

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Desenvolvimento de equipamento *ring shear* para avaliação do comportamento de solos a grandes deformações

Viviane Rocha dos Santos

Porto Alegre
2012

Viviane Rocha dos Santos

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO *RING SHEAR*
PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE SOLOS A
GRANDES DEFORMAÇÕES**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE
EM ENGENHARIA

Porto Alegre

2012

VIVIANE ROCHA DOS SANTOS

Desenvolvimento de equipamento *ring shear* para avaliação do comportamento de solos a grandes deformações

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Concentração em Geotecnia, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 29 de outubro de 2012.

Prof. Karla Salvagni Heineck
Dr. Sc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
orientadora

Prof. Nilo Cesar Consoli
PhD. pela Concordia University
co-orientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Antônio Bressani
PhD. pelo Imperial College, University of London

Prof. Michéle Dal Toé Casagrande
Dr. Sc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Rinaldo José Barbosa Pinheiro
Dr. Sc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Com todo o meu amor,
aos meus pais,
meus verdadeiros mestres.*

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Instituto Nacional da Ciência e Tecnologia (INCT), e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela concessão da bolsa de Mestrado e auxílio financeiro, o que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos meus estimados professores orientadores Karla Salvagni Heineck e Nilo Cesar Consoli, pela orientação, empenho, apoio, estímulo, interesse, e tempo dedicado no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e amigos, Francisco Dalla Rosa e Juan Carlos Sandoval Ortiz, pela colaboração, paciência, orientação e sugestões no desenvolvimento e montagem do equipamento.

Aos demais professores da área de Geotecnia do PPGEC, obrigada pelos ensinamentos transmitidos ao longo mestrado. Em especial aos professores Fernando Schnaid, Luiz Antônio Bressani e Washington Núñez.

Aos meus professores de graduação, Antonio Thomé, Marcelo Hemkemeier e Paulo Roberto Koetz, por me apresentarem o caminho da pesquisa, pelo aprendizado, apoio e incentivo no meio acadêmico, o que contribuiu a me tornar hoje uma pesquisadora.

Aos