.

Aos meus amigos e familiares que sempre confiaram em mim.

Enfim, a todos que fizeram parte direta ou indiretamente da minha formação, o meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS DE PEDRO

Quero agradecer ao Senhor por ter me proporcionado essa vitória e principalmente torcido por ela, tenho certeza que isso tudo já estava em seu coração.

Agradecer ao orientador João Moreira por todo auxílio e relevância.

Também agradeço aos meus avós (José Pedro de Paula (*in memory*) e Maria da Conceição) por todo o cuidado e amor oferecido, devo minha vida a vocês.

A Família e amigos por toda paciência, orações e força positiva.

A empresa onde trabalho desde meus 15 anos que me proporcionou a custear e a estudar no turno matutino, fez uma diferença enorme em minha vida.

Por fim a Faculdade onde estive inserido nesses 5 anos, o meu muito obrigado pela oportunidade de tornar meu futuro melhor e acrescentar uma vontade de evoluir, agradeço aos professores, funcionários e toda a direção envolvida.

RESUMO

O objetivo principal deste estudo é dimensionar a pista referente ao solo do Aeroporto de Caratinga/ Ubaporanga, de forma que atenda aos requisitos da aeronave ATR 42-300. Neste contexto, a metodologia de pesquisa escolhida foi as instruções do Anexo 14 da ICAO, para dimensionar o comprimento e a largura do aeródromo. Para o dimensionamento estrutural foi escolhida a circular da FAA (*Federation Aviation Administration*), AC 150-6D, para pavimentos flexíveis. Esta metodologia destaca o Índice de Suporte Califórnia (CBR) para o dimensionamento de pavimentos flexíveis. Foi utilizados relatórios de ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade, compactação e CBR do subleito referente ao subleito do aeroporto de Caratinga. Para este trabalho foram consultados manuais e normas aprovados pelos principais órgãos nacionais e internacionais do setor aeronáutico, além de referencias bibliográficas especializadas nesta área. É citado neste trabalho algumas informações técnicas do atual aeroporto, como seu comprimento, largura atual, altitude, coordenadas da pista, etc. Destaca-se também neste trabalho a importância do conhecimento técnico da aeronave de projeto, explicando-se neste trabalho, alguns requisitos técnicos da ATR 42-200 como seu comprimento básico de pista, peso máximo de decolagem, entre outros. Ao final desta obra foram comparadas as dimensões geométricas da pista atual com a da pista projetada para aeronave ATR 42-300 (médio porte). Foi determinado também neste trabalho as alturas das camadas estruturais do pavimento, revestimento, base e sub-base, respeitando os requisitos impostos pela AC 150-6D.

Palavras-chave: Pavimentos Aeroportuários. Pavimentos Flexíveis. Geometria de Pavimentos Aeroportuários. ICAO. Metodologia FAA.

ABSTRACT

The main objective of this study is to size the runway of the Caratinga / Ubaporanga Airport, in order to meet the requirements of the ATR 42-300 aircraft. In this context, the methodology chosen was as instructed in ICAO Annex 14, to measure the length and width of the aerodrome. For structural design, an FAA (Federation Aviation Administration) circular, AC 150-6D was chosen, for the pavement flexible. This methodology highlights the California Support Index (CBR) for the design of flexible pavements. It was sent of granulometry tes, limits of liquidity and plasticity, compaction and CBR of the subleito referring to the subleito of the airport of Caratinga. For this work, consult the articles and norms approved by the main national and international organizations of the aeronautical sector, besides bibliographical references specialized in this area. English version: what is its length, current width, altitude, coordinates of the track, etc. Also worthy of note is the importance of the technical knowledge of the project aircraft, explaining in the work, some technical requirements of the ATR 42-200 as its delivery cycle, maximum takeoff weight, among others. At the end, highlights the versions compared as geometric dimensions of the current track with a measurement designed for aircraft ATR 42-300 (average size). It was also determined in the work as heights of the structural layers of the floor, coating, base and sub-base, respecting the requirements imposed by AC 150-6D.

Keywords: Airport Pavements. Flexible Flooring. Airport Pavement Geometry. ICAO. FAA Methodology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquemas dos limites de consistência.....	22
Figura 2.2 Ilustração das camadas presentes em um pavimento flexível.....	26
Figura 2.3 Representação da dissipação da carga solicitante (σ_s).....	27
Figura 2.4 Aeronave do tipo ATR 42.....	33
Figura 2.5 Ábaco de dimensionamento de pavimento flexível para eixo duplo.....	36
Figura 3.1 Imagem via satélite do Aeroporto de Caratinga.....	39
Figura 3.2 Vista Longitudinal da aeronave ATR 42-300.....	41
Figura 3.3 Vista Superior da aeronave ATR 42-300.....	42
Figura 3.4 Vista Transversal da aeronave ATR 42-300.....	42
Figura 3.5 Indicação da espessura total no ábaco.....	54
Figura 4.1 Ilustração da geometria da pista projetada.....	59
Figura 4.2 Ilustração das camadas com suas espessuras.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características das aeronaves.....	17
Tabela 2.2	Códigos numéricos em função do comprimento da pista.....	18
Tabela 2.3	Códigos em letras, identificado pela largura da pista.....	18
Tabela 2.4	Diâmetro de abertura das peneiras padrões.....	21
Tabela 2.5	Pressão padrão para determinada penetração.....	25
Tabela 2.6	Características das pistas e veículos: rodovias x aeródromos.....	29
Tabela 2.7	Legislações nacionais e internacionais da aviação civil.....	30
Tabela 2.8	Considerações de eixo para aeronaves com peso superior a 13,6t.....	31
Tabela 2.9	Fatores de conversão dos eixos das aeronaves para o eixo.....	33
Tabela 2.10	Requisitos de compactação do subleito para pavimentos flexíveis.....	35
Tabela 2.11	Espessura mínima da camada de revestimento.....	37
Tabela 2.12	Espessuras mínimas da camada de base.....	38
Tabela 3.1	Características técnicas da aeronave ATR 42-300.....	40
Tabela 3.2	Amostras coletadas.....	45
Tabela 3.3	Percentual passante nas peneiras indicadas para cada amostra.....	48
Tabela 3.4	Resultados dos limites físicos, índices de plasticidade.....	49
Tabela 3.5	Resultados finais dos relatórios de Compactação e CBR.....	51
Tabela 3.6	Indicação da espessura mínima da base.....	55
Tabela 3.7	Indicação da espessura mínima do revestimento.....	56
Tabela 4.1	Taxa de variação das amostras 6, 40 e 41.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Exemplo de uma curva granulométrica.....	21
Gráfico 2.2 Curva Pressão x Penetração.....	25
Gráfico 3.1 Curva granulométrica referente à amostra 6.....	46
Gráfico 3.2 Curva granulométrica referente à amostra 40.....	47
Gráfico 3.3 Curva granulométrica referente à amostra 41.....	47
Gráfico 3.4 Curva Densidade Máxima x CBR da amostra 6.....	50
Gráfico 3.5 Curva Densidade Máxima x CBR da amostra 40.....	50
Gráfico 3.6 Curva Densidade Máxima x CBR da amostra 41.	51

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

cm	Centímetros
H	Altura
HB	Altura da base
HR	Altura do revestimento
HSB	Altura da sub-base
HT	Altura total
IP	Índice de plasticidade
Kg	Kilograma
Lb	Libra
Lbp	Comprimento básico de pista
LL	Limite de liquidez
Lnec	Comprimento necessário de pista
LP	Limite de plasticidade
m	Metros
mm	Milímetros
MPa	Mega pascal
NDA	Número de decolagens anual
NP	Não plástico
PMD	Peso máximo de decolagem

Pol	Polegadas
Tp	Temperatura padrão
Tr	Temperatura de referência
AASHO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AC	Advisory Circular
AMOC	Associação dos Municípios da Microrregião do Caparaó
ANAC	Agência Nacional da Aviação Civil
CBR	California Bearing Ratio
DIRENG	Diretoria da Engenharia da Aeronáutica
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
FAA	Federation Aviation Administration
FAARFIELD	Federal Aviation Administration Rigid Flexible Elastic Layered Design
HRB	Highway Research Board
IMA	Instrução do Ministério da Aeronáutica
ICAO (OACI)	International Civil Aviation Organization
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos

σ_s	Tensão solicitante
σ'_s	Tensão solicitante dissipada
σ_a	Tensão admissível do solo
K1	Fator de correção da altitude
K2	Fator de correção da temperatura
K3	Fator de correção da declividade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	Estruturação do Trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Requisitos para a definição do comprimento e largura de um aeródromo	19
2.1.1	Considerações Gerais	19
2.1.2	Dimensionamento geométrico da pista	22
2.2	Ensaio Geotécnicos	23
2.2.1	Ensaio granulométricos	23
2.2.2	Limites de consistência	25
2.2.3	Classificação Highway Research Board (HRB)	26
2.3	Índice de Suporte Califórnia (CBR)	27
2.4	Estrutura de um pavimento flexível	29
2.5	Método de dimensionamento da <i>Federal Aviation Administration</i> - FAA	31
2.5.1	Breve Histórico	31
2.5.2	Considerações Gerais	33
2.5.3	Definição da Aeronave de Projeto	36
2.5.4	Determinação da Espessura	38
3	METODOLOGIA	43
3.1	Aeroporto de Caratinga	43
3.2	Aeronave de projeto ATR 42-300	44

3.3	Dimensionamento Geométrico.....	46
3.3.1	Correção para altitude (K1)	46
3.3.2	Correção para a temperatura (K2).....	47
3.3.3	Correção para a declividade (K3).....	48
3.3.4	Cálculo do comprimento necessário (Lnec)	48
3.3.5	Largura da pista.....	48
3.4	Relatórios geotécnicos.....	49
3.4.1	Descrição das amostras	49
3.4.2	Resultados dos ensaios granulométricos	50
3.4.3	Limites Físicos.....	52
3.4.4	Índice de Suporte Califórnia (CBR)	53
3.5	Dimensionamento estrutural do pavimento.....	56
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	61
4.1	Resultados do dimensionamento geométrico da pista.....	61
4.2	Resultados Geotécnicos	62
4.3	Resultados do dimensionamento das camadas do pavimento	63
5	CONCLUSÃO	65
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O aeroporto de Caratinga, também conhecido como Aeroporto Regional de Ubaporanga, pertencente a este município, está localizado ao leste do estado de Minas Gerais, a 289 quilômetros de Belo Horizonte e presta serviços às cidades próximas, situadas na região do Vale do Aço.

No ano de 2010 foi estudado um projeto executivo para a melhoria do Aeródromo de Caratinga, este que conta com um principal: o aumento da resistência da pista de pouso e decolagem, a qual só está apta a suportar aeronaves de pequeno porte até o momento.

Segundo Azeredo (2010) com o aumento da produção de aeronaves no século XIX começou a ocorrer vários acidentes aeronáuticos devido à falta de regulamentação na infraestrutura dos aeródromos.

É mostrado ao longo da história, que os estudos sobre os elementos que compõem a construção da pista de um aeroporto passaram a ser importantes desde quando começaram a ocorrer o crescimento deste modal de transporte durante as guerras, em virtude de sua economia e agilidade.

O Brasil é o segundo país com o maior número de aeroportos do mundo, de acordo com os registros da ANAC de 2017, existe mais de 1800 aeroportos privados e quase 600 públicos no território brasileiro. Mesmo com esse fator, não deixaram de haver superlotações nos principais aeroportos nacionais, segundo reportagens vistas recentemente. Isso se deve a alguns aeroportos não estarem legalizados ou aptos a receber aeronaves de médio à grande porte, não dando opção ao consumidor, tendo que recorrer aos que atendam a sua demanda, tendo que recorrer aos principais aeroportos do Brasil, causando estes problemas de saturação.

De acordo com uma publicação do G1 em 2009, 13% dos aeroportos públicos estão interditados por falta de manutenção. Os problemas mais comuns seriam a

falta de um cerco para evitar que os animais atravessassem a pista, perigo aviário, e um dos problemas a ser tratado neste trabalho, a pavimentação ruim.

Vários fatores danificam a estrutura de um pavimento em geral, e devem ser considerados no dimensionamento, principalmente: a pressão das rodas do carregamento, a frequência de tráfego, a variação lateral da passagem dos veículos, no caso de rodovias, impactos climáticos, a qualidade dos materiais, entre outros.

Schnaid e Odebrecht (2012) diz que o conhecimento do solo e o controle de execução são mais significativos para atender as exigências básicas de um projeto do que a precisão dos modelos de cálculo e os fatores de segurança adotados. Um estudo geotécnico insatisfatório e análises inadequadas de resultados colaboram para que ocorram erros de projeto, como, retardação no cronograma, aumento de custo, impactos ambientais, gastos em reparos pós-construtiva, além de risco de colapso da estrutura.

Então é de fundamental importância uma boa caracterização do solo onde se pretende construir, pois uma investigação geotécnica bem feita poderá reduzir custos, riscos e imprevistos.

Devido ao potencial socioeconômico dos municípios em âmbito estadual, o Aeroporto de Caratinga está incluído no último Plano Aeroviário do Estado de Minas Gerais (PAEMG/99) e foi selecionado para compor o sistema estadual de aeroportos. Então seria cabível uma reforma, onde o aeroporto passaria a receber aeronaves de médio porte, do tipo ATR 42-300, a fim de proporcionar à localidade, integração com as demais regiões do Estado pelo modo aéreo.

O presente trabalho visa analisar dados geotécnicos do subleito e seu índice de suporte, a fim de conhecer suas características físicas e mecânicas, possibilitando o dimensionamento geométrico e estrutural do aeródromo, com base na aeronave de projeto ATR 42-300, verificando quais alterações geométricas a pista atual deverá sofrer.

Uma análise detalhada da estrutura do aeródromo atual requer um estudo à parte, então não será citado aqui, restringindo o trabalho em dimensionar um aeródromo diretamente no subleito, sem considerar o pavimento atual.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Objetivo deste trabalho é identificar as alterações geométricas e estruturais da pista de decolagem / aterrissagem do Aeroporto de Caratinga, necessárias para atender aeronaves de médio porte ATR 42-300 com o intuito de comparar a geometria da pista atual com o projetado, e verificar se será necessário um aumento no comprimento e/ou largura do aeródromo existente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar os levantamentos geométricos do Aeródromo atual e dimensionar um aeródromo que atenda os requisitos para aeronaves de médio porte;
- Avaliar o solo com base nos relatórios obtidos de geotecnia, classificando-o e verificando seu Índice de Suporte Califórnia;
- Dimensionar um novo pavimento que suporte as cargas solicitantes de cálculo, através da circular AC 150-6D da FAA;
- Comparar os resultados obtidos e discutir sobre as mudanças geométricas que deverão ocorrer para que a pista atenda a aeronave ATR 42-300.

1.3 Estruturação do Trabalho

Este trabalho foi dividido em 6 (seis) capítulos, conforme descrito pelos itens a seguir:

- Capítulo 1: Contém a introdução, com a contextualização, o objetivo geral e específico e a organização do trabalho;
- Capítulo 2: Contém a revisão bibliográfica, abordando os temas de geotecnia presentes no trabalho, geometria de pavimentos aeroportuários pesquisados nas normas da ICAO a fim de esclarecer alguns conceitos e requisitos

mínimos quanto a comprimento e largura de pista e o método de dimensionamento do pavimento aeroportuário aprovado pela FAA, pesquisado na literatura, a fim de orientar nos cálculos das camadas do pavimento;

- Capítulo 3: Contém a metodologia, com a apresentação de todos os relatórios geotécnicos do subleito pertencente ao Aeroporto de Caratinga, verificação da geometria atual do aeródromo, detalhes técnicos da aeronave tipo, dimensionamento geométrico e estrutural do pavimento;
- Capítulo 4: Contém a apresentação dos resultados obtidos na metodologia;
- Capítulo 5: Considerações finais;
- Capítulo 6: Referências bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Requisitos para a definição do comprimento e largura de um aeródromo

Um projeto geométrico em geral, tem por finalidade o estudo completo da área em que se trabalha, tendo o conhecimento técnico de sua geometria como, declividade, raios de curvaturas, comprimento e largura, ou seja, o formato da plataforma em geral. Existem diferentes tipos de projetos geométricos, estradas rurais, rodovias, aeródromos, entre outros, (PIMENTA; OLIVEIRA, 2001).

A *International Civil Aviation Organization* (ICAO) é uma agência das Nações Unidas, especializada em aviação civil. A ICAO é formada por 191 Países-Membros e grupos industriais do ramo aeronáutico, os quais são responsáveis por chegar em um consenso em relação a normas e práticas no setor da aviação civil, de forma que possa garantir segurança, eficiência, economia sustentável. Os Estados-Membros tem como dever garantir que suas operações e regulamentos locais estejam de acordo com as normas globais impostas pela ICAO, (ICAO, 2017).

2.1.1 Considerações Gerais

Segundo TORRES (2010, apud HORONJEFF, 1966), a determinação do comprimento da pista é uma das decisões mais importantes a ser tomada ao planejar-se um aeródromo. A pista deve ter um comprimento adequado aos pousos e decolagens de aeronaves de diversos tipos e garantir a segurança nas diversas condições meteorológicas.

O comprimento deve ser o suficiente para a aeronave levantar voo ou para poder parar totalmente. Devem ser consideradas ao dimensionar, situações como falha no motor no momento de decolagem e/ou perda parcial do freio na hora da aterrissagem. Um comprimento adequado da pista vem garantir o máximo de tranquilidade durante a operação da aeronave, mesmo que ocorra imprevistos (et al HORONJEFF, 2010).

TORRES (2010) nos diz que o comprimento da pista depende também dos tipos de aeronaves que poderão utilizar o aeródromo e de fatores como:

- ✓ Desempenho das aeronaves;
- ✓ Altitude do local;
- ✓ Temperatura de referência;
- ✓ Declividade efetiva;

O comprimento básico de pista da aeronave significa o comprimento mínimo do aeródromo necessário para que a aeronave selecionada possa decolar. Considerando seu peso máximo de decolagem, realizado ao nível do mar, em condições atmosféricas normais, ar parado e declividade nula de pista, (REBAC, 2017).

Tabela 2.1 – Características das aeronaves

Fabricante	Modelo	Peso máximo de decolagem (kg)	Porte da aeronave	Classificação da pista	Comprimento Básico de Pista (m)
EMBRAER	EMB-201	1.550	Pequeno	1-A	438
ATR	ATR 42-300	16.700	Médio	2-C	1.090
BOEING	777-300ER	351.535	Grande	4-E	3.060

Fonte: Catálogo do Fabricante (Editada pelo Autor, 2017)

A Instrução do Ministério da Aeronáutica (IMA 58-10) classifica os aeródromos por um número e por uma letra. O número é em função do comprimento do aeródromo e a letra da largura.

Na Tabela 2.1 observa-se que a aeronave de projeto referente a este trabalho tem um comprimento básico de pista de 1.090 metros, isso significa que este tipo de aeronave exige este comprimento mínimo para que ela possa operar no local.

Os códigos auxiliam os profissionais a identificar a capacidade do aeroporto, em um pouso de emergência, por exemplo. O piloto deve conhecer o código do aeroporto a fim de saber quais restrições ele terá de enfrentar antes de realizar o pouso.

Os códigos são formados por uma letra e um número. O número serve para identificar o comprimento da pista, como é mostrado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Códigos numéricos em função do comprimento da pista

Comprimento básico da pista (m)	Códigos Numéricos
<800	1
800 a 1200	2
1200 a 1800	3
>1800	4

Fonte: IMA 58-10 (1997)

A letra expressa no código representa a largura da pista, que deve ser proporcional ao seu comprimento, respeitando a tabela 2.2, onde relaciona o código numérico definido na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Códigos em letras, identificado pela largura da pista

Código de pista	Letra Código				
	A	B	C	D	E
1º	18m	18m	23m	-	-
2º	23m	23m	30m	-	-
3º	30m	30m	30m	45m	-
4º	-	-	45m	45m	45m

Fonte: IMA 58-10 (1990)

Após a classificação da pista, será possível saber se o aeroporto poderá receber determinada aeronave com ou sem restrição. Levando em consideração apenas seu tamanho geométrico. Lembrando que, quanto mais próximo o comprimento real da pista for do comprimento básico, referente à determinada aeronave, maior será sua restrição, ou seja, maior será a dificuldade desse avião operar no local.

2.1.2 Dimensionamento geométrico da pista

O dimensionamento do comprimento da pista do aeroporto é feito por meio de ábacos desenvolvidos pelos fabricantes das principais aeronaves do mercado. Para pistas que receberão aeronaves de grande porte é necessário um estudo mais detalhado, utilizando manuais específicos para cada situação, (AZEREDO,2010).

Para aeródromos de médio porte, onde as aeronaves não possuem manuais com ábacos detalhados, utilizam-se os fatores de correção indicados pela ICAO no Anexo 14 (2009), determinando os coeficientes para corrigir os efeitos que podem interferir na operação da aeronave, sendo eles:

- Correção da altitude (K1): Acréscimo de 7% para cada 300 metros acima do nível do mar;
- Correção da temperatura (K2): Acréscimo de 1% para cada grau Celsius que a temperatura de referência exceder a temperatura padrão.
- Correção da declividade (K3): Acréscimo de 10% para cada por cento de declividade longitudinal efetiva da pista. Ela é obtida pela razão entre a diferença da cota máxima e a cota mínima da pista pelo seu comprimento.

Segundo as recomendações da OACI (2009), a declividade longitudinal, não deverá exceder 1%, a cada 30 metros para as letras C,D,E e F e a cada 25 metros para as letras A e B. A declividade transversal não deverá ultrapassar 1,5% para as letras C,D,E e F e 2% para as letras A e B.

Para casos específicos é aconselhável evitar esses fatores de correções, por ser um método empírico, optando por utilizar os ábacos desenvolvidos e testados pelos principais fabricantes de aeronaves.

2.2 Ensaios Geotécnicos

A geotecnia é a área da engenharia que estuda os comportamentos físicos e hidráulicos de um solo. Ensaios como granulometria, limites de plasticidade e liquidez, índice de suporte entre outros, possibilitam apresentar o grupo de um solo classificando-o quanto a sua composição e seu comportamento mecânico (PINTO, 2006).

As classificações mais usuais são pela Highway Research Board, (HRB) e pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), para que através destas, seja possível a identificação do comportamento de subleito e sua composição (PINTO, 2006).

2.2.1 Ensaios granulométricos

Um ensaio granulométrico visa obter a distribuição dos diferentes tamanhos de grão que compõe o solo, ou seja, o percentual em peso de cada faixa de tamanho dos granulares, representados em massa seca total utilizada para o ensaio.

Pode ser feito de duas maneiras, por peneiramento ou por sedimentação. Os solos mais grossos como areias e pedregulhos podem ser feito apenas por meio do peneiramento. Já os solos mais finos devem englobar o peneiramento por sedimentação (KNAPPETT; CRAIG, 2014).

A norma técnica responsável por padronizar os ensaios granulométricos atualmente é a DNER-ME 054 de 1994.

A Tabela 2.4 correlaciona os números padrões das peneiras com sua abertura em milímetro.

Tabela 2.4 – Diâmetro de abertura das peneiras padrões

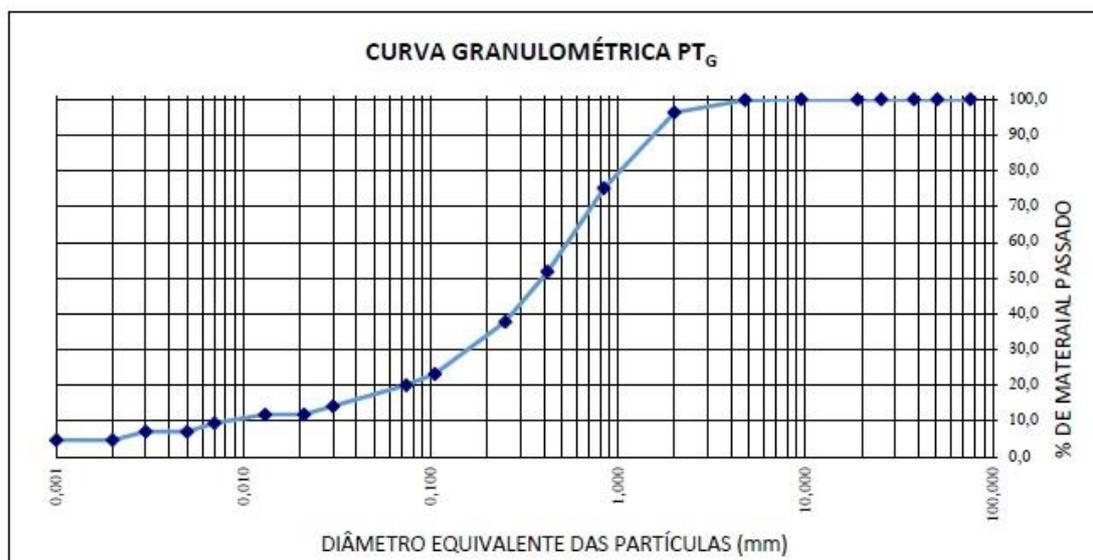
Nº da peneira	Abertura (mm)
200	0,075
100	0,15
40	0,42
10	2,09
4	4,8

Fonte: IPR-719 (2006)

Depois da realização do ensaio de granulometria, deve-se registrar a porcentagem do peso retido em cada peneira para a montagem de uma curva granulométrica, sendo esta o principal propósito deste experimento.

Exemplifica-se no Gráfico 2.1, uma curva granulométrica de um solo composto predominantemente por areia fina, de um ensaio realizado por DIAS (2016).

Gráfico 2.1 – Exemplo de uma curva granulométrica



Fonte: Dias (2016)

Traça-se a curva granulométrica de acordo com os resultados obtidos no experimento, formada por um diagrama semi-logarítmico que tem como eixo x o diâmetro das partículas e como eixo y a porcentagem, em peso, dos grãos passantes em cada peneira.

2.2.2 Limites de consistência

Os Limites de Atterberg ou Limites Físicos, assim conhecidos, são métodos utilizados para determinar os limites de liquidez e plasticidade de um solo. Esses índices são valores extremamente importantes para a área de mecânica dos solos (KNAPPETT; CRAIG, 2014).

O limite de liquidez pode ser definido como o menor teor de umidade com que uma amostra de um solo passa a se comportar como um fluido. O método de ensaio da DNER-ME 122 de 1994 padroniza os procedimentos para obtenção deste experimento.

Limite de plasticidade é o teor de umidade necessário para que o solo passe do estado plástico para o estado semissólido. A norma vigente para este ensaio é a DNER-ME - 082 de 1994.

Apresentam-se na Figura 2.1 os limites físicos de forma esquematizada de acordo com a diminuição da umidade.

Figura 2.1 – Esquema dos limites de consistência



Fonte: IPR-719 (2006).

O índice de plasticidade é determinado pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. Ambos são representados em porcentagem (IPR-719, 2006).

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

Este índice define a zona em que o solo se acha no estado plástico, sendo máximo para as argilas e mínimos para areias. Em resumo, o índice de plasticidade está em função da quantidade de argila presente no solo, já os limites de liquidez e o de plasticidade, estão em função da quantidade e do tipo de argila presente no solo. Em caso de solos arenosos, são classificados como $IP = NP$ (não plástico), (IPR-719, 2006).

2.2.3 Classificação Highway Research Board (HRB)

O método HRB ou Sistema Rodoviário de Classificação, sendo mais tarde aprovada pela A.A.S.H.O (American Association State Highway Officials), foi primeiramente apresentada em 1929 a fim de caracterizar os solos de fundação por meio de ensaios simples, para a construção de pavimentos no mundo inteiro (PINTO, 2014).

Essa classificação é realizada por meio de ensaios granulométricos e limites físicos do solo, podendo definir também, através desses experimentos o índice de grupo (IG). De uma forma geral, essa classificação divide o solo em grupos e subgrupos (PINTO, 2014).

Encontra-se no ANEXO A, a tabela de classificação HRB, demarcada com a classificação do solo que será apresentado adiante.

2.3 Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Segundo LUZ (2003), o Índice de Suporte Califórnia ou originalmente conhecido como Califórnia Bearing Ratio, é um método desenvolvido por PORTER em 1950 no estado da Califórnia, o qual possibilita a definição da capacidade de suporte de determinado material de fundação.

O CBR se tornou um ensaio penetrométrico semi-empírico que relaciona a capacidade de suporte do subleito e da estrutura. Para se tornar o Índice de Suporte que conhecemos hoje, foram primeiramente experimentados vários materiais granulares considerados de boa qualidade, a fim de determinar a média desses valores, estabelecendo o CBR da brita padrão, com índice de 100% (FORTES, 2004).

Então esse ensaio se expandiu na área da engenharia rodoviária em todo o mundo e segundo LUZ (2003), é até hoje um dos métodos mais utilizados para dimensionamento de pavimentos. O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) é o órgão responsável por especificar os métodos de ensaios e as exigências mínimas da capacidade de suporte dos elementos da infraestrutura do pavimento.

O processo para se determinar o índice de CBR consiste em:

- ✓ Compactação do corpo de prova. Geralmente realizado pelo método de Próctor.
- ✓ Obtenção da curva de expansão que é medida através da relação entre o aumento de altura do corpo de prova e sua altura inicial, representada em porcentagem.

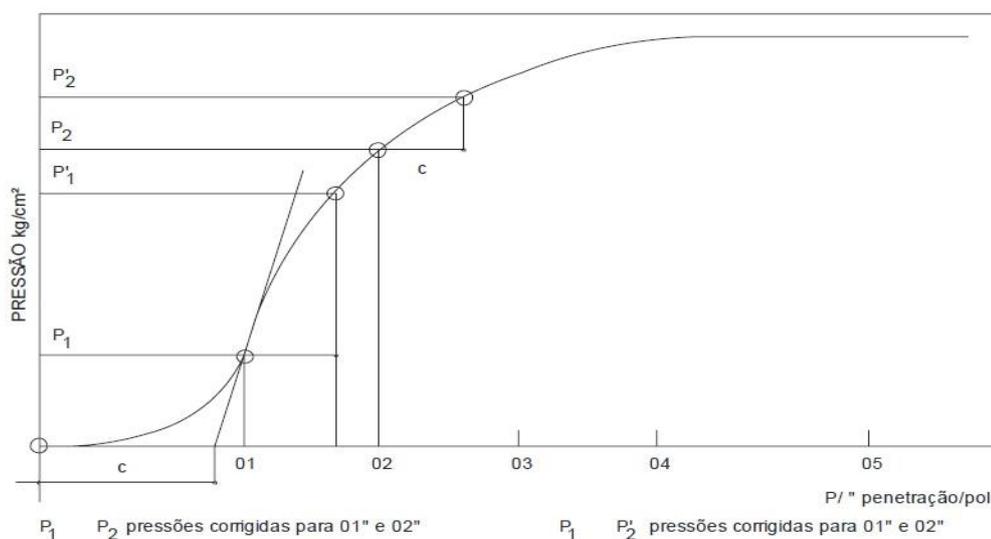
- ✓ Medir a resistência à penetração do corpo de prova compactado.

O índice de CBR é dado em porcentagem, para cada corpo de prova, pela equação:

$$CBR = \frac{\text{Pressão Calculada (lida) ou pressão corrigida}}{\text{Pressão Padrão}} \times 100 \quad (2)$$

Segundo a NBR 7182 de 1986, traça-se uma curva pressão x penetração, conforme é mostrado na Figura 2. Quando houver um ponto de inflexão será necessário uma correção, traçando uma tangente à curva nesse ponto até que ela intercepte o eixo x, então a origem passa a ser esse ponto que a tangente toca. No Gráfico 2.2 a pressão corrigida é representada por P'1 e P'2.

Gráfico 2.2 – Curva Pressão x Penetração



Fonte: IPR-719 (2006)

O valor da pressão padrão, representada na Tabela 2.5, foi obtido através dos experimentos com britas graduadas de alta qualidade, que é a referência desse ensaio, o qual apresenta CBR=100%.

Tabela 2.5 – Pressão padrão em MPa para determinada penetração em polegada

PENETRAÇÃO (pol)	PRESSÃO PADRÃO (MPa)
0,1	7,03
0,2	10,546

Fonte: DNER-ME 049/94 revisada pelo DNIT, 2014

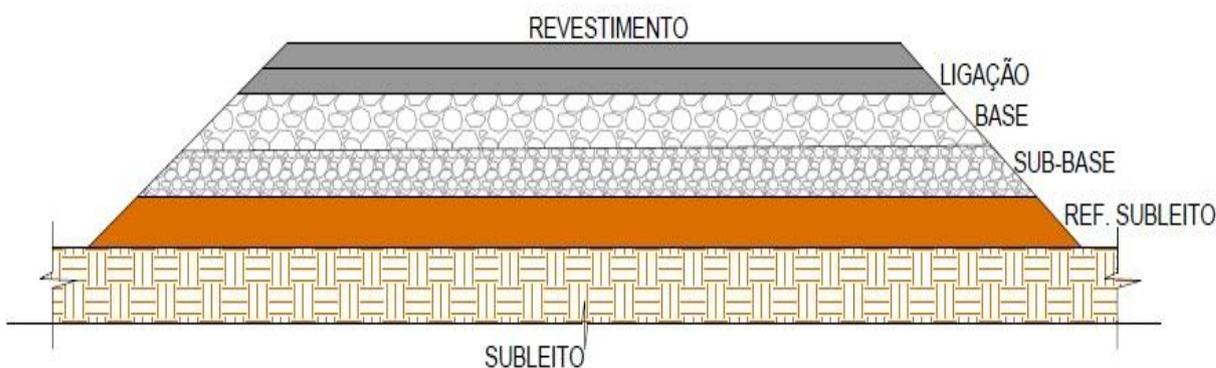
A norma que regulamenta o método de ensaio do CBR passou por diversas modificações, sendo que a primeira norma brasileira a regularizar este experimento foi a NBR 9895/87 adotada pela extinta DIRENG, hoje a DNIT, que atualmente adota a norma atualizada DNER-ME 049/94.

2.4 Estrutura de um pavimento flexível

Segundo RAMOS (2012), os pavimentos podem ser flexíveis, rígidos e semirrígidos. A pavimentação flexível ou asfáltica são geralmente compostas de camadas de base e sub-base e revestimento proveniente do betume. Já o pavimento rígido é composto de uma camada de concreto de cimento portland, o qual receberá maior intensidade de cargas, poupando a sub-base e o solo. A pavimentação semirrígida ou composta é formada por concreto asfáltico em seu revestimento com a base regularizada por meio de aditivos, sendo eles cal ou cimento.

A Figura 2.2 ilustra as camadas que formam um pavimento flexível. Em alguns casos, onde o solo possui uma capacidade de suporte melhor, não será necessária a camada de reforço do subleito.

Figura 2.2 – Ilustração das camadas presentes em um pavimento flexível



Fonte: Santos (2009). Adaptado pelo Autor, 2017

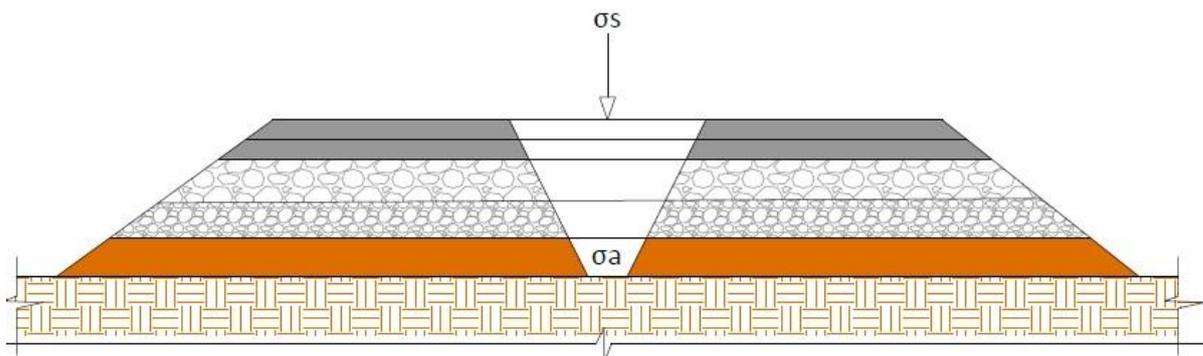
As camadas de revestimento e ligação são compostas por concreto betuminoso, as de base e sub-base podem ser formadas de britas graduadas e cascalhos (alto índice de suporte), a camada de reforço do subleito quando necessário a aplicação, são compostas geralmente por solo do local devidamente melhorado por meio de compactação, com intuito de otimizar a capacidade de suporte do subleito (SIMÕES, 2008).

A DNER 667-22/88 especifica que as camadas de base e sub-base devem ter respectivamente um $CBR \geq 80\%$ e $CBR \geq 20\%$, assim poderá ser utilizado as espessuras mínimas especificadas nos ábacos.

O revestimento é o primeiro a receber a carga, que vai dissipando até chegar ao subleito (fundação). Cada camada tem a função de dissipar as tensões da camada de cima e repassar para a camada de baixo, sendo que o revestimento tem uma função principal que seria resistir aos esforços horizontais. Quanto menor for a tensão admissível do solo (σ_a), maior deverá ser as espessuras das camadas que formam a estrutura do pavimento (SANTOS, 2009).

A Figura 2.3 ilustra de forma esquematizada a dissipação da carga até chegar ao subleito, em forma de um cone invertido. A tensão que chega no subleito deve ser, teoricamente, bem menor que a tensão inicial provocada pela roda da aeronave, sendo que a tensão admissível do solo deve ser maior que a tensão que chega até o subleito.

Figura 2.3 – Representação da dissipação da carga solicitante (σ_s) ate chegar ao subleito



Fonte: Santos (2009). Adaptado pelo Autor, 2017

As camadas de revestimento, ligação e base, por estarem por cima são as que mais sofrem efeitos das cargas, especialmente o revestimento que entrará em contato direto com as cargas, e por isso sofre mais danos, tendo que ser reparado periodicamente.

$$\sigma_a \geq \sigma'_s \quad (3)$$

As camadas devem ser dimensionadas a fim de receber as cargas, de forma que a tensão resultante não seja superior a tensão admissível do solo.

2.5 Método de dimensionamento da *Federal Aviation Administration* - FAA

2.5.1 Breve Histórico

No dimensionamento de um pavimento flexível, cotamos suas camadas, largura e comprimento. Segundo CARVALHO (1999), a extensão de uma pista tende a complicar o dimensionamento, pois quanto maior a longitude, maior será as variações de subleito. Isso é uma realidade para as rodovias, que entram na escala de dezenas de quilômetros de comprimento, já não é um problema para

aeródromos, dispondo de uma pequena variação no solo na maioria dos casos, pois o comprimento é relativamente baixo em comparação com rodovias.

Segundo PINTO (2016), existem diversos tipos de métodos de dimensionamento de pavimentos, uns sendo destinados a pavimentos flexíveis e outros a pavimentos rígidos. Estes métodos podem ser classificados como empíricos e mecanísticos-empírico. CARVALHO (1999) e PINTO (2016) ressaltam que para pavimentos asfálticos, normalmente são utilizados os métodos empíricos.

Uma consideração importante para pavimentos flexíveis é a força vertical de compressão no solo, ou seja, é determinante conhecer a tensão admissível do subleito. O ensaio mais comum para a determinação da capacidade de carga do solo é o CBR, sendo o mais utilizado mundialmente, (CARVALHO, 1999). O método de dimensionamento do DNIT, antigo DNER, é utilizado no Brasil desde 1960 para o dimensionamento de rodovias, o qual tem como principal determinante o Índice de Suporte do subleito (PINTO, 2016).

O DNER vem sendo responsável por propor diretrizes relacionadas a pavimentações, que desde 1960 até os dias de hoje vem sido utilizado o método desenvolvido pelo Eng. Murilo Lopes de Souza, que se baseou no método do Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos, (PINTO, 2016).

PINTO (2016, apud MEDINA; MOTTA, 2015) ressaltam que há diferenças importantes entre uma pista aeroportuária e uma rodovia (Tabela 2.7), então, no final da década de 60 foi desenvolvido pela *Federal Aviation Administration* (FAA) um método exclusivo para o dimensionamento de um aeródromo, o qual recebe atualizações periódicas, sendo hoje a versão da circular AC 150/5320-6E e é utilizado no Brasil nos dias de hoje.

A Tabela 2.6 resalta as principais diferenças técnicas entre um pavimento rodoviário e um aeroportuário. Destacando o comprimento da pista que, para aeroportos são no máximo 3.000 metros, enquanto rodovias entram na casa dos quilômetros, proporcionando variações no subleito. Enquanto que a pressão vertical solicitante de um aeródromo, chega a ser 3 megapascal, até 20 vezes maior que a tensão solicitada em uma rodovia.

Tabela 2.6 – Características das pistas e veículos: rodovias x aeródromos

Característica	Rodovias	Aeródromos
Largura das pistas	7 a 10 m	20 a 50 m (Taxis: 10 a 25 m)
Comprimento	Vários quilômetros.	Até cerca de 3.000 m.
Cargas	10 tf por eixo, veículos de 45 tf no máximo	100 tf ou mais por trem de pouso principal, aviões de até 500 tf
Frequência de repetição de cargas	Por exemplo: 2.000 veículos por dia, vários milhões na vida de serviço. O efeito da 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 0,6 MPa	1,0 a 3,0 MPa
Distribuição transversal da carga na pista	Não se faz diferenciação transversal praticamente.	Diferencia-se o dimensionamento transversalmente.
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.

Fonte: Adaptado por Ramos em 2016 - MEDINA E MOTTA (2015)

2.5.2 Considerações Gerais

O método de dimensionamento da FAA foi originalmente desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, publicada em 1978, a circular AC 150/5320-6C, que apresentava métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos para aeroportos, recomendado pela ICAO (RAMOS, 2016).

A Tabela 2.7 destaca as principais legislações que representam a aviação civil, dando destaque, para o Anexo 14, AC 150 da FAA que foram a base para o desenvolvimento deste trabalho. O Anexo 14 está descrito todas as codificações e comprimentos mínimos que uma pista aeroportuária deve ter, para determinada aeronave, normatizando todos os requisitos para aprovação de um aeródromo. A circular AC150 da FAA trás os ábacos e tabelas utilizadas neste trabalho para dimensionamento das camadas do pavimento.

Tabela 2.7 - Legislações nacionais e internacionais da aviação civil

Legislação	Referência
Anexo 14: Normas e Recomendações Internacionais - Aeródromos (Volume I: Aeródromos e Volume II: Helipontos)	ICAO - <i>International Civil Aviation Organization</i>
<i>Advisory Circulars e Engineering Briefs</i>	FAA - <i>Federal Aviation Administration</i>
Código Brasileiro de Aeronáutica	Lei 7.565 de 12/12/1986
Zona de Proteção de Aeródromos, Auxílios e Helipontos	Portaria nº 256/GC5 de 13/05/2011
Autorização prévia para construção de aeródromos	Resolução nº 158 de 13/07/2010
RBAC 154 - Regulamento Brasileiro de Aviação Civil	ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

Fonte: Adaptado por Ramos em 2016 (GOLDNER, 2012)

Este método foi sendo modificado até chegar na atual circular, AC 150/5320-6E de 2009, remodelando completamente os antigos métodos de dimensionamento de pavimentos aeroportuários, originando o desenvolvimento do programa FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid Flexible Elastic Layered Design*), cuja a utilização no Brasil vem sendo implementada de acordo com RAMOS (2016) (apud MEDINA E MOTTA, 2015).

No presente item, será abordado o dimensionamento de aeródromos com base na circular AC 150/5320-6D - "Airport Paviment Design and Evaluation" (FAA, 1995), que embora tenha sido atualizado para 6E, este insere os valores no programa FAARFIELD, enquanto o anterior aplica de forma prática, com o uso dos ábacos.

O método da FAA baseia-se seus dimensionamentos na utilização de ábacos, para determinar as espessuras das camadas que formam a estrutura do pavimento. Para pavimentos flexíveis tomam-se como parâmetros os valores de CBR. Mesmo sendo um procedimento empírico, a FAA aprova, entendendo que a correlações confiáveis nesta metodologia (NECKEL, 2017).

Foram consideradas de forma teórica, as solicitações das aeronaves tipo, determinados de forma empírica. O Peso de decolagem máximo e sua distribuição no pavimento são definidos de acordo com o tipo de aeronave de projeto selecionado para dimensionar o aeródromo (RAMOS, 2016).

Foi feito um estudo das configurações dos eixos pela FAA (1995), das áreas dos pneus e das pressões que eles exercem no pavimento, sendo relacionado com seu peso de decolagem máximo (PMD). Os ábacos foram feitos a partir do tipo de eixo que a aeronave de projeto possui como é mostrado na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Considerações do eixo para aeronaves com peso superior a 13,6 t

Tipo de eixo	Considerações
Simple	Nenhuma consideração especial foi feita.
Duplo	Considerou-se um espaçamento de 0,51 m entre os eixos dos pneus
Duplo Tandem	Considerou-se um espaçamento de 0,76 m entre o centro das rodas duplas e um espaçamento de 1,40 m entre os eixos tandem.
Aeronaves de fuselagem larga ("wide body")	Devido a grande diferença entre os trens de pouso dessas aeronaves, como o B 747, DC-10 e o L-101 1, houve a necessidade de se desenvolver ábacos específicos.

Fonte: Adaptado por Ramos em 2016 (FAA, 1995)

A pressão do pneu varia de 0,52 a 1,38 megapascal, variando de acordo com o eixo e o peso bruto da aeronave.

Ramos (2016) nos diz que há variação no tráfego em determinadas áreas, ao longo do aeródromo, naturalmente haverá também variações na espessura das camadas.

O método da FAA recomenda que o projetista defina uma espessura total do pavimento, onde haverá o tráfego de decolagem, considera-se o de decolagem por exercer maior pressão no solo do que na aterrissagem, tendo esse o fator de importância maior, o comprimento da pista.

As áreas que receberão o tráfego de chegada poderão utilizar 90% da espessura total encontrada no ábaco, enquanto que nas áreas com baixa ocorrência de tráfego, como as bordas, por exemplo, poderá adotar valores de 70% da espessura total (Ramos, 2016).

2.5.3 Definição da Aeronave de Projeto

A aeronave de projeto será aquela que exigirá maior espessura da estrutura do pavimento, todavia, nem sempre será aquela com o maior peso de decolagem.

Devemos definir o tipo de trem de pouso e o seu peso máximo de decolagem para cada tipo de aeronave, obtendo a carga que cada roda exerce na estrutura, podendo então calcular a espessura do pavimento. A carga por roda é definida através da divisão de 95% do peso máximo de decolagem pelo número de rodas que o trem pouso possui (Lopes, 2011).

Figura 2.4 – Avião do tipo ATR 42.



Fonte: Site oficial da ATR Aircraft.

Após determinar a aeronave de projeto, converte-se o número de decolagens das outras aeronaves para a aeronave de projeto, considerando o tipo de trem de

pouso da aeronave adotada. São apresentados na Tabela 2.9 os fatores para a conversão.

Tabela 2.9 – Fatores de conversão dos eixos das aeronaves para o eixo da aeronave de projeto

Aeronave considerada	Aeronave de projeto	Multiplicar as decolagens por:
Roda simples	Roda dupla	0,8
Roda simples	Duplo Tandem	0,5
Roda dupla	Duplo Tandem	0,6
Duplo-duplo Tandem	Duplo Tandem	1,0
Duplo Tandem	Roda simples	2,0
Duplo Tandem	Roda dupla	1,7
Roda dupla	Roda simples	1,3
Duplo-duplo Tandem	Roda dupla	1,7

Fonte: Adaptado por Ramos em 2016 (FAA, 1995)

Define-se o número de decolagens de cada aeronave, em função da aeronave de projeto, por meio da equação abaixo:

$$\log R1 = \log R2 \times \left(\frac{W2}{W1}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Em que:

R1= Equivalente anual de decolagens;

R2= Decolagens anuais expressas em termo do trem de pouso da aeronave de projeto;

W1= Carga por roda da aeronave de projeto;

W2= Carga por roda da aeronave a ser convertida.

Segundo Ramos (2016), o número de decolagens da aeronave de projeto a ser considerado no dimensionamento é o somatório do número das decolagens equivalentes de cada aeronave em função da aeronave de projeto. Após definido o número de decolagens anuais, deve-se utilizar o ábaco referente a cada tipo de aeronave (apud FAA, 1995).

Para trens de pouso mais complexos do que os apresentados na Tabela 2.9 é necessário um estudo mais refinado em relação ao tráfego, podendo levar em consideração como as propriedades dos materiais com a temperatura, as diferentes dimensões das aeronaves, as diferenças entre peso de decolagem e aterragem. Lembrando que pra aeronaves de médio porte o movimento de aterragem das aeronaves é compensado pelo fato de que todas as decolagens estão sendo realizadas com os pesos máximos de decolagens (SILVA, 2009).

2.5.4 DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS

A FAA sugere espessuras mínimas para cada camada que formam o pavimento, variando de acordo com o tipo do trem de pouso.

O subleito está submetido a tensões mais baixas do que as camadas superiores, pois ela diminui de acordo com as espessuras das camadas de base e sub-base, as quais dissipam as cargas ajudando o solo. A capacidade de um solo a resistir os esforços imposta pelo tráfego varia de acordo com sua resistência mecânica, peso específico e o teor de umidade.

A Tabela 2.10 mostra as exigências de compactação do solo referentes ao dimensionamento do pavimento flexível.

Tabela 2.10 – Requisitos de compactação do subleito para pavimentos flexíveis

Tipo de trem de pouso (aeronave de projeto)	Peso máximo de operação (lb)	Grau de compactação (%) vs. Profundidade de compactação (pol.)							
		Solos não coesivos				Solos coesivos			
		100	95	90	85	95	90	85	80
Eixo Simples	30.000	8	8 - 18	18 - 32	32 - 44	6	6 - 9	9 - 12	12 - 17
	50.000	10	10 - 24	24 - 36	36 - 48	6	6 - 9	9 - 16	16 - 20
	75.000	12	12 - 30	30 - 40	40 - 52	6	6 - 12	12 - 19	19 - 25
Eixo Duplo (incl. C-130)	50.000	12	12 - 28	28 - 38	38 - 50	6	6 - 10	10 - 17	17 - 22
	100.000	17	17 - 30	30 - 42	42 - 55	6	6 - 12	12 - 19	19 - 25
	150.000	19	19 - 32	32 - 46	46 - 60	7	7 - 14	14 - 21	21 - 28
	200.000	21	21 - 37	37 - 53	53 - 69	9	9 - 16	16 - 24	24 - 32
Duplo Tandem (incl. B757, B767, A300)	100.000	14	14 - 26	26 - 38	38 - 49	6	6 - 10	10 - 17	17 - 22
	200.000	17	17 - 30	30 - 43	43 - 56	6	6 - 12	12 - 18	18 - 26
	300.000	20	20 - 34	34 - 48	48 - 63	7	7 - 14	14 - 22	22 - 29
	400.000	23	23 - 41	41 - 59	59 - 76	9	9 - 18	18 - 27	27 - 36
DC - 10, L-1011 e B747	400.000	21	21 - 36	36 - 55	55 - 70	8	8 - 15	15 - 20	20 - 28
	600.000	23	23 - 41	41 - 59	59 - 76	9	9 - 18	18 - 27	27 - 36
	800.000	23	23 - 41	41 - 59	59 - 76	9	9 - 18	18 - 27	27 - 36

Nota:
1 lb = 0,454 kg
1 pol. = 2,54 cm

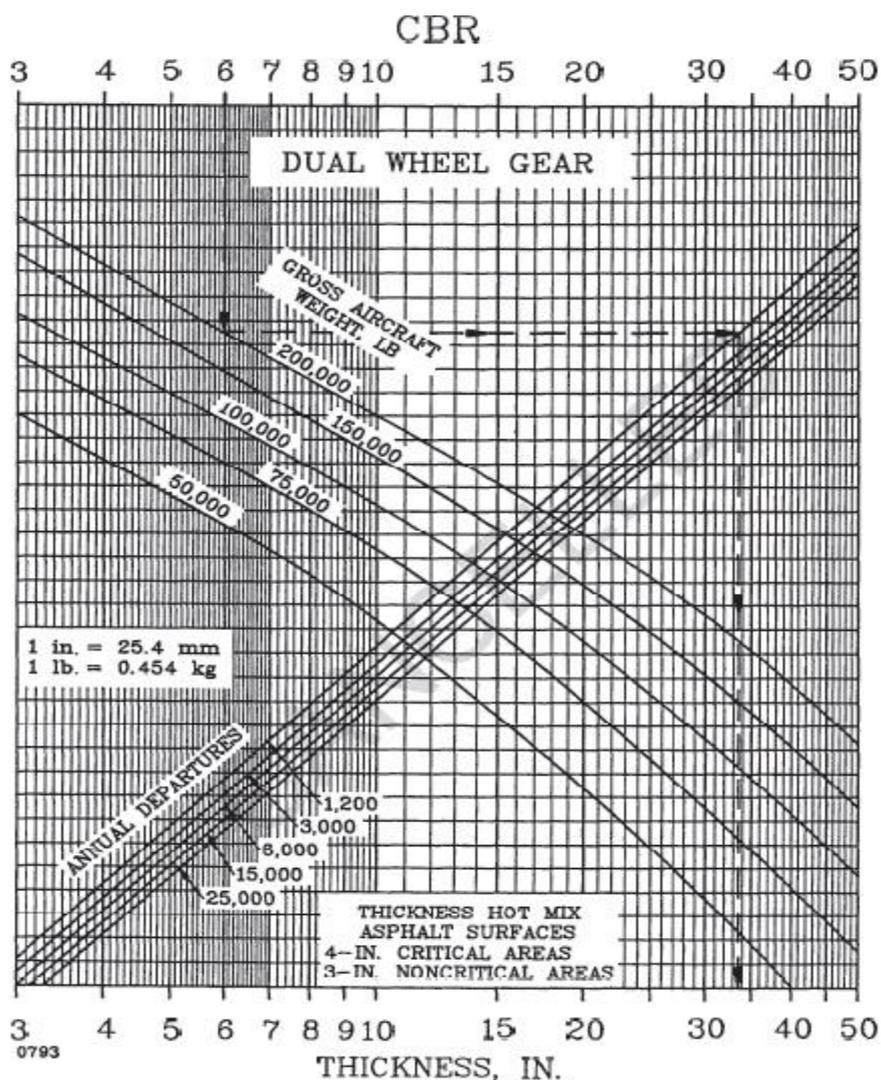
Fonte: Adaptado por Ramos em 2016 (FAA, 1995)

Lopes (2011) apud Forte (2007) disse que para dimensionar o aeródromo através dos ábacos é necessário que se determine o CBR do subleito e dos materiais utilizados nas camadas de base e sub-base.

Segundo RAMOS (2016), devido às diferenças de cargas exercidas pelos diferentes tipos de eixos, foram desenvolvidos ábacos distintos para cada arranjos de eixos do trem de pouso das aeronaves.

O ábaco representado na Figura 2.5 é utilizado para determinar a espessura total do pavimento, para trens de pouso de eixo duplo.

Figura 2.5 – Ábaco de dimensionamento de pavimento flexível para eixo duplo



Fonte: FAA, 1995

Em caso de pavimentos que vão ser projetados para suportar aeronaves pesadas (acima de 45 toneladas), será necessário a utilização de bases e sub-base estabilizadas.

A Tabela 2.11 especifica os requisitos mínimos para o revestimento na área crítica e na área não crítica.

Tabela 2.11 – Espessura mínima da camada de revestimento para pavimentos flexíveis

Trem de pouso	Área crítica	Área não crítica
Eixo Simples	101 mm	76 mm
Eixo Duplo	101 mm	76 mm
Duplo Tandem	101 mm	76 mm
A-300 Model B2	101 mm	76 mm
A-300 Model B4	101 mm	76 mm
B-747-100, SE, 200 B, C, F	127 mm	101 mm
B-747-SP	127 mm	101 mm
B-757	101 mm	76 mm
B-767	101 mm	76 mm
C-130	101 mm	76 mm
DC 10-10, 10CF	127 mm	101 mm
DC 10-30, 30CF, 40, 40CF	127 mm	101 mm
L-1011-1, 100	127 mm	101 mm
L-1011-100, 200	127 mm	101 mm

Fonte: Adaptado por Ramos em 2016 (FAA, 1995)

As decolagens apresentadas nos ábacos especificados pela FAA foram estudadas para uma vida útil de 20 anos. Segundo RAMOS (2016), um pavimento que irá receber um número de decolagens anuais superiores a 25.000, deverá sofrer um acréscimo em sua estrutura.

A aeronave ATR 42-300 possui eixo duplo com um peso máximo de decolagem de 16.700kg, só que como podemos ver na Tabela 2.13, para eixo duplo o PMD mínimo é de 22.700kg, para efeito de cálculo será levado em consideração o trem de pouso, sendo ele eixo duplo.

A Tabela 2.12 especifica as espessuras mínimas da camada de base para os diferentes tipos de trem de pouso e peso de decolagem.

Tabela 2.12 – Espessuras mínimas da camada de base para pavimentos flexíveis

Trem de pouso	Peso de decolagem (kg)	Espessura mínima (mm)
Eixo Simples	13 600 - 22 700	100
	22 700 - 34 000	150
Eixo Duplo	22 700 - 45 000	150
	45 000 - 90 700	200
Duplo Tandem	45 000 - 113 400	150
	113 400 - 181 000	200
757 / 767	90 700 - 181 000	150
DC - 10 / L1011	181 000 - 272 000	200
B - 747	181 000 - 272 000	150
	272 000 - 385 700	200
C - 130	34 000 - 56 700	100
	56 700 - 79 400	150

Fonte: Adaptado por Ramos em 2016 (FAA, 1995)

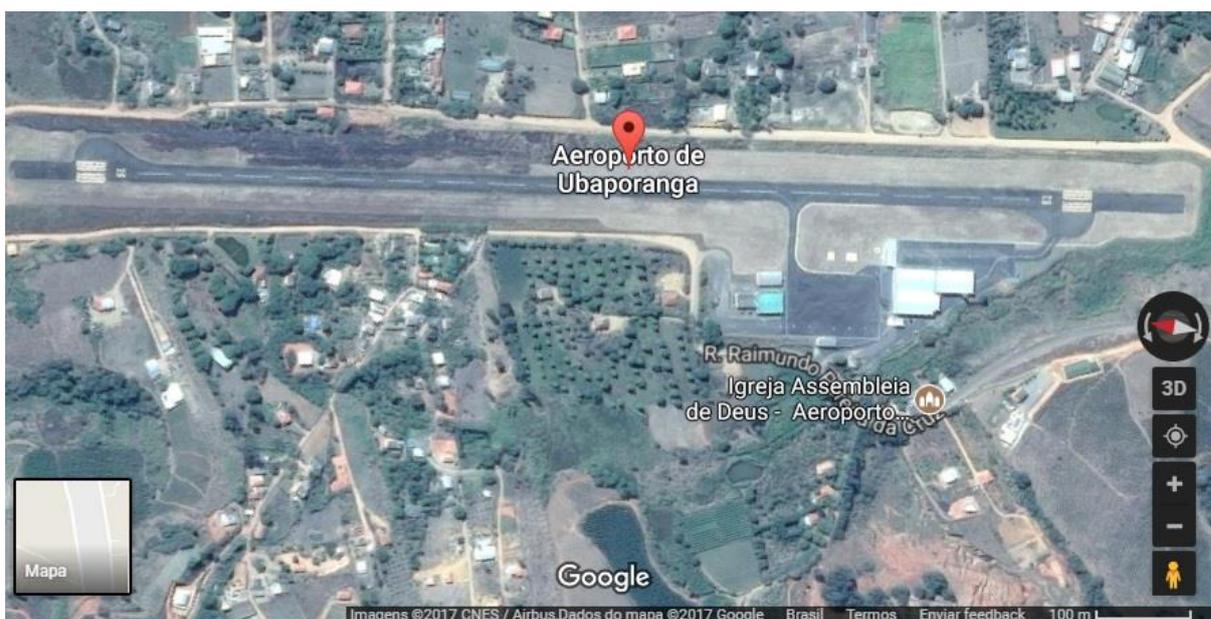
O número de decolagens anuais pode ser convertido para a forma de coberturas (coverages). Uma cobertura ocorre quando toda a área da superfície do aeródromo sofre solicitação de tensão máxima. Porém esta conversão tem maior influência para aeroportos de grande porte.

3 METODOLOGIA

3.1 Aeroporto de Caratinga

O Aeroporto em estudo localiza-se no município de Ubaporanga-MG, a nordeste de Belo Horizonte, distando 289 km da capital mineira, sendo servidas pelas rodovias BR-116, BR-474, MG-329 e MG-425. O Aeródromo fica a 4 km do perímetro urbano, sendo que o acesso é feito pela Avenida Resende, bairro Nossa Senhora das Graças. O uso do solo no entorno do aeroporto possui característica predominantemente rural.

Figura 3.1 – Imagem via satélite do Aeroporto de Caratinga.



Fonte: Google Maps, 2017.

Apresentam-se no ANEXO B detalhes técnicos procedente do aeródromo nos dias atuais os quais serão utilizados para o dimensionamento da geometria da nova pista no Subcapítulo 3.3.

3.2 Aeronave de projeto ATR 42-300

Aeronaves do tipo ATR-42 (Aviões de Transporte Regional) são fabricadas em larga escala na França, especialmente para atender pedidos de companhias aéreas regionais. ATR 42-300 é uma aeronave comercial bimotora pressurizada de médio porte e com capacidade de 46 passageiros (média densidade), eficiente em viagens intermunicipais e interestaduais. Será usado este modelo como aeronave crítica de projeto, para o estudo do dimensionamento geométrico e estrutural do aeródromo em questão.

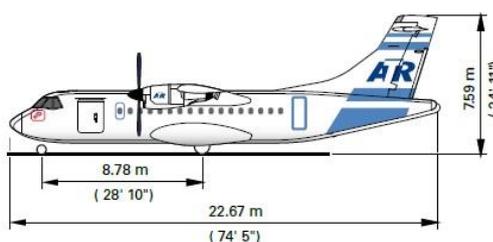
Tabela 3.1 – Características técnicas da aeronave ATR 42-300

Capacidade	46 assentos
Tripulação	1 piloto, 1 copiloto e 2 comissários
Comprimento	22,67 metros
Largura	24,57 metros
Altura	Aproximadamente 8 metros
Comprimento básico da pista	1.090 metros
Peso máximo de decolagem	16.700 kg
Trem de Pouso	Eixo Duplo

Fonte: Site oficial da ATR AirCraft (Adaptado pelo Autor, 2017)

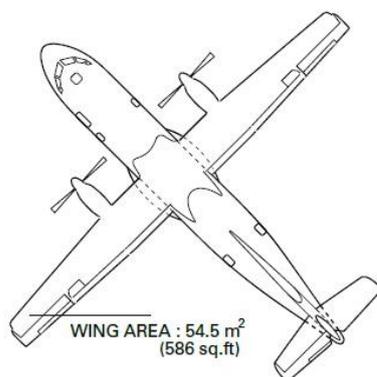
Apresenta-se na Figura 3.2, 3.3 e 3.4 a representação das vistas laterais e frontais da aeronave ATR 42-300 indicando suas dimensões e distancias.

Figura 3.2 – Vista longitudinal da aeronave ATR 42-300



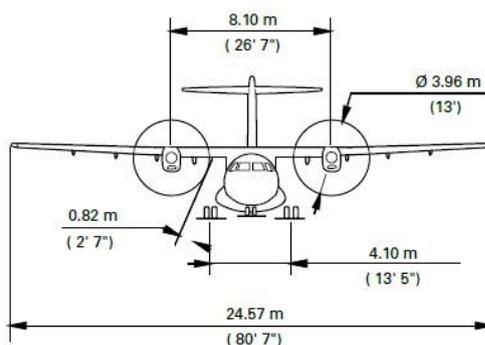
Fonte: Site oficial da ATR AirCraft

Figura 3.3 – Vista superior da aeronave ATR 42-30



Fonte: Site oficial da ATR AirCraf

Figura 3.4 – Vista transversal da aeronave ATR 42-300



Fonte: Site oficial da ATR AirCraft

As cotas representadas nas Figuras acima em metros são:

- Comprimento Total: 22,67
- Largura Total: 24,57
- Altura Total: 7,59
- Distância entre o eixo e a roda de nariz: 8,78
- Distância entre rodas: 4,10
- Distância entre hélices: 8,10
- Raio da hélice: 0,82

Dispõe-se no ANEXO C o catálogo contendo um nível de detalhamento maior da aeronave ATR 42-300.

3.3 Dimensionamento Geométrico

Respeitando o Anexo 14 da ICAO o comprimento da pista deve ser adequado aos pousos e decolagens de aeronaves de diversos tipos, com segurança, nas diversas condições climáticas e de técnica de pilotagem.

A aeronave tipo de projeto vem exigir o máximo que o aeródromo possa oferecer, podendo operar sem restrição. Qualquer aeronave que possua alguma característica técnica superior à de projeto, só poderá operar no aeródromo com restrição, ou em nenhuma hipótese em alguns casos de aviões de grande porte.

O ATR 42-300 necessita de um comprimento básico de pista de 1090 m. Esse valor passará por correções considerando alguns fatores.

3.3.1 Correção para altitude (K1)

É recomendado pelo o acréscimo de 7% para cada 300 m de elevação acima do nível do mar. O coeficiente K1 é definido pela equação:

$$K1 = 1,00 + \left(\frac{H}{300} \times 0,07\right) \quad (5)$$

Sendo que H representa a altitude do aeródromo em metros.

H= 602,6 metros.

Calculando o K1:

$$K1 = 1,00 + \left(\frac{602,6}{300} \times 0,07\right) = 1,141$$

Terá um acréscimo de aproximadamente 14% devido à altitude do local.

3.3.2 Correção para a temperatura (K2)

É recomendado um acréscimo de 1% para cada grau Celsius, em que a temperatura de referência do aeródromo exceda a temperatura padrão (ISA) correspondente à elevação do aeródromo. O coeficiente de correção K2 é definido através da equação:

$$K2 = 1,00 + [(Tr - Tp) \times 0,01] \quad (6)$$

Onde:

Tr significa a temperatura de referência do aeródromo, obtida pela média diária do mês mais quente do ano.

$$Tr = 33^\circ\text{C}$$

Tp simboliza a temperatura padrão na altitude do aeródromo, obtida pela expressão:

$$Tp = 15 - 0,002 \times \frac{H}{0,3048} \quad (7)$$

Para este caso, calcula-se:

$$Tp = 15 - 0,002 \times \frac{602,6}{0,3048} = 11,05 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tendo definido as temperaturas, computa-se:

$$K2 = 1,00 + [(33 - 11,05) \times 0,01] = 1,22$$

Tem-se uma correção de 22% devido à temperatura.

3.3.3 Correção para a declividade (K3)

Foi considerada uma declividade nula pelo fato de não influenciar no comprimento, neste caso, determinando o $K3=1$.

3.3.4 Cálculo do comprimento necessário (L_{nec})

Após a definição dos coeficientes de correção para a temperatura e altitude, deve multiplica-los pelo comprimento básico da pista, referente à aeronave de projeto.

$$L_{nec} = L_{bp} \times K1 \times K2 \times K3 \quad (8)$$

$$L_{nec} = 1.090 \times 1,14 \times 1,22 \times 1 = 1.515,97 \text{ m}$$

Isso significa que o comprimento necessário (L_{nec}) de 1.516 metros, representa o comprimento que a aeronave crítica de projeto irá exigir para operar no aeródromo sem restrição, podendo pousar e decolar em qualquer situação climática.

3.3.5 Largura da pista

A largura da pista de pouso depende de seu comprimento básico e da aeronave que irá operar, e, portanto do código. ATR 42-300 tem uma largura de aproximadamente 25 metros, forçando o aeródromo a ter entre 25 a 30 metros de largura.

3.4 Relatórios geotécnicos

Apresentam-se neste subcapítulo os relatórios geotécnicos realizados pela AMOC (Associação dos Municípios da Microrregião do Caparaó) envolvendo os experimentos de granulometria, limites físicos e CBR.

As amostras utilizadas neste trabalho constituem-se de materiais do subleito da pista de pouso do Aeroporto de Caratinga, onde foi executado furos nas laterais da pista de pouso para a retirada do material.

3.4.1 Descrição das amostras

Foram destacadas três amostras de subleito, indicadas na Tabela 3.2, referentes a três furos, a fim de expor os relatórios das mesmas e dimensionar o pavimento levando em consideração, os resultados obtidos através dos ensaios dessas amostras.

Tabela 3.2 – Amostras coletadas

AMOSTRA	FURO	MATERIAL
6	2	Argila Amarela
40	17	Argila Amarela
41	18	Argila Amarela

Como pode ser observado na tabela, o material predominante nas três amostras é a argila amarela.

3.4.2 Resultados dos ensaios granulométricos

O principal objetivo do ensaio de granulometria é obter a curva granulométrica do solo analisado. Através da curva granulométrica é possível estimar as percentagens correspondentes a cada tamanho de grãos presentes no solo. Para este estudo será mais importante à percentagem passante nas peneiras de número 4, 10, 40 e 200.

Segundo a AMOC os ensaios granulométricos foram realizados, respeitando as diretrizes da MB-32, atual DNER - ME 080/94.

Apresentam-se nos gráficos 3.1,3.2,3.3 as curvas granulométricas oriundas dos experimentos das amostras indicadas.

Gráfico 3.1 - Curva granulométrica referente à amostra 6



Gráfico 3.2 - Curva granulométrica referente à amostra 40

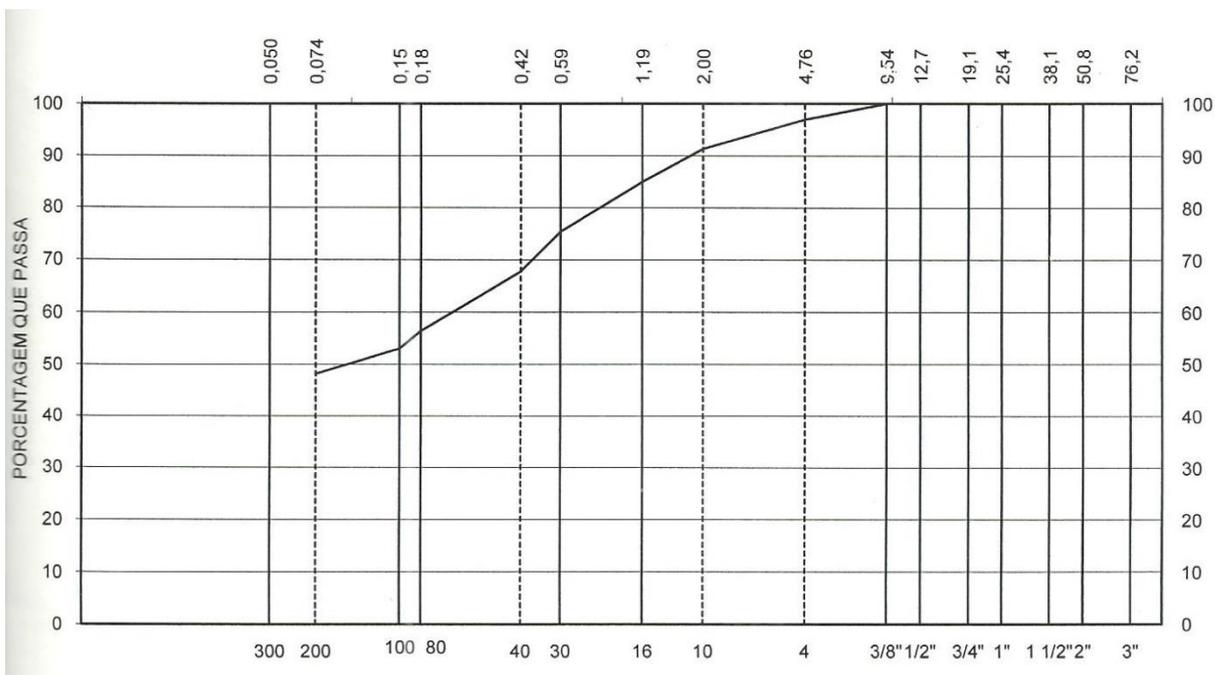
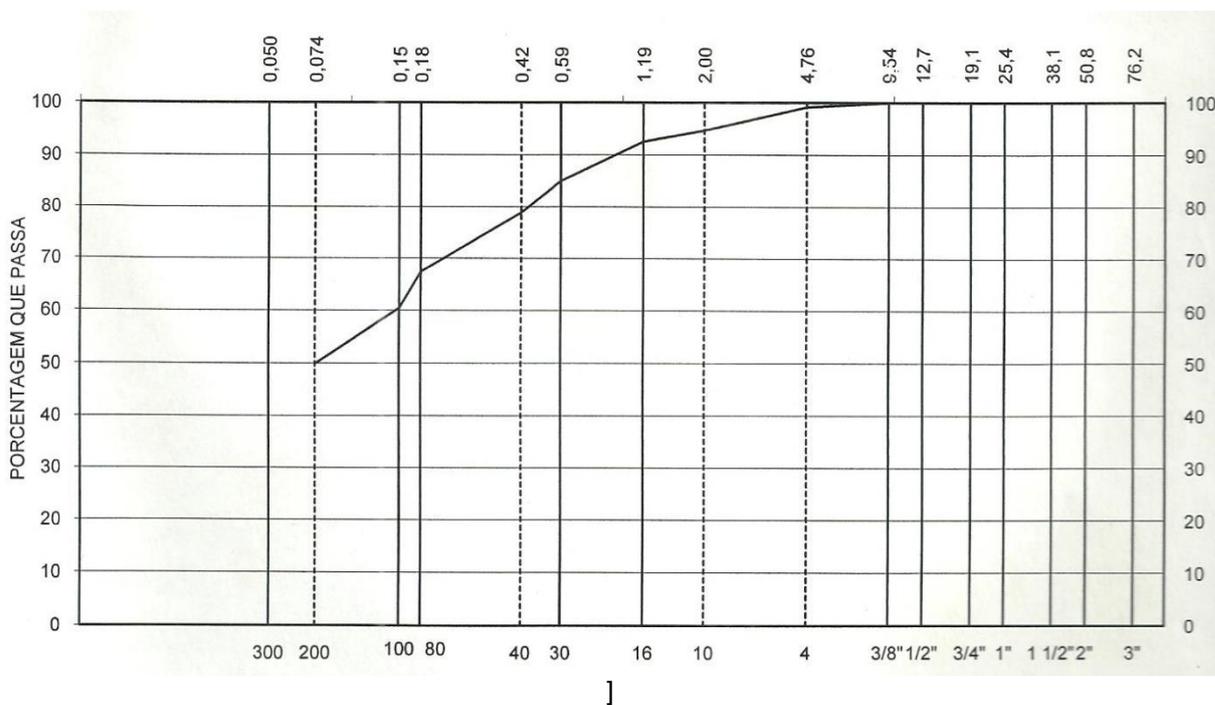


Gráfico 3.3 - Curva granulométrica referente à amostra 41



Identifica-se, através dessas curvas o percentual de materiais passantes nas principais peneiras para cada amostra, indicado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Percentual passante nas peneiras indicadas para cada amostra

AMOSTRAS	AMOSTRA 6	AMOSTRA	AMOSTRA
Peneira 4 (4,8 mm)	97	99	97
Peneira 10	90	95	91
Peneira 40	65	79	68
Peneira 200	49	50	48

Pode-se dizer que não há grandes variações na distribuição granulométrica, para as diferentes amostras retiradas do subleito.

Os relatórios com informações mais detalhadas sobre o ensaio de granulometria expressam-se no ANEXO D.

3.4.3 LIMITES FÍSICOS

Os Limites de Liquidez e de Plasticidade foram usados para determinar o índice de plasticidade e o índice de grupo. Assim permite-se classificar pelo método HRB, quanto a comportamento do solo, indo de péssimo a excelente, e quanto ao material predominante presente no mesmo.

Segundo a AMOC os ensaios foram executados obedecendo às diretrizes da DNER-ME 122/94 para limites de liquidez e DNER-ME 082/94 para limites de plasticidade.

Apresentam-se a seguir os resultados extraídos dos relatórios dos experimentos para limites físicos, índice de plasticidade, índice de grupo e a classificação pelo sistema HRB, indicados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Resultados dos limites físicos, índices de plasticidade e índices de grupo

	AMOSTRA 6	AMOSTRA 40	AMOSTRA 41
Limite de Liquidez	55%	49,7%	51,3%
Limite de	33%	29,3%	31,5%
Índice de	22%	20,4%	19,8%
Índice de Grupo	8	7	7
Classificação HRB	A-7-5	A-7-5	A-7-5

Utilizando o método HRB , pode-se classificar o solo como solo argiloso fraco. A tabela de classificação se encontra no ANEXO A.

Os relatórios com informações mais detalhadas sobre os ensaios de limites de liquidez e plasticidade encontra-se no ANEXO E.

3.4.4 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)

O CBR determina-se por meio do ensaio de Compactação Proctor Modificado, respeitando a NBR 7182/86, que através dele obtém-se a massa específica máxima aparente seca, que através deste é possível medir a resistência a penetração do corpo de prova compactado respeitando a norma da DIRENG 01/87 para a determinação do Índice de Suporte Califórnia.

Apresentam-se nos gráficos abaixo as curvas de Densidade Máxima x CBR, permitindo definir os valores de CBR através da massa específica máxima encontrada no relatório de compactação Próctor.

Gráfico 3.4 - Curva Densidade Máxima x CBR da amostra 6

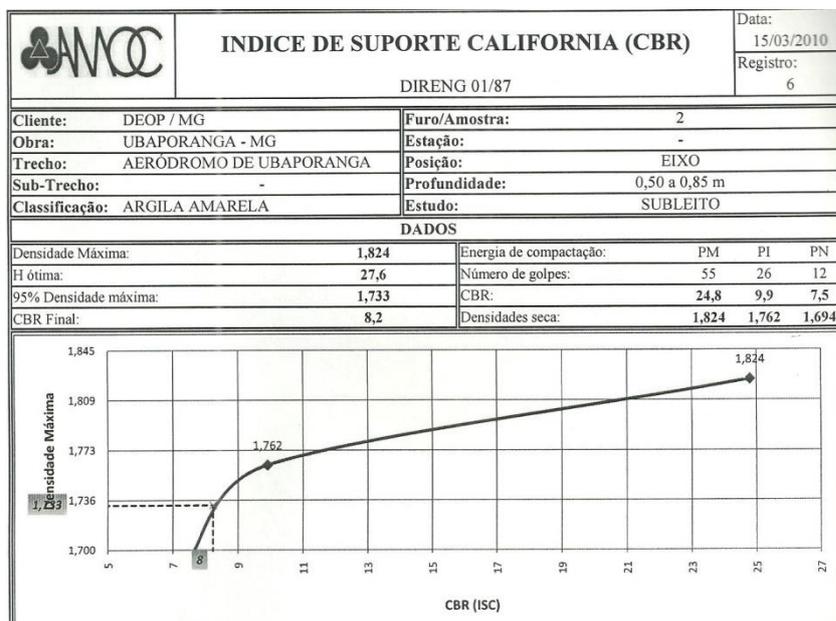


Gráfico 3.5 - Curva Densidade Máxima x CBR da amostra 40

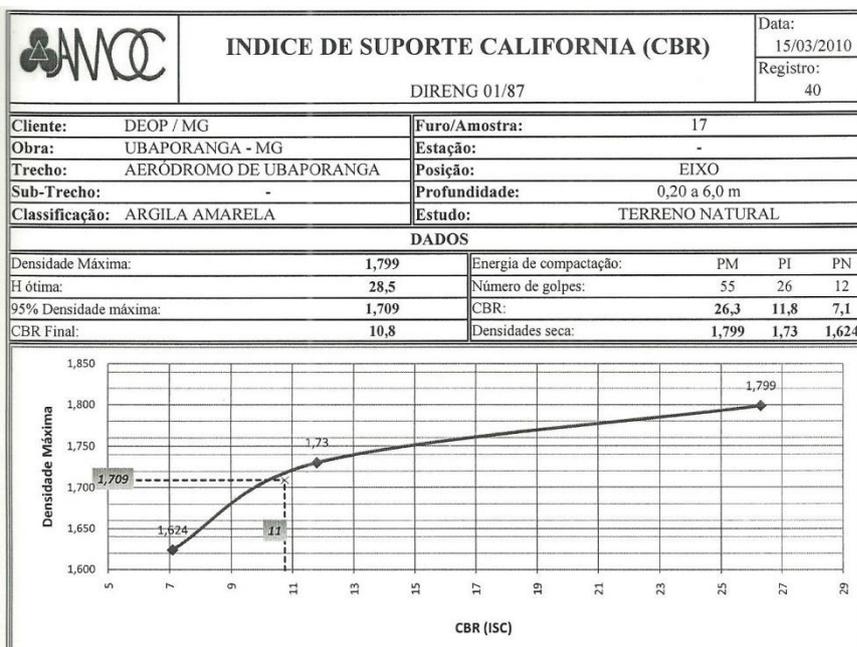
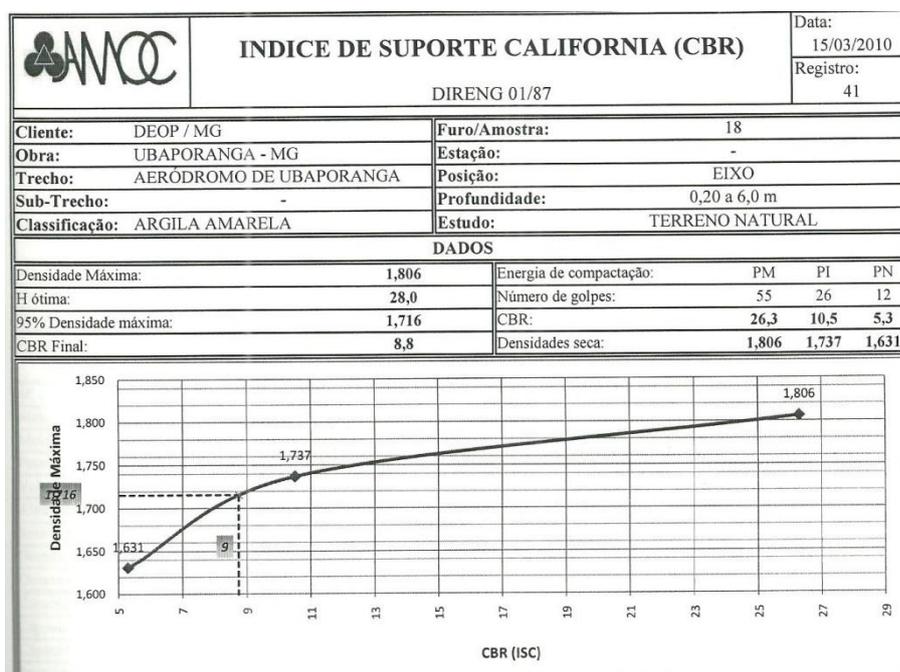


Gráfico 3.6 - Curva Densidade Máxima x CBR da amostra 41

O CBR é indicado utilizando 95% da densidade máxima encontrada no ensaio de compactação, segundo a DIRENG 01/87.

Resumem-se na Tabela 3.5 os resultados finais da densidade máxima e CBR.

Tabela 3.5 - Resultados finais dos relatórios de Compactação e CBR

	AMOSTRA 6	AMOSTRA 40	AMOSTRA 41
DENSIDADE MÁXIMA (kg/cm ³)	1,824	1,799	1,806
95% DENSIDADE MÁXIMA	1,733	1,709	1,716
CBR (%)	8,2	10	8,8

Pode ser observado que á uma pequena variação no CBR. Tirando a média dos três valores finais dos índices obterá então um CBR=9%.

Apresentam-se os relatórios de compactação no ANEXO F. O relatório completo do CBR encontra-se no ANEXO G.

3.5 Dimensionamento estrutural do pavimento

Para iniciar o dimensionamento primeiramente deve-se identificar o trem de pouso da aeronave de projeto para a seleção do ábaco. Para ATR 42-300 tem-se:

Trem Tipo = Eixo Duplo

Em seguida deve-se identificar o valor de CBR do subleito, sendo este o valor mais determinante neste método. Para o subleito localizado nas proximidades da pista, extraído das análises do item 3.4.4, obteve-se uma média de:

$$CBR = \frac{8,2 + 8,8 + 10}{3} \quad (8)$$

$$CBR = 9\%$$

Definindo o CBR, deve-se estabelecer o número de decolagens anuais (NDA), da aeronave crítica de projeto. Neste caso, levou-se em consideração o número de decolagens no ano de 2014 na cidade de Ipatinga-MG, o qual operou 2.830 decolagens neste ano, segundo estudo estatístico do SETOP.

A curva que mais se aproxima do número de decolagens de Ipatinga no ano de 2014 é:

$$NDA = 3.000$$

NDA é o número de decolagens anuais que a pista deverá suportar em um período de 20 anos para a aeronave de projeto. Neste caso, o pavimento está sendo dimensionado para atender 3 mil decolagens da ATR 42-300 durante 20 anos.

Em casos específicos onde o aeroporto receberá diversos tipos de aeronaves diferentes, é necessário um cálculo de decolagens anuais equivalentes, onde considerará diversos trens tipos com configuração diferentes, sendo necessário um estudo estatístico detalhado do local. O procedimento para este cálculo está explícito no item 2.4.3.

Logo identifica-se o peso máximo de decolagem. Para ATR 42-300 tem-se:

$$PMD = 16.700kg$$

Onde PMD é o peso máximo que a aeronave em questão irá atingir, considerando, tanque cheio e todos os assentos ocupados. Sendo que este valor é fornecido pelo fabricante.

Devido o ábaco ser procedente de normas internacionais, a unidade de peso é dado em libras (lb). Para facilitar na identificação da curva, realiza-se a conversão. Logo se tem:

$$1lb = 0,454kg$$

$$x = 16.700kg$$

Utilizando o artifício da regra de três, onde x é o peso convertido em libras, calcula-se:

$$x = \frac{16.700}{0,454}$$

$$x \cong 36.784lb$$

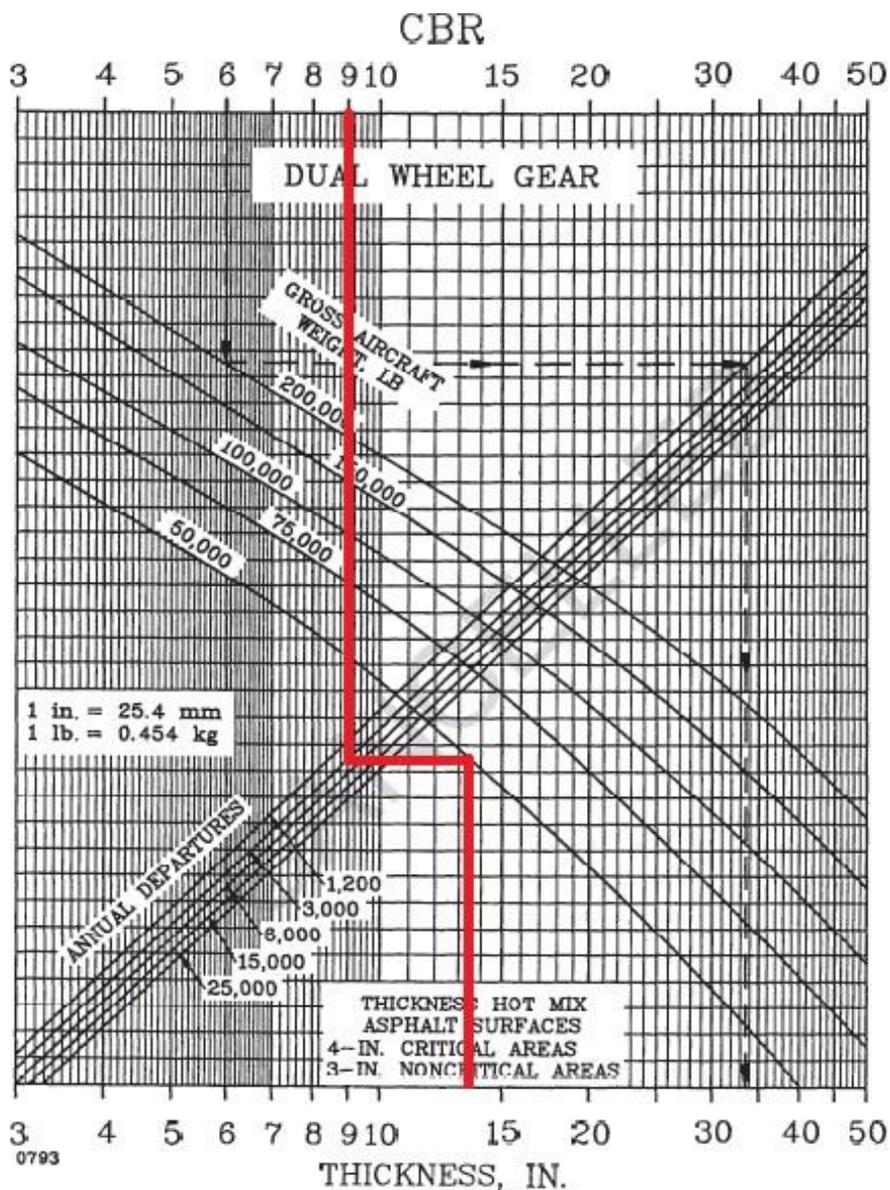
No ábaco para eixo duplo, a curva com o peso máximo de decolagem mínimo é de:

$$PMD = 50.000lb$$

Logo se adota para dimensionamento a curva com este valor de PMD.

Indica-se por meio do ábaco na Figura 3.5, a espessura total do pavimento:

Figura 3.5 – Indicação da espessura total do pavimento no ábaco



Fonte: FAA, 1995

Defini-se uma espessura mínima de aproximadamente 14 polegadas.

Realiza-se a conversão de polegadas para centímetros:

$$1\text{pol} = 2,54\text{cm}$$

$$14\text{pol} = HT$$

$$HT = 14 \times 2,54 = 35,56\text{cm}$$

Onde HT é a altura total em centímetros que o pavimento deverá ter.

É aconselhável adotar números inteiros, múltiplos de 5, para facilitar na execução, logo:

$$HT = 40\text{cm}$$

Em seguida determina-se a altura mínima da base através da Tabela 3.6, onde primeiramente relaciona-se o trem de pouso e depois o PMD.

Visto anteriormente que adotou-se eixo duplo com um PMD de 45.000 lb (20.430kg), tem-se:

Tabela 3.6 – Indicação da espessura mínima da base

Trem de pouso	Peso de decolagem (kg)	Espessura mínima (mm)
Eixo Simples	13 600 - 22 700	100
	22 700 - 34 000	150
Eixo Duplo	22 700 - 45 000	150
	45 000 - 90 700	200
Duplo Tandem	45 000 - 113 400	150
	113 400 - 181 000	200
757 / 767	90 700 - 181 000	150
DC - 10 / L1011	181 000 - 272 000	200
B - 747	181 000 - 272 000	150
	272 000 - 385 700	200
C - 130	34 000 - 56 700	100
	56 700 - 79 400	150

Logo a base deverá ter no mínimo:

$$HB = 15\text{ cm}$$

A norma da FAA AC 150/5320-6D, exige que o CBR para base deve ser de 100%.

Para o revestimento, seguindo a tabela 3.7, tem-se 101 milímetros para área crítica e 76 milímetros para área não crítica.

Tabela 3.7 Indicação da espessura mínima do revestimento.

Trem de pouso	Área crítica	Área não crítica
Eixo Simples	101 mm	76 mm
Eixo Duplo	101 mm	76 mm
Duplo Tandem	101 mm	76 mm
A-300 Model B2	101 mm	76 mm
A-300 Model B4	101 mm	76 mm
B-747-100, SE, 200 B, C, F	127 mm	101 mm
B-747-SP	127 mm	101 mm
B-757	101 mm	76 mm
B-767	101 mm	76 mm
C-130	101 mm	76 mm
DC 10-10, 10CF	127 mm	101 mm
DC 10-30, 30CF, 40, 40CF	127 mm	101 mm
L-1011-1, 100	127 mm	101 mm
L-1011-100, 200	127 mm	101 mm

Considerando um dimensionamento uniforme do pavimento, adota-se:

$$HR = 10 \text{ cm}$$

Sendo HR a altura mínima do revestimento.

Por fim, para calcular a altura mínima da sub-base, utiliza-se o mesmo ábaco usado para calcular a altura total, a diferença é que utiliza-se um CBR=20% para determinar a espessura da sub-base, onde obteve-se um valor de:

$$HSB = 15 \text{ cm}$$

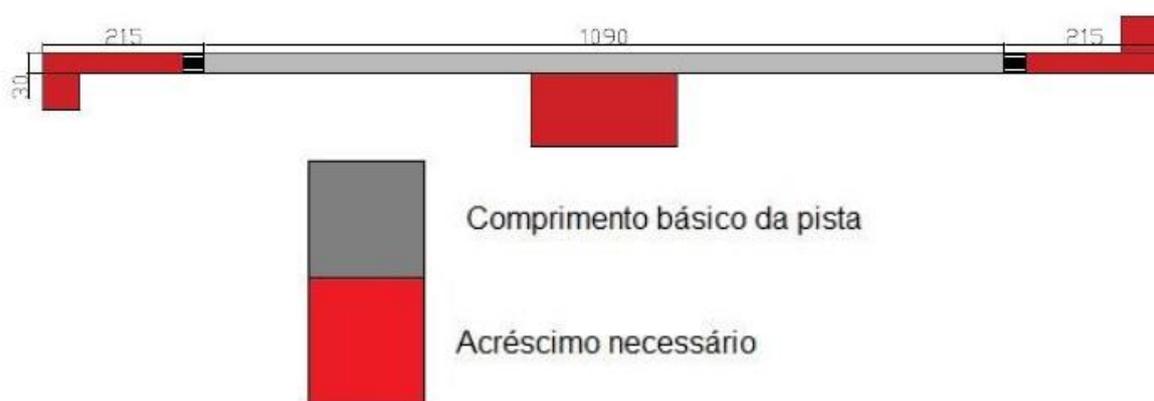
Sendo HSB a altura da sub-base.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Resultados do dimensionamento geométrico da pista

Para dimensionar o comprimento e a largura da pista do aeroporto de Caratinga foi considerada uma aeronave do tipo ATR 42-300 que exigia um comprimento mínimo de 1.090 metros. A altitude exigiu uma correção de 14,7% e a temperatura exigiu 22% sobre o comprimento básico da pista, ampliando-a em 420 metros. A figura 4.1 demonstra de forma intuitiva como ficaria a geometria da pista.

Figura 4.1 – Ilustração da geometria da pista projetada.



Fonte: O Autor

O aeródromo atual possui uma pista de 1.080 metros, seria necessário então um acréscimo mínimo de 10 metros para atender o comprimento básico da ATR 42-300. Para atingir o comprimento ideal será necessário um acréscimo de 450 metros para que a aeronave de projeto opere sem restrição na pista. A área da pista projetada ficaria em torno de 45.900 metros quadrados.

4.2 Resultados Geotécnicos

Os relatórios geotécnicos mostraram que as características físicas do solo não sofreram grandes variações, indicando um terreno com subleito estável, ambas as amostras se classificaram na categoria A-7-5, pelo método HRB, que representam um solo argiloso de comportamento fraco para fundação. O CBR também não sofreu grandes variações, indo de 8,2 % a 10%.

Apresentam-se na Tabela 4.1 as taxas de variações das amostras.

Tabela 4.1 – Taxa de variação das amostras 6, 40 e 41.

PERCENTAGEM PASSANTE NA PENEIRA #200	48% A 50%
INDICE DE GRUPO	7% A 8%
LIMITE DE LIQUIDEZ	50% A 55%
LIMITE DE PLASTICIDADE	30% A 33%
INDICE DE PLASTICIDADE	20% A 22%
CBR	8,2% A 10%

Embora o solo seja classificado como fraco para suporte de fundação, ele possui uma estabilidade física satisfatória. A norma da FAA, AC 150 - 6E recomenda um CBR mínimo de 6% para pistas aeroportuárias, o valor de CBR encontrado nos ensaios varia de 8,2 a 10%, passando então neste requisito, sendo classificado como um subleito com resistência média.

Nos trechos pontuais onde o solo for relativamente ruim, possuindo um CBR menor que 2%, deve-se fazer uma escavação do subleito, retirando até um metro de profundidade e substituir por um solo estabilizado com um CBR melhor.

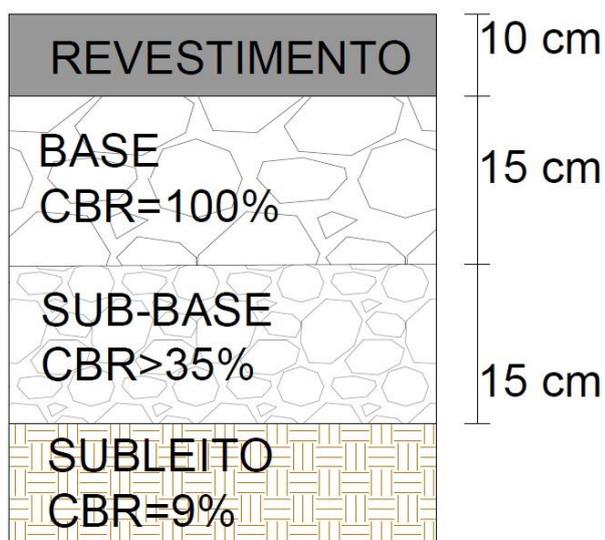
4.3 Resultados do dimensionamento das camadas do pavimento

A altura total do pavimento foi dimensionada para um índice de suporte CBR de 9%, número de decolagens anuais igual a 3.000 e peso máximo de decolagem de 50.000 libras, para uma aeronave do tipo ATR 42-300, eixo duplo. Considerando esses dados, através do ábaco da norma da FAA AC 150/5320-6D, foi dimensionado uma altura total de 40 centímetros.

Foi observado que ocorria uma divergência na escolha dos ábacos para a aeronave de projeto selecionada para este trabalho, que é a ATR 42-300. Essa aeronave tem um PMD de 30.784 libras e possui eixo duplo, porém, a curva com o menor PMD encontrada no ábaco é de 50.000 libras, isso significa que, teoricamente a pista será superdimensionada.

Porém, o Apêndice A prova que ocorre uma variação mínima na altura total se for utilizado o ábaco de eixo simples para um PMD de 45.000 libras, no dimensionamento.

Figura 4.2 – Ilustração das camadas com suas espessuras



Fonte: O Autor

Para o revestimento foi adotada uma altura de 10 centímetros, já que na Tabela 3.5 a espessura varia entre 76 milímetros a 101 milímetros, para áreas críticas e não críticas. O revestimento se divide em duas camadas capa e ligação, ambas são formadas por concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

Respeitando as indicações da FAA na Tabela 3.4 foi selecionada para eixo duplo, uma altura mínima de 15 centímetros para a base. Geralmente utiliza-se brita graduada para a formação da camada de base de forma que garanta um CBR de 100%.

Embora utiliza-se um CBR de 20% para dimensionar a sub-base, a norma da FAA AC 150/5320-6D impõe a utilização de um solo com um CBR de 35% para a sub-base. Os materiais mais utilizados para formar essa camada é a brita e o cascalho.

5 CONCLUSÃO

O estudo realizado buscou mostrar a aplicabilidade das normas aeroportuárias para o dimensionamento geométrico e estrutural de uma pista aeroportuária. O local escolhido foi o aeroporto de Caratinga, procurando mostrar como seria um dimensionamento real de uma pista naquele lugar.

O Anexo 14 forneceu instruções para que fosse possível dimensionar o comprimento e a largura da pista para garantir uma decolagem e um pouso seguro para aeronaves de médio porte, sendo a ATR 42-300 a crítica de projeto.

O atual aeroporto possui um comprimento total de 1.080 metros e 30 metros de largura. O comprimento e a largura mínima para uma aeronave ATR 42-300 como dito anteriormente é de 1.090 metros por 30 metros. O atual aeroporto atende o requisito da largura, mas não atende ao comprimento básico.

O dimensionamento do comprimento necessário da pista ficou em 1.520 metros, considerando os fatores de correção para altitude e temperatura. Este seria o comprimento ideal para um aeródromo de médio porte, se encaixando na classificação de referência 2C.

A norma da Federation Aviation Administration (FAA) AC 150/5320-6D de 1995, leva em consideração o CBR como principal fator para o dimensionamento estrutural da pista. As espessuras obtidas foram feitas por meio de ábacos e tabelas, os quais forneciam valores mínimos para cada camada, levando em consideração o CBR e a aeronave de projeto.

O CBR foi retirado dos experimentos realizados pela AMOC em 2010. Destes experimentos foram discriminadas 3 amostras referentes ao subleito do local, originadas de furos diferentes em lugares aleatórios. Foram analisados os ensaios de granulometria, limites e CBR dessas amostras e observado que houve pequenas variações na sua distribuição granulométrica, limites físicos e também CBR.

Pode-se afirmar que o solo é em geral uniforme, incluindo sua capacidade de suporte, que também não teve variações significantes. Este fato diminui o acarretamento de imprevistos.

Conclui-se que as normas ainda utilizam-se meios empíricos para o dimensionamento da infraestrutura de um pavimento aeroportuário. Visto que a atenção maior cai sobre o comprimento da pista, pois esta terá que ser o suficiente tanto para aeronave atingir a velocidade para decolar, tanto para a aeronave parar.

O Aeroporto de Caratinga localiza-se em uma área isolada com uma extensão territorial que comportaria a pista projetada neste trabalho além de possuir um solo uniforme com um índice de suporte mediano.

Embora não tenha sido estudado o pavimento do atual aeroporto, valerá a pena uma análise detalhada das camadas que o compõem, verificando o CBR da base e sub-base do local e suas espessuras e vê se atende aos requisitos.

Devido às dimensões projetadas neste trabalho não terem dado valores absurdamente altos, corre o risco de não ter que realizar grandes modificações na estrutura do pavimento, modificando somente o comprimento, já que a largura atende.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. *Lista de aeródromos públicos e privados*. 2016. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/aeroportos>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

AZEREDO, Gabriel Quadros De . *Fatores que condicionam a construção de pistas em aeródromos*. 2010. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia, PUCRS, Porto Alegre, 2011. 4.

BERTI, Carolina. *Avaliação da Capacidade de Suporte de Solos "in situ" em obras viárias através do cone de penetração dinâmica estudo experimental*. 2005. 122 p. Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258212/1/Berti_Carolina_M.pdf>. Acesso em: 28 set. 2017.

CARVALHO, Marcus Vinicius Guerra Seraphico de Assis . *Uma análise crítica de alguns processos empíricos de dimensionamento de pavimentos flexíveis*. 1999. 110 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Civil)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258733>>. Acesso em: 20 out. 2017.

G1, Agência Estado. *Anac: 13% dos aeródromos do País estão fechados*. 2009. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/aeroportos>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

HORONJEFF, Robert et al. *Planning e design of airports*. 5ª. ed. New York: Mc Graw Hill, 2010. 670 p. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37469167/Planning_and_Design_of_Airport_Horronjeff_et_al_2010.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1510185204&Signature=TOSYE4O%2BN1MX1I2NxxJf3cMilGs%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3Dplanning_and_design.pdf>. Acesso em: 01 set. 2017.

ICAO, International Civil Aviation Organization. *About ICAO*. 2017. Disponível em: <<https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

KNAPPETT, J.A; CRAIG, R.F. *Craig Mecânica dos Solos*. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 419 p.

LOPES, Leonardo Emidio. *Dimensionamento de pavimentos flexíveis para Aeroportos*. 2011. 53 p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina, Guaratinguetá, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/119684>>. Acesso em: 15 out. 2017.

MEDINA, J.; MOTTA, L. *Mecânica dos Pavimentos*. 3ª edição ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2015.

AC 150-6D. FAA. *Airport Pavement Design and Evaluation*. [S.l.: s.n.], 1995. 165 p. Disponível em: <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5320_6d_cancelled.pdf>. Acesso em: 07 out. 2017.

NECKEL, Glauciano. *Dimensionamento e análise numérica de estruturas de pavimento asfáltico aeroportuário*. 2017. 163 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas)- Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/178106>>. Acesso em: 15 out. 2017.

OACI. Anexo 14 al *Convenio sobre Aviación Civil Internacional*. Aeródromos. 5ª. ed. Montréal: [s.n.], 2009. 328 p. v. 1.

PINTO, Rodrigo Lemos. *Comparação entre o dimensionamento de reforço de pavimentos asfálticos pelo método mecanístico-empírico e os métodos DER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 para um segmento homogêneo da BR-222/CE e análise de sensibilidade do programa SisPavBR*. 2016. 110 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduando em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio De Janeiro, 1999. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017903.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2017.

PINTO, Carlos de Sousa. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas*. 3ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 355 p.

RAMOS , Bernardo Antonio Silva. *Estudo de casos com o emprego de métodos de dimensionamento de pavimentos aeroportuários da Federal Aviation Administration (FAA)*. 2016. 163 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8240>>. Acesso em: 15 out. 2017.

REBAC. n.154, de 08 de out. de 2017. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. *Projeto de Aeródromos*. Agência Nacional da Aviação Civil. [S.I.], p. 1-245, ago. 2017.

SANTOS, Mario Jorge Ledo dos. *Pavimentos rodoviários flexíveis - Exemplo de análise económica*. 2008. 98 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil)- Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/bitstream/10773/2370/1/2009000790.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2017.

SANTOS, Mario Jorge Ledo dos. *Dimensionamento de camadas de reforço de pavimentos rodoviários flexíveis*. 2009. 146 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil)- Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009. Disponível em: <<https://ria.ua.pt/bitstream/10773/2404/1/2010000342.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2017.

SCHNAID, Fernando ; ODEBRECHT, Edgar. *ENSAIOS DE CAMPO: e suas aplicações à Engenharia de Fundações*. 2ª Edição. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=MPPxAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1923&dq=schnaid+e+odebrecht&ots=wZFJQuancg&sig=3WPgHTN0izyeS5YhgM6FTazUiE0#v=onepage&q=schnaid%20e%20odebrecht&f=false>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

TORRES, Flavio Lacerda. *Aeroporto Internacional Salgado Filho: análise técnica do projeto da pista de pouso e decolagem*. 2010. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/26043>>. Acesso em: 11 out. 2017.

ANEXO A - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO HIGHWAY RESEARCH BOARDING

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)					Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0	4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina		Areia e areia silosa ou argilosa		Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom					Fraco a pobre				

Processo de classificação: Com os dados de laboratório, iniciar a classificação da esquerda para a direita, por eliminação.

O primeiro grupo da esquerda que satisfizer os dados será o grupo procurado.

SOLOS A-7: Se $IP \leq LL - 30$, será A-7-5; Se $IP > LL - 30$, será A-7-6.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p : teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

$a = p - 35$ (se $p > 75\%$, adota-se 75 e se $p < 35\%$, adota-se 35)

$b = p - 15$ (se $p > 55\%$, adota-se 55 e se $p < 15\%$, adota-se 15)

$c = LL - 40$ (se $LL > 60\%$, adota-se 60 e se $LL < 40\%$, adota-se 40)

$d = IP - 10$ (se $IP > 30$, adota-se 30 e se $IP < 10$, adota-se 10)

$IG_{mín.} = 0$ $IG_{máx.} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

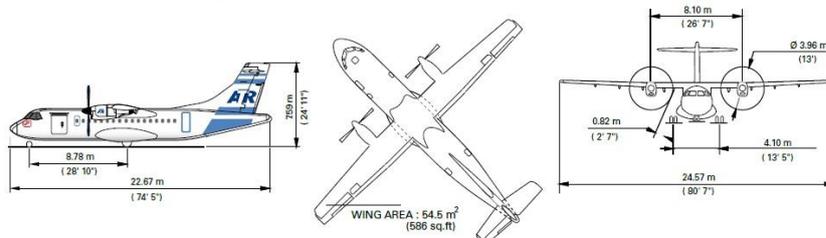
ANEXO B - DETALHES TÉCNICOS DO AEROPORTO DE CARATINGA

LOCALIZAÇÃO	UBAPORANGA-MG
TEMPERATURA DE REFERÊNCIA	33°C
COORDENADAS DO CENTRO DA PISTA	19°43'30,7864"S e 42°06'45,3928"W
ÁREA DE SEGURANÇA	25 metros de cada lado
ALTITUDE	602,6 metros
COMPRIMENTO	1080 metros
LARGURA	30 metros
1º AERÓDROMO MAIS PRÓXIMO	Aeroporto Elias Brender, Manhuaçu-MG
2º AERÓDROMO MAIS PRÓXIMO	Aeroporto de Ipatinga

ANEXO C - CATALO COM DETALHES TÉCNICOS DA AERONAVE ATR 42-300

ATR 42-300/-320

MATCHING CUSTOMER NEEDS

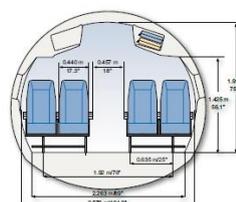


STANDARD CONFIGURATION

48 seats at 30" pitch



Attendant seat Galley Toilet Baggage Emergency exit



ENGINES	ATR 42-300	ATR 42-320
PRATT & WHITNEY CANADA	PW120	PW121
Take-off power	1,800 SHP	1,900 SHP
Take-off power - One engine	2,000 SHP	2,100 SHP
Max continuous	1,700 SHP	1,900 SHP
Max climb	1,700 SHP	1,700 SHP
Max cruise	1,619 SHP	1,700 SHP
PROPELLERS		
Hamilton Standard	14 SF-5	14 SF-5
Blades: 4; Diameter: 39.6 m - 13 ft		
WEIGHTS		
Max take-off weight (basic)	16,700 kg - 36,807 lb	
Max take-off weight (option)	16,900 kg - 37,257 lb	
Max landing weight (basic)	16,400 kg - 36,146 lb	
Max zero fuel weight (basic)	15,200 kg - 33,501 lb	
Max zero fuel weight (option)	15,540 kg - 34,259 lb	
Operational empty weight (Tech. Spec.)	10,290 kg - 22,679 lb	
Operational empty weight (Typical in-service)	10,900 kg - 24,030 lb	
Max payload (at typical in-service OEW)	4,300 kg - 9,477 lb	
Max fuel load	4,500 kg - 9,921 lb	

NB: en-route performance computed assuming Max Optional TOW, Typical in-service OEW, 48 PAX@95 Kg, JAR fuel reserves, taxi time allowance: 4 min.

AIRFIELD PERFORMANCE	ATR 42-300	ATR 42-320
TAKE-OFF DISTANCE		
• Basic (MTOW - ISA - SL)	1,090 m - 3,576 ft	1,041 m - 3,415 ft
• At TOW for 300 Nm Max pax - SL - ISA	1,073 m - 3,520 ft	1,026 m - 3,366 ft
• At TOW for 300 Nm Max pax - 3,000 ft - ISA +10	1,271 m - 4,170 ft	1,222 m - 4,009 ft
TAKE-OFF SPEED (V2 min @ MTOW)	108 KCAS	108 KCAS
LANDING FIELD LENGTH (JAR25)		
• Basic (MLW - SL)	886 m - 2,907 ft	
• At LW (max pax + reserves) - SL	864 m - 2,835 ft	
• Reference speed at landing	103 KIAS	103 KIAS
EN-ROUTE PERFORMANCE		
Optimum climb speed	160 KCAS	160 KCAS
Rate of climb (ISA, SL, MTOW)	1,320 ft/min	1,320 ft/min
Time to climb to FL170	15.1 min	14.8 min
One engine net ceiling (95% MTOW, ISA +10)	9,580 ft	10,940 ft
Max Cruise speed (95% MTOW - ISA - Optimum FL)	266 KIAS - 493 km/h	270 KIAS - 500 km/h
Fuel flow at cruise speed	568 kg/h 1,252 lb/h	584 kg/h 1,287 lb/h
Range with max pax	456 Nm	459 Nm
200 Nm Block Fuel	490 kg - 1,081 lb	491 kg - 1,083 lb
CO2 Emission	1,544 kg - 3,403 lb	1,547 kg - 3,410 lb
300 Nm Block Fuel	669 kg - 1,475 lb	668 kg - 1,473 lb
CO2 Emission	2,108 kg - 4,648 lb	2,105 kg - 4,639 lb

ATR DC/E Marketing June 2011

The information contained in this document is presented in good faith and does not in any way constitute an offer or a warranty.

Avions de Transport Régional - 1, allée Pierre Nadot - 31712 Blagnac Cedex - France - Phone +33 (0)5 62 21 62 21
www.atraircraft.com

Photo credit: ATR - Pierre Barthe. Printed by: Imprimerie Pascal Communication

© ATR. All rights reserved. Confidential and proprietary document.

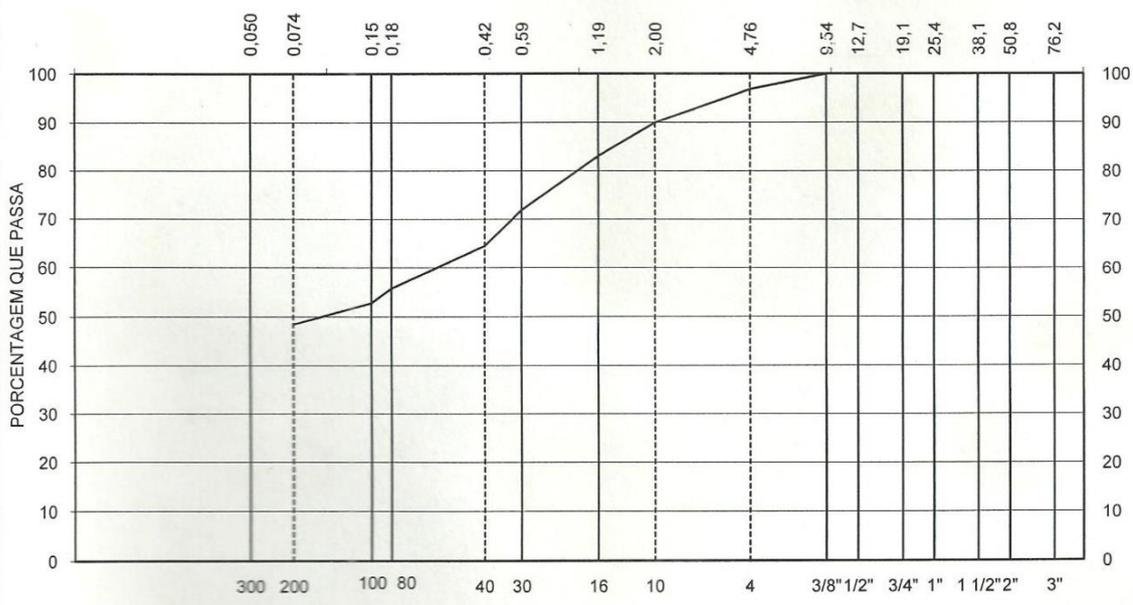
This document shall not be reproduced or disclosed to a third party without the written consent of ATR. This document and its content shall not be used for any purpose other than that for which it is supplied.

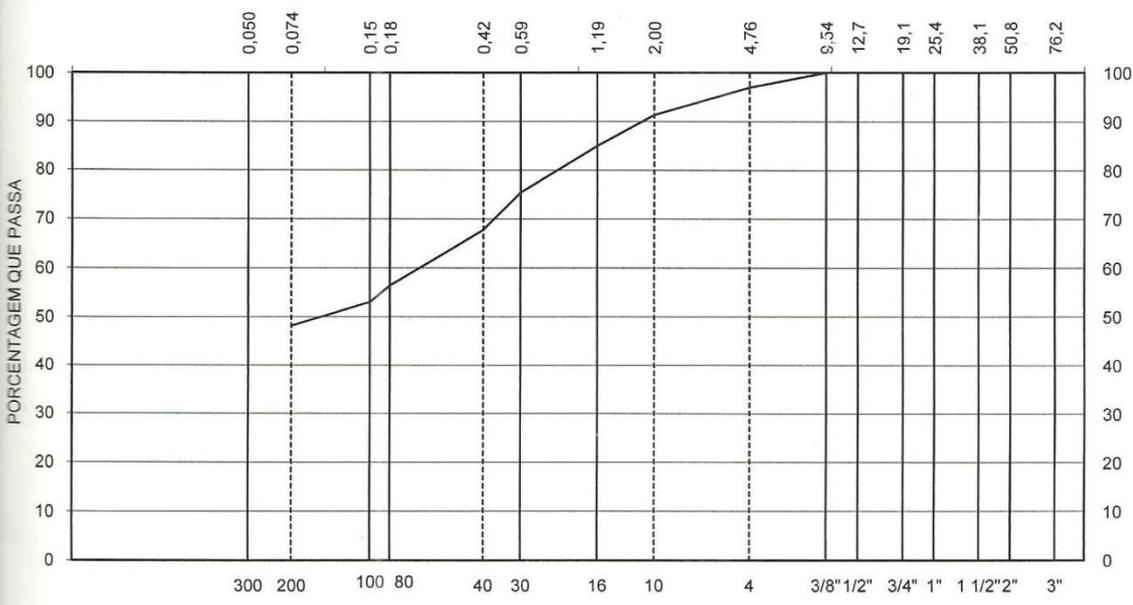
ATR, its logo, the distinctive ATR aircraft profiles and patented information relating to the ATR aircraft are the exclusive property of ATR and are

subject to copyright. This document and all information contained herein are the sole property of ATR. No intellectual property right is granted through, or induced by, the delivery of this document or the disclosure of its content.

The statements made herein do not constitute an offer or a representation. They are based on the mentioned assumptions and are expressed in good faith.

**ANEXO D - RELATÓRIOS DOS ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS REFERENTES
AO SOLO DO AEROPORTO DE CARATINGA**

		Título:		Registro:	
		ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS		6	
Rodovia:		Trecho:		Data:	
		AEROPORTO UBAPORANGA		17/03/2010	
Estudo:			Furo:		Estaca:
ARGILA AMARELA			02		
AMOSTRA TOTAL SECA		UMIDADE HIGROSCÓPICA		RESUMO	
Amostra Total Úmida (g)	1000,0	Cápsula (Nº)	55	Pedregulho: $\geq 4,8$ mm	3
Retida Nº10 Seca (g)	96,1	Cáp. + Solo + Água (g)	105,64	Areia Grossa: $< 4,8 \geq 2,0$ mm	7
Passando Nº10 Úmida (g)	903,9	Cáp. + Solo seco (g)	101,32	Areia Média: $< 2,0 \geq 0,42$ mm	26
Água (g)	38,9	Cápsula (g)	5,22	Areia Fina: $< 0,42 \geq$ Nº 200	16
Passando Nº10 Seca (g)	865,0	Água (g)	4,32	Argila/Siite: $< \text{N}^\circ 200$	49
Amostra Total Seca (g)	961,1	Solo seco (g)	96,10	Porcentagem Total	100
Amostra Menor (Úmida) (g)	100	Umidade Higroscópica (%)	4,5	Classificação H.R.B	
Amostra Menor (Seca) (g)	95,69	Fator de Correção	- 0,95694	Índice de Grupo I.G	
DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA					
PENEIRAS (#)	MATERIAL RETIDO			POEC. QUE PASSA AMOSTRA TOTAL (%)	PENEIRA (mm)
	PESO (g)	PORC. AMOSTRA MENOR Nº 10 (%)	PORC. AMOSTRA TOTAL (%)		
3"					76,2
2"					50,8
1 1/2"					38,1
1"					25,4
3/4"					19,1
1/2"					12,7
3/8"				100	9,54
Nº 4	29,8		3	97	4,76
Nº 10	66,3		7	90	2,00
Nº 16		7,3	7	83	1,19
Nº 30		11,9	11	72	0,59
Nº 40		7,8	7	65	0,42
Nº 80		9,3	9	56	0,18
Nº 100		3,2	3	53	0,15
Nº 200		4,6	4	49	0,074
					
Execução:		Visto:		Aprovação	
_____		_____		_____	

		Título:		Registro:	
		ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS		40	
Rodovia:		Trecho:		Data:	
AEROPORTO UBAPORANGA		Sub-Trecho:		17/03/2010	
Estudo:		Furo:		Estaca:	
ARGILA AMARELA		17			
AMOSTRA TOTAL SECA		UMIDADE HIGROSCÓPICA		RESUMO	
Amostra Total Úmida (g)	1000,0	Cápsula (Nº)	92	Pedregulho: $\geq 4,8$ mm	3
Retida Nº10 Seca (g)	82,8	Cáp. + Solo + Água (g)	101,00	Areia Grossa: $< 4,8 \geq 2,0$ mm	6
Passando Nº10 Úmida (g)	917,2	Cáp. + Solo seco (g)	97,29	Areia Média: $< 2,0 \geq 0,42$ mm	24
Água (g)	37,0	Cápsula (g)	8,99	Areia Fina: $< 0,42 \geq$ Nº 200	20
Passando Nº10 Seca (g)	880,2	Água (g)	3,71	Argila/Silte: $< \text{Nº 200}$	48
Amostra Total Seca (g)	963,0	Solo seco (g)	88,30	Porcentagem Total	100
Amostra Menor (Úmida) (g)	100	Umidade Higroscópica (%)	4,2	Classificação H.R.B	
Amostra Menor (Seca) (g)	95,97	Fator de Correção	- 0,95969	Índice de Grupo I.G	
DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA					
PENEIRAS (#)	MATERIAL RETIDO			POEC. QUE PASSA AMOSTRA TOTAL (%)	PENEIRA (mm)
	PESO (g)	PORC. AMOSTRA MENOR Nº 10 (%)	PORC. AMOSTRA TOTAL (%)		
3"					76,2
2"					50,8
1 1/2"					38,1
1"					25,4
3/4"					19,1
1/2"					12,7
3/8"				100	9,54
Nº 4	28,9		3	97	4,76
Nº 10	53,9		6	91	2,00
Nº 16		6,7	6	85	1,19
Nº 30		10,1	10	75	0,59
Nº 40		8,0	8	68	0,42
Nº 80		11,9	11	57	0,18
Nº 100		3,6	3	53	0,15
Nº 200		5,1	5	48	0,074
					
Execução:		Visto:		Aprovação	
_____		_____		_____	

		Título:		Registro:	
		ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS		41	
Rodovia:		Trecho:		Sub-trecho:	
		AEROPORTO UBAPORANGA			
Estudo:		Furo:		Estaca:	
ARGILA AMARELA		18			
AMOSTRA TOTAL SECA		UMIDADE HIGROSCÓPICA		RESUMO	
Amostra Total Úmida (g)	1000,0	Cápsula (Nº)	93	Pedregulho: $\geq 4,8$ mm	1
Retida Nº10 Seca (g)	49,6	Cáp. + Solo + Água (g)	82,33	Areia Grossa: $< 4,8 \geq 2,0$ mm	4
Passando Nº10 Úmida (g)	950,4	Cáp. + Solo seco (g)	78,90	Areia Média: $< 2,0 \geq 0,42$ mm	16
Água (g)	44,4	Cápsula (g)	9,00	Areia Fina: $< 0,42 \geq \text{N}^\circ 200$	29
Passando Nº10 Seca (g)	906,0	Água (g)	3,43	Argila/Silte: $< \text{N}^\circ 200$	50
Amostra Total Seca (g)	955,6	Solo seco (g)	69,90	Porcentagem Total	100
Amostra Menor (Úmida) (g)	100	Umidade Higroscópica (%)	4,9	Classificação H.R.B	
Amostra Menor (Seca) (g)	95,33	Fator de Correção	- 0,95329	Índice de Grupo I.G	
DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA					
PENEIRAS (#)	MATERIAL RETIDO			POEC. QUE PASSA AMOSTRA TOTAL (%)	PENEIRA (mm)
	PESO (g)	PORC. AMOSTRA MENOR Nº 10 (%)	PORC. AMOSTRA TOTAL (%)		
3"					76,2
2"					50,8
1 1/2"					38,1
1"					25,4
3/4"					19,1
1/2"					12,7
3/8"				100	9,54
Nº 4	7,5		1	99	4,76
Nº 10	42,1		4	95	2,00
Nº 16		2,2	2	93	1,19
Nº 30		7,6	8	85	0,59
Nº 40		6,1	6	79	0,42
Nº 80		11,6	12	67	0,18
Nº 100		6,9	7	61	0,15
Nº 200		10,7	11	50	0,074
					
Execução:		Visto:		Aprovação	
_____		_____		_____	

ANEXO E - RELATÓRIOS DOS ENSAIOS DE LIMITES DE LIQUIDEZ E DE PLASTICIDADE, REFERENTE AO SOLO DO AEROPORTO DE CARATINGA.

Título:		ENSAIOS FÍSICOS (LL e LP) DNER ME 44-64 / 82-63			Registro: 6		
Rodovia:		Trecho: AEROPORTO / CARATINGA/MG			Data: 15/03/2010		
Estudo: SONDAGEM DO SUBLEITO / ARGILA AMARELA		Estaca:		Furo: 2			
DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDÉZ							
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					
1	CÁPSULA	Nº	43	18	17	3	33
2	CÁPSULA+SOLO ÚMIDO	(g)	21,86	25,08	22,06	24,63	30,47
3	CÁPSULA +SOLO SECO	(g)	17,46	19,81	17,22	18,65	20,76
4	PESO DA CÁPSULA	(g)	6,07	7,39	7,71	8,47	8,09
5	PESO DA ÁGUA	(g)	4,40	5,27	4,84	5,98	9,71
6	PESO DO SOLO SECO	(g)	11,39	12,42	9,51	10,18	12,67
7	TEOR DE UMIDADE (h)	(%)	38,60	42,40	50,90	58,70	76,60
8	Nº DE GOLPES		50	40	30	20	10
DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE							
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					
1	CÁPSULA	Nº	9	27	12	44	23
2	CÁPSULA+SOLO ÚMIDO	(g)	11,07	10,31	10,79	12,25	10,62
3	CÁPSULA +SOLO SECO	(g)	10,26	9,47	9,97	11,44	9,83
4	PESO DA CÁPSULA	(g)	7,78	6,96	7,51	8,93	7,44
5	PESO DA ÁGUA	(g)	0,81	0,84	0,82	0,81	0,79
6	PESO DO SOLO SECO	(g)	2,48	2,51	2,46	2,51	2,39
7	TEOR DE UMIDADE (h)	(%)	32,55	33,50	33,23	32,30	33,20
8	TEOR DE UMIDADE MÉDIO (h)	(%)	33,0				

Gráfico de Líquidez vs. Teor de Umidade (%). O eixo vertical representa o Número de Golpes (N) variando de 10 a 100. O eixo horizontal representa o Teor de Umidade (%) variando de 30 a 80. Uma linha curva desce da esquerda para a direita, representando o limite de liquidez. Cinco pontos são plotados e conectados por linhas retas. Uma linha horizontal tracejada está em N=25, e uma vertical tracejada está em Teor de Umidade ≈ 55,0%.

Teor de Umidade (%)	Número de Golpes (N)
38,60	50
42,40	40
50,90	30
58,70	20
76,60	10

DENSIDADE REAL DO SOLOS (DNER ME 96-64)	
DESCRIÇÃO	RESULTADOS
PICNÔMETRO (Nº)	
TEMPERATURA (°C)	
PICNÔMETRO VAZIO (g)	
PIC. + SOLO SECO (g)	
PIC. + ÁGUA + SOLO (g)	
PIC. + ÁGUA (g)	
DENS. REL. ÁGUA (g/cm³)	
FATOR CORREÇÃO K ₂₀	
M. ESP. REAL 20°C (g/cm³)	
MÉDIA (g/cm³)	

RESUMO	
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	
DESCRIÇÃO	RESULT.
LIMITE DE LIQUIDÉZ (%)	55,0
LIMITE DE PLASTICIDADE (%)	33,0
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (%)	22,0
DENS. REAL DO SOLO (g/cm³)	

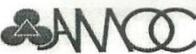
Execução:	Visto:	Aprovação:

Rodovia:		Trecho:		Sub-Trecho:			
Estudo:		Estaca:		Furo:			
ENSAIOS FÍSICOS (LL e LP) DNER ME 44-64 / 82-63							
Registro:				40			
Data:				15/03/2010			
AEROPORTO / CARATINGA/MG							
SONDAGEM DO SUBLEITO / ARGILA AMARELA							
DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDÉZ							
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					
1	CÁPSULA	Nº	8	34	12	38	45
2	CÁPSULA+SOLO ÚMIDO	(g)	20,21	22,03	25,05	26,02	30,94
3	CÁPSULA +SOLO SECO	(g)	17,91	18,58	19,87	19,25	19,89
4	PESO DA CÁPSULA	(g)	7,39	6,90	7,51	8,00	7,35
5	PESO DA ÁGUA	(g)	2,30	3,45	5,18	6,77	11,05
6	PESO DO SOLO SECO	(g)	10,52	11,68	12,36	11,25	12,54
7	TEOR DE UMIDADE (h)	(%)	21,90	29,50	41,90	60,20	88,10
8	Nº DE GOLPES		50	40	30	20	10
DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE							
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					
1	CÁPSULA	Nº	26	14	43	24	50
2	CÁPSULA+SOLO ÚMIDO	(g)	11,19	11,03	9,76	10,50	11,16
3	CÁPSULA +SOLO SECO	(g)	10,52	10,29	8,90	9,88	10,37
4	PESO DA CÁPSULA	(g)	8,38	7,65	6,07	7,59	8,00
5	PESO DA ÁGUA	(g)	0,67	0,74	0,86	0,62	0,79
6	PESO DO SOLO SECO	(g)	2,14	2,64	2,83	2,29	2,37
7	TEOR DE UMIDADE (h)	(%)	31,38	28,12	30,56	27,18	33,14
8	TEOR DE UMIDADE MÉDIO (h)	(%)	29,3				
Nº de Golpes (N)	Teor de Umidade (%)						
50	21,90						
40	29,50						
30	41,90						
20	60,20						
10	88,10						
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					
PICNÔMETRO	(Nº)						
TEMPERATURA	(°C)						
PICNÔMETRO VAZIO	(g)						
PIC. + SOLO SECO	(g)						
PIC.+ ÁGUA + SOLO	(g)						
PIC. + ÁGUA	(g)						
DENS. REL. ÁGUA	(g/cm³)						
FATOR CORREÇÃO	K ₂₀						
M. ESP. REAL 20°C	(g/cm³)						
MÉDIA	(g/cm³)						
RESUMO							
ÍNDICE DE PLASTICIDADE							
DESCRIÇÃO	RESULT.						
LIMITE DE LIQUIDÉZ (%)	49,7						
LIMITE DE PLASTICIDADE (%)	29,3						
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (%)	20,4						
DENS. REAL DO SOLO (g/cm³)							

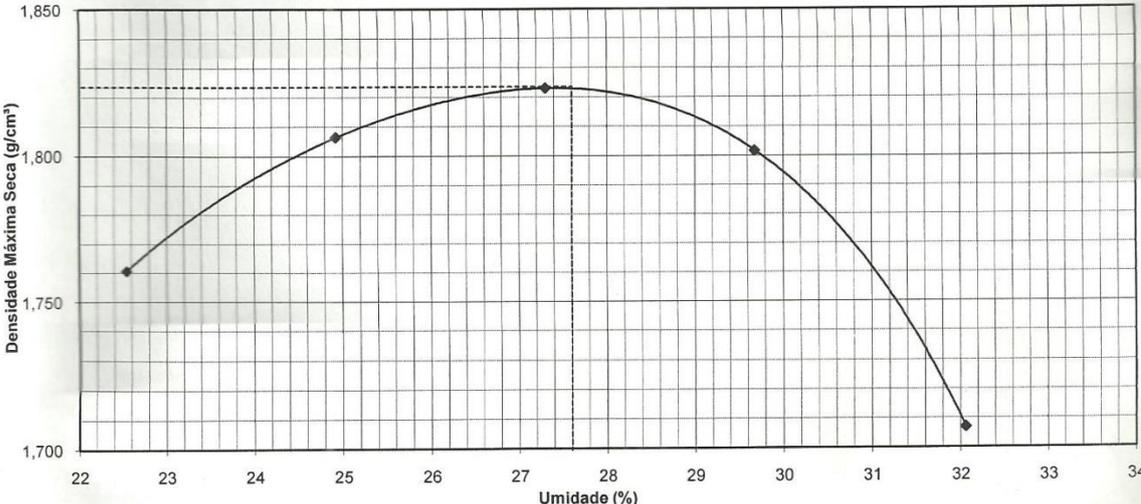
Execução: _____ Visto: _____ Aprovação _____

Título:		ENSAIOS FÍSICOS (LL e LP)			Registro:		41
		DNER ME 44-64 / 82-63			Data:		15/03/2010
Rodovia:	Trecho:			Sub-Trecho:			
		AEROPORTO / CARATINGA/MG					
Estudo:		Estaca:		Furo:			
SONDAGEM DO SUBLEITO / ARGILA AMARELA				18			
DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDÊZ							
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					
1	CÁPSULA	Nº	46	32	44	2	29
2	CÁPSULA+SOLO ÚMIDO	(g)	17,87	22,63	25,70	28,01	32,94
3	CÁPSULA +SOLO SECO	(g)	15,77	19,24	20,75	20,59	21,60
4	PESO DA CÁPSULA	(g)	6,19	8,51	8,93	8,34	8,73
5	PESO DA ÁGUA	(g)	2,10	3,39	4,95	7,42	11,34
6	PESO DO SOLO SECO	(g)	9,58	10,73	11,82	12,25	12,87
7	TEOR DE UMIDADE (h)	(%)	21,90	31,60	41,90	60,60	88,10
8	Nº DE GOLPES		50	40	30	20	10
DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE							
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					
1	CÁPSULA	Nº	7	35	47	12	3
2	CÁPSULA+SOLO ÚMIDO	(g)	11,08	10,04	10,89	10,73	11,83
3	CÁPSULA +SOLO SECO	(g)	10,24	9,33	10,14	9,99	10,99
4	PESO DA CÁPSULA	(g)	7,67	6,98	7,50	7,51	8,47
5	PESO DA ÁGUA	(g)	0,84	0,71	0,75	0,74	0,84
6	PESO DO SOLO SECO	(g)	2,57	2,35	2,64	2,48	2,52
7	TEOR DE UMIDADE (h)	(%)	32,70	30,21	28,49	29,83	33,41
8	TEOR DE UMIDADE MÉDIO (h)	(%)	31,5				
		DENSIDADE REAL DO SOLOS (DNER ME 96-64)					
		DESCRIÇÃO		RESULTADOS			
PICNÔMETRO		(Nº)					
TEMPERATURA		(°C)					
PICNÔMETRO VAZIO		(g)					
PIC. + SOLO SECO		(g)					
PIC. + ÁGUA + SOLO		(g)					
PIC. + ÁGUA		(g)					
DENS. REL. ÁGUA		(g/cm³)					
FATOR CORREÇÃO K ₂₀							
M. ESP. REAL 20°C		(g/cm³)					
MÉDIA		(g/cm³)					
RESUMO							
ÍNDICE DE PLASTICIDADE							
DESCRIÇÃO		RESULT.					
LIMITE DE LIQUIDÊZ (%)		51,3					
LIMITE DE PLASTICIDADE (%)		31,5					
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (%)		19,8					
DENS. REAL DO SOLO (g/cm³)							
Execução:		Visto:			Aprovação:		

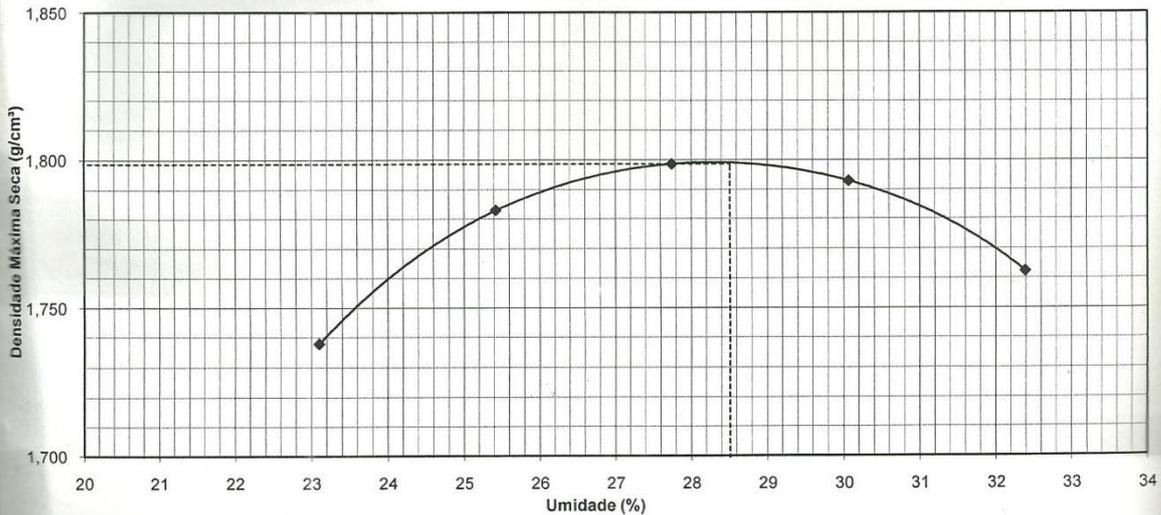
ANEXO F - ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO PRÓCTOR REFERENTES AO SOLO DO AEROPORTO DE CARATINGA.

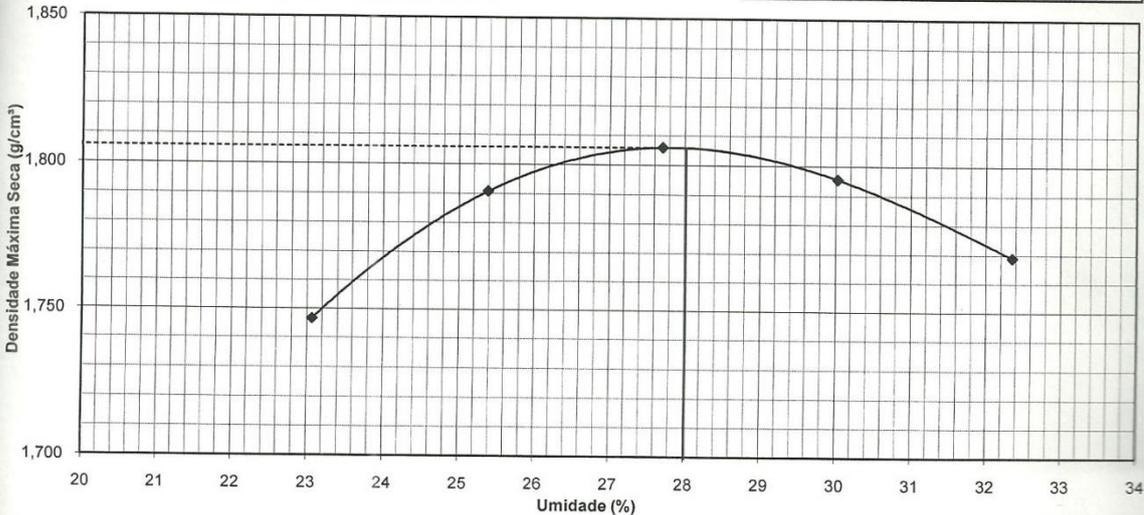
		Título: ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NBR - 7182/86				Registro: 6		
Rodovia:		Trecho: AEROPORTO CARATINGA/MG			Sub-Trecho: PISTA DE POUSO E DECOLAGENS			
Estudo: ARGILA AMARELO		Estaca:						
Furo: 02		Profundidade:		Proctor: MODIFICADO		Golpes: 55		
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE (h)								
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					UMID. HIGROSCÓPICA	
1	CÁPSULA N°						32	28
2	CÁPSULA+SOLO ÚMIDO (g)						96,50	100,20
3	CÁPSULA +SOLO SECO (g)						82,72	84,79
4	PESO DA CÁPSULA (g)						9,00	4,76
5	PESO DA ÁGUA (g)						13,78	15,41
6	PESO DO SOLO SECO (g)						73,72	80,03
7	TEOR DE UMIDADE (h) (%)						18,70	19,25
8	UMIDADE MÉDIA (h) (%)						19,0	
DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (γh)								
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					FATOR DE CORREÇÃO	
1	MOLDE (N)	25	26	27	28	29	0,840512713	
2	ÁGUA ADICIONADA (g)	150	250	350	450	550	SOLO ÚMIDO	SOLO SECO
3	MOLDE+SOLO+ÁGUA (g)	8.731	8.803	9.163	9.097	6.785	5.000	4.203
4	M - MOLDE (g)	4.258	4.116	4.313	4.258	2.085	MOLDES	
5	SOLO + ÁGUA (g)	4.473	4.687	4.850	4.839	4.700	N°	PESO
6	DENS. S. ÚMIDO (γh) (g/cm³)	2,158	2,257	2,321	2,336	2,254	25	4.258
							26	4.116
							27	4.313
							28	4.258
							29	2.085
							29	2.085
							29	2.085
DETERMINAÇÃO DA MASSA ESP. APAR. SECA (γs)								
UMIDADE CALCULADA (%)		22,5	24,9	27,3	29,7	32,1	27	4.313
M. ESP. APAR. SECA (g/cm³)		1,761	1,806	1,823	1,802	1,707	28	4.258
							29	2.085

D. Máx. = 1,824 g/cm³	Curva de Compactação	H. ot. 27,6 %
------------------------------	-----------------------------	----------------------



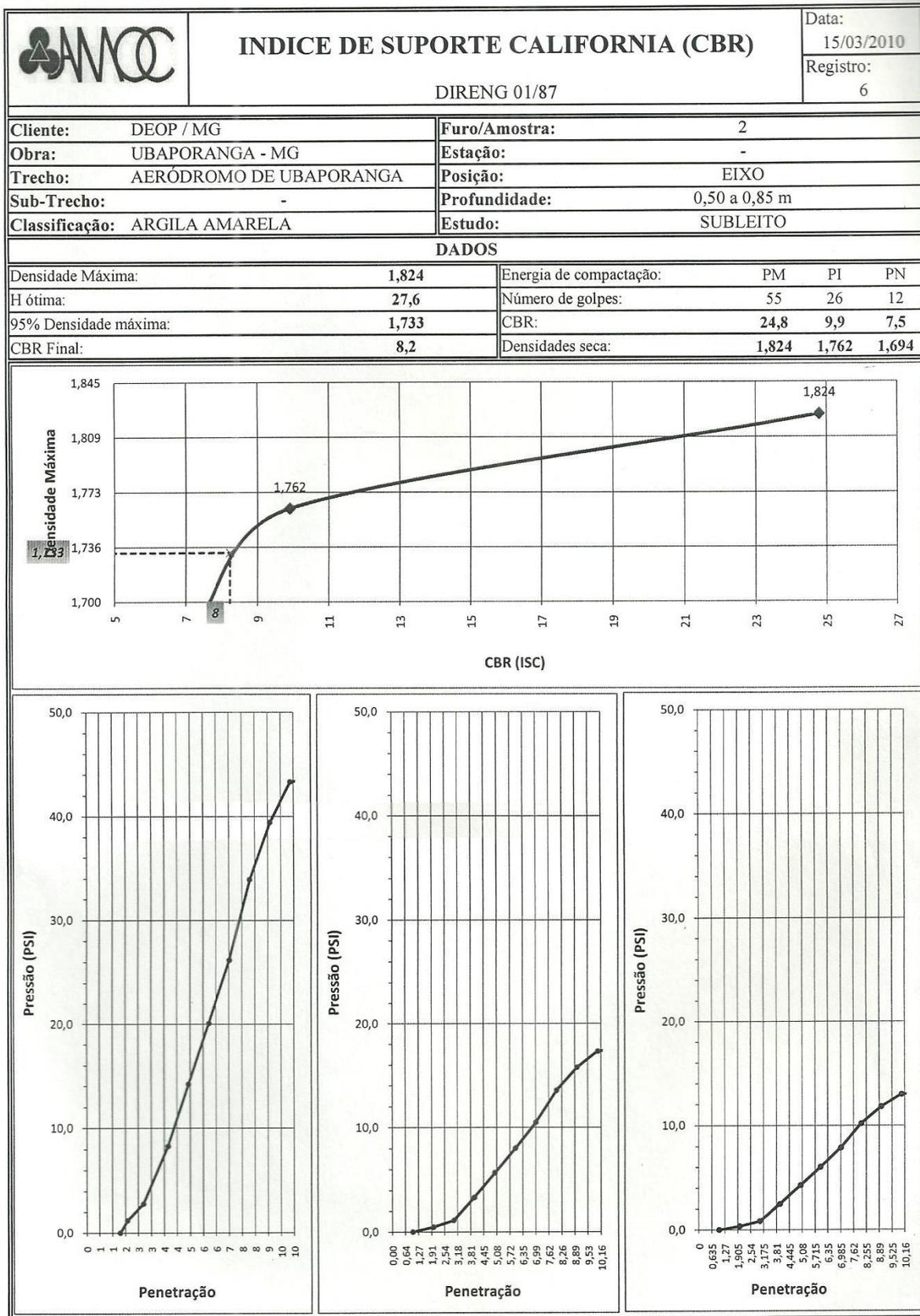
Execução:	Visto:	Aprovação:
_____	_____	_____

		Título: ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NBR - 7182/86				Registro: 40		
Rodovia:		Trecho: AEROPORTO CARATINGA/MG		Sub-trecho: PISTA DE POUSO E DECOLAGENS		Data: 15/03/2010		
Estudo: ARGILA AMARELA		Estaca:						
Furo: 17		Profundidade:		Próctor: MODIFICADO		Golpes: 55		
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE (h)								
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					UMID. HIGROSCÓPICA	
1	CÁPSULA N°						26	42
2	CÁPSULA+SOLO ÚMIDO (g)						89,24	99,47
3	CÁPSULA +SOLO SECO (g)						77,40	86,73
4	PESO DA CÁPSULA (g)						4,54	7,20
5	PESO DA ÁGUA (g)						11,84	12,74
6	PESO DO SOLO SECO (g)						72,86	79,53
7	TEOR DE UMIDADE (h) (%)						16,25	16,02
8	UMIDADE MÉDIA (h) (%)						16,1	
DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (γh)								
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					FATOR DE CORREÇÃO	
1	MOLDE (N)	38	39	40	41	42	0,861066862	
2	ÁGUA ADICIONADA (g)	300	400	500	600	700	SOLO ÚMIDO	SOLO SECO
3	MOLDE+SOLO+ÁGUA (g)	8.689	6.716	8.872	9.099	9.049	5.000	4.305
4	M - MOLDE (g)	4.258	2.085	4.109	4.255	4.201	MOLDES	
5	SOLO + ÁGUA (g)	4.431	4.631	4.763	4.844	4.848	N°	PESO
6	DENS. S. ÚMIDO (γh) (g/cm³)	2,139	2,236	2,298	2,332	2,333	38	4.258
DETERMINAÇÃO DA MASSA ESP. APAR. SECA (γs)								
UMIDADE CALCULADA (%)		23,1	25,4	27,7	30,1	32,4	40	4.109
M. ESP. APAR. SECA (g/cm³)		1,738	1,783	1,799	1,793	1,762	41	4.255
							42	4.201
								2.073
								2.077
								2.076
Curva de Compactação								
D. Máx. = 1,799 g/cm³				H. ot. 28,5 %				
								
Execução:		Visto:			Aprovação:			

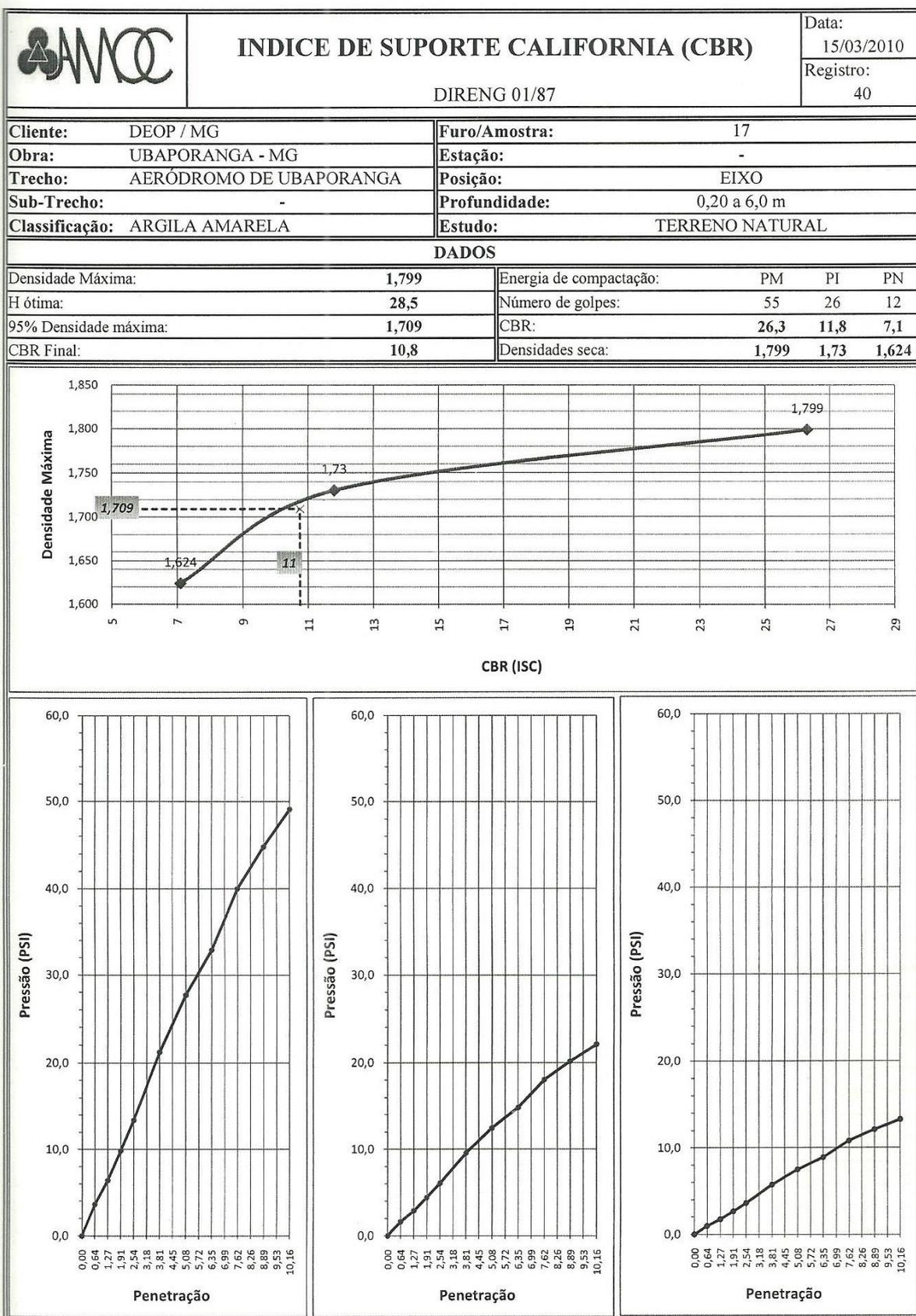
		Título: ENSAIO DE COMPACTAÇÃO NBR - 7182/86				Registro: 41		
Rodovia:		Trecho: AEROPORTO CARATINGA/MG			Sub-Trecho: PISTA DE POUSO E DECOLAGENS			
Estudo:		ARGILA AMARELA			Estaca:			
Furo: 18		Profundidade:		Próctor: MODIFICADO		Golpes: 55		
DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE (h)								
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					UMID. HIGROSCÓPICA	
1	CÁPSULA N°						16	34
2	CÁPSULA+SOLO ÚMIDO (g)						98,25	87,25
3	CÁPSULA +SOLO SECO (g)						85,74	76,36
4	PESO DA CÁPSULA (g)						7,51	9,18
5	PESO DA ÁGUA (g)						12,51	10,89
6	PESO DO SOLO SECO (g)						78,23	67,18
7	TEOR DE UMIDADE (h) (%)						15,99	16,21
8	UMIDADE MÉDIA (h) (%)						16,1	
DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (γh)								
DESCRIÇÃO		RESULTADOS					FATOR DE CORREÇÃO	
1	MOLDE (N)	38	39	40	41	42	0,861326443	
2	ÁGUA ADICIONADA (g)	300	400	500	600	700	SOLO ÚMIDO	SOLO SECO
3	MOLDE+SOLO+ÁGUA (g)	8.710	6.735	8.890	9.104	9.066	5.000	4.307
4	M - MOLDE (g)	4.258	2.085	4.109	4.255	4.201	MOLDES	
5	SOLO + ÁGUA (g)	4.452	4.650	4.781	4.849	4.865	N°	PESO
6	DENS. S. ÚMIDO (γh) (g/cm³)	2,150	2,245	2,306	2,335	2,341	38	4.258
							39	2.085
							40	4.109
							41	4.255
							42	4.201
								2.071
								2.071
DETERMINAÇÃO DA MASSA ESP. APAR. SECA (γs)								
UMIDADE CALCULADA (%)		23,1	25,4	27,7	30,0	32,4	40	4.109
M. ESP. APAR. SECA (g/cm³)		1,747	1,791	1,806	1,796	1,769	41	4.255
							42	4.201
								2.078
Curva de Compactação								
D. Máx. = 1,806 g/cm³				H. ot. 28,0 %				
								
Execução:			Visto:			Aprovação:		
_____			_____			_____		

**ANEXO G - RELATÓRIOS DOS ENSAIOS DE CBR REFERENTES AO SOLO DO
AEROPORTO DE CARATINGA.**

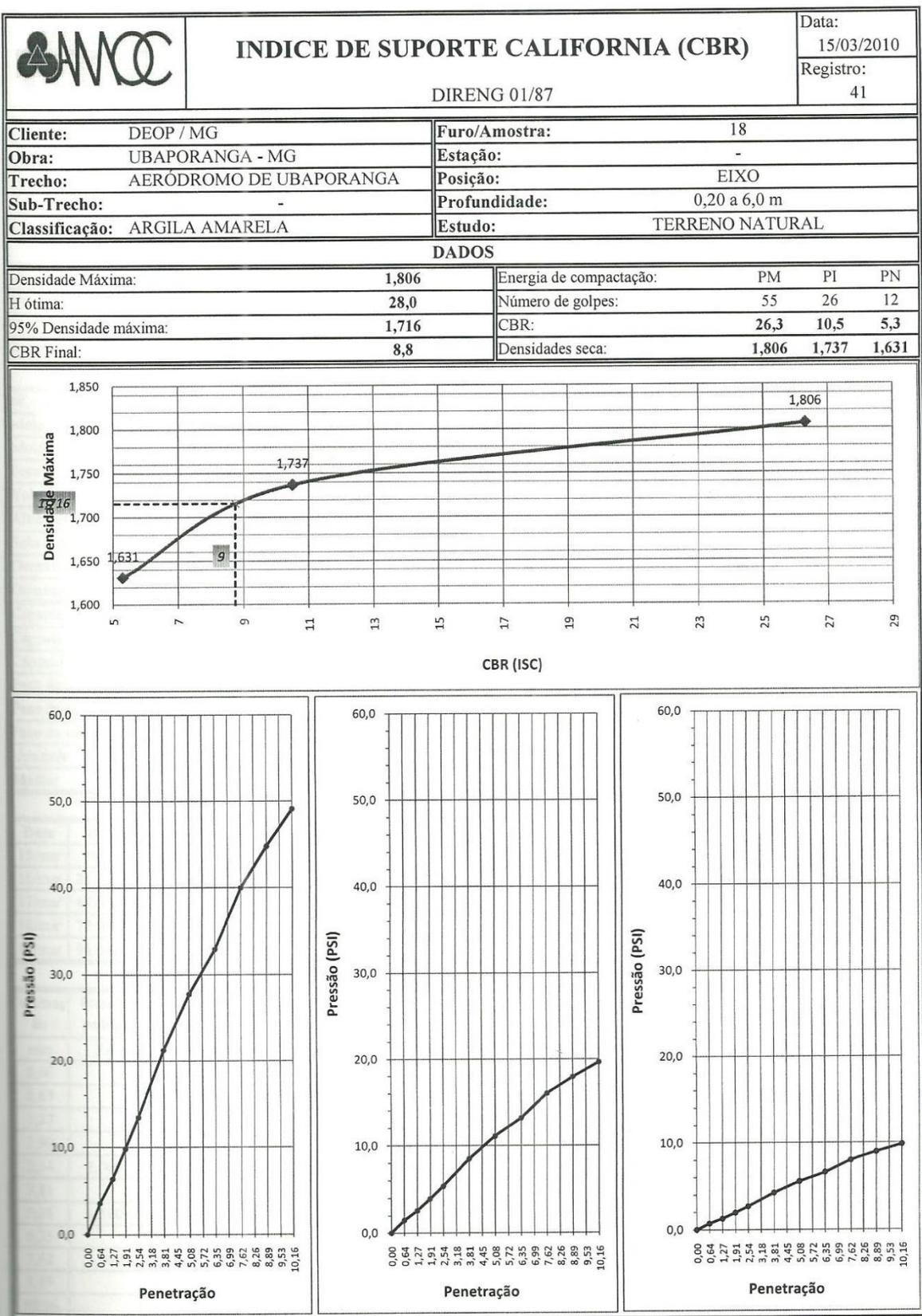
		INDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (CBR)								Data: 15/03/2010				
		DIRENG 01/87								Registro: 6				
Ciente:	DEOP / MG				Furo/Amostra:	2								
Obra:	UBAPORANGA - MG				Estação:	-								
Trecho:	AERÓDROMO DE UBAPORANGA				Posição:	EIXO								
Sub-Trecho:	-				Profundidade:	0,50 a 0,85 m								
Classificação:	ARGILA AMARELA				Estudo:	SUBLEITO								
DADOS														
Massa específica aparente seca (g/cm³):				1,824				Peso da amostra úmida (g):				5,000		
Umidade ótima (h ot):				27,6				Peso da amostra seca (g):				4,909		
Umidade idroscópica (%):				1,86				Número do anel:				234		
Água acrescentada (ml):				1264				Constante do anel:				0,106		
MOLDAGEM														
Nº de golpes / Energia:		55 / PM				28 / PI				12 / PN				
Molde nº:		25				26				27				
Molde + Solo + Água:		9082				8798				8821				
Peso do molde:		4258				4116				4313				
Volume do molde:		2073				2077				2090				
Altura do molde:		11,4				11,4				11,4				
Solo + água:		4824				4682				4508				
Densidade úmida (g/cm³):		2,327				2,254				2,157				
Densidade seca (g/cm³):		1,824				1,762				1,694				
Cápsula nº:		33		34		35		36		37		38		
Cápsula + Solo + Água:		95,2		92,5		100,0		96,2		87,0		95,3		
Cápsula + Solo:		76,5		74,5		80,4		76,9		70,1		77,0		
Peso da cápsula:		8,8		9,18		8,99		8,97		9		8,95		
Peso da água:		18,7		18,0		19,6		19,3		16,9		18,3		
Peso do solo:		67,7		65,3		71,4		67,9		61,1		68,0		
Umidade:		27,6		27,6		27,4		28,4		27,7		27,0		
Média:		27,6				27,9				27,4				
EXPANSÃO														
Data	Hora	Dias	Molde: 25			Molde: 26			Molde: 27					
15/mar	00:00	Dec.	Leitura	Difer.	%	Leitura	Difer.	%	Leitura	Difer.	%			
16/mar	24:00:00	1	2,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00			
17/mar	48:00:00	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18/mar	72:00:00	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
19/mar	96:00:00	4	2,25	0,25	0,22	2,40	0,40	0,35	2,56	0,56	0,49			
PENETRAÇÃO														
Penetraç ão	Pressão padrão	Tempo	Molde: 25			Molde: 26			Molde: 27					
			Leitura do anel	Pressão		CBR	Leitura do anel	Pressão		CBR	Leitura do anel	Pressão		CBR
mm	Psi	min.		Calculada	Corrigida	%		Calculada	Corrigida	%		Calculada	Corrigida	%
0,00		0,0	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-
0,63		0,5	11	1,2	-	-	5	0,5	-	-	3	0,4	-	-
1,27		1,0	26	2,8	-	-	11	1,1	-	-	8	0,8	-	-
1,90		1,5	78	8,3	-	-	31	3,3	-	-	23	2,5	-	-
2,54	1,000	2,0	134	14,2	14,2	20,2	54	5,7	5,7	8,1	40	4,3	4,3	6,1
3,81		3,0	190	20,1	-	-	76	8,0	-	-	57	6,0	-	-
5,08	1,500	4,0	247	26,2	26,2	24,8	99	10,5	10,5	9,9	74	7,9	7,9	7,5
6,35		5,0	320	33,9	-	-	128	13,6	-	-	96	10,2	-	-
7,62	1,900	6,0	372	39,4	-	-	149	15,8	-	-	112	11,8	-	-
8,89		7,0	408	43,3	-	-	163	17,3	-	-	123	13,0	-	-
10,16		8,0	411	43,6	-	-	165	17,4	-	-	123	13,1	-	-



	INDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (CBR)		Data:											
			15/03/2010											
			Registro:											
			40											
			DIRENG 01/87											
Cliente:	DEOP / MG	Furo/Amostra:	17											
Obra:	UBAPORANGA - MG	Estação:	-											
Trecho:	AERÓDROMO DE UBAPORANGA	Posição:	EIXO											
Sub-Trecho:	-	Profundidade:	0,20 a 6,0 m											
Classificação:	ARGILA AMARELA	Estudo:	TERRENO NATURAL											
DADOS														
Massa específica aparente seca (g/cm³):	1,799	Peso da amostra úmida (g):	5,000											
Umidade ótima (h ot):	28,5	Peso da amostra seca (g):	4,630											
Umidade idroscópica (%):	7,98	Número do anel:	234											
Água acrescentada (ml):	950	Constante do anel:	0,106											
MOLDAGEM														
Nº de golpes / Energia:	55 / PM		28 / PI		12 / PN									
Molde nº:	38		39		40									
Molde + Solo + Água:	9046		8701		8427									
Peso do molde:	4258		4085		4109									
Volume do molde:	2071		2071		2073									
Altura do molde:	11,4		11,4		11,4									
Solo + água:	4788		4616		4318									
Densidade úmida (g/cm³):	2,312		2,229		2,083									
Densidade seca (g/cm³):	1,799		1,73		1,624									
Cápsula nº:	26	27	28	29	30 31									
Cápsula + Solo + Água:	89,7	93,5	94,2	90,6	87,9 96,3									
Cápsula + Solo:	71,0	73,9	74,6	70,9	70,4 77,1									
Peso da cápsula:	4,54	6,13	4,76	4,53	8,99 9,08									
Peso da água:	18,7	19,5	19,5	19,7	17,4 19,2									
Peso do solo:	66,4	67,8	69,9	66,4	61,5 68,0									
Umidade:	28,2	28,8	28,0	29,7	28,3 28,1									
Média:	28,5		28,8		28,2									
EXPANSÃO														
Data	Hora	Dias	Molde:	38			Molde:	39			Molde:	40		
15/mar	00:00	Dec.	Leitura	Difer.	%		Leitura	Difer.	%		Leitura	Difer.	%	
16/mar	24:00:00	1	2,00	0,00	0,00		2,00	0,00	0,00		2,00	0,00	0,00	
17/mar	48:00:00	2	-	-	-		-	-	-		-	-	-	
18/mar	72:00:00	3	-	-	-		-	-	-		-	-	-	
19/mar	96:00:00	4	2,10	0,10	0,09		2,19	0,19	0,16		2,49	0,49	0,43	
PENETRAÇÃO														
Penetraçã	Pressão padrão	Tempo	Molde:	38			Molde:	39			Molde:	40		
mm	Psi	min.	Leitura do anel	Pressão		CBR	Leitura do anel	Pressão		CBR	Leitura do anel	Pressão		CBR
				Calculada	Corrigida	%		Calculada	Corrigida	%		Calculada	Corrigida	%
0,00		0,0	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-
0,63		0,5	34	3,6	-	-	15	1,6	-	-	9	1,0	-	-
1,27		1,0	60	6,4	-	-	27	2,9	-	-	16	1,7	-	-
1,90		1,5	92	9,8	-	-	42	4,4	-	-	25	2,6	-	-
2,54	1,000	2,0	126	13,4	13,4	19,1	57	6,0	6,0	8,6	34	3,6	3,6	5,1
3,81		3,0	200	21,2	-	-	90	9,5	-	-	54	5,7	-	-
5,08	1,500	4,0	261	27,7	27,7	26,3	118	12,5	12,5	11,8	71	7,5	7,5	7,1
6,35		5,0	310	32,9	-	-	140	14,8	-	-	84	8,9	-	-
7,62	1,900	6,0	377	40,0	-	-	170	18,0	-	-	102	10,8	-	-
8,89		7,0	423	44,8	-	-	190	20,2	-	-	114	12,1	-	-
10,16		8,0	463	49,1	-	-	208	22,1	-	-	125	13,3	-	-



	INDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (CBR)		Data:											
			15/03/2010											
			Registro:											
			41											
DIRENG 01/87														
Cliente:	DEOP / MG		Furo/Amostra:	18										
Obra:	UBAPORANGA - MG		Estação:	-										
Trecho:	AERÓDROMO DE UBAPORANGA		Posição:	EIXO										
Sub-Trecho:	-		Profundidade:	0,20 a 6,0 m										
Classificação:	ARGILA AMARELA		Estudo:	TERRENO NATURAL										
DADOS														
Massa específica aparente seca (g/cm³):	1,806		Peso da amostra úmida (g):	5,000										
Umidade ótima (h ot):	28,0		Peso da amostra seca (g):	4,718										
Umidade idroscópica (%):	5,97		Número do anel:	234										
Água acrescentada (ml):	1039		Constante do anel:	0,106										
MOLDAGEM														
Nº de golpes / Energia:	55 / PM		28 / PI		12 / PN									
Molde nº:	41		42		43									
Molde + Solo + Água:	9057		8833		8677									
Peso do molde:	4255		4201		4357									
Volume do molde:	2077		2078		2073									
Altura do molde:	11,4		11,4		11,4									
Solo + água:	4802		4632		4320									
Densidade úmida (g/cm³):	2,312		2,229		2,084									
Densidade seca (g/cm³):	1,806		1,737		1,631									
Cápsula nº:	16	17	18	19	20 21									
Cápsula + Solo + Água:	98,1	89,9	103,0	99,1	84,5 92,6									
Cápsula + Solo:	78,3	71,8	81,7	78,0	67,4 74,2									
Peso da cápsula:	7,51	7,24	5,1	4,59	6,77 7									
Peso da água:	19,8	18,1	21,3	21,2	17,1 18,4									
Peso do solo:	70,8	64,6	76,6	73,4	60,6 67,2									
Umidade:	28,0	28,0	27,8	28,8	28,1 27,4									
Média:	28,0		28,3		27,8									
EXPANSÃO														
Data	Hora	Dias	Molde: 41			Molde: 42			Molde: 43					
15/mar	00:00	Dec.	Leitura	Difer.	%	Leitura	Difer.	%	Leitura	Difer.	%			
16/mar	24:00:00	1	2,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00			
17/mar	48:00:00	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18/mar	72:00:00	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
19/mar	96:00:00	4	2,13	0,13	0,11	2,20	0,20	0,18	2,57	0,57	0,50			
PENETRAÇÃO														
Penetraçã	Pressão padrão	Tempo	Molde: 41				Molde: 42				Molde: 43			
mm	Psi	min.	Leitura do anel	Pressão		CBR	Leitura do anel	Pressão		CBR	Leitura do anel	Pressão		CBR
				Calculada	Corrigida	%		Calculada	Corrigida	%		Calculada	Corrigida	%
0,00		0,0	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-
0,63		0,5	34	3,6	-	-	14	1,4	-	-	7	0,7	-	-
1,27		1,0	60	6,4	-	-	24	2,6	-	-	12	1,3	-	-
1,90		1,5	92	9,8	-	-	37	3,9	-	-	18	2,0	-	-
2,54	1,000	2,0	126	13,4	13,4	19,1	51	5,4	5,4	7,6	25	2,7	2,7	3,8
3,81		3,0	200	21,2	-	-	80	8,5	-	-	40	4,2	-	-
5,08	1,500	4,0	261	27,7	27,7	26,3	105	11,1	11,1	10,5	52	5,5	5,5	5,3
6,35		5,0	310	32,9	-	-	124	13,2	-	-	62	6,6	-	-
7,62	1,900	6,0	377	40,0	-	-	151	16,0	-	-	75	8,0	-	-
8,89		7,0	423	44,8	-	-	169	17,9	-	-	85	9,0	-	-
10,16		8,0	463	49,1	-	-	185	19,6	-	-	93	9,8	-	-



APÊNDICE A - INDICAÇÃO DA ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO NO ÁBACO PARA EIXO SIMPLES.

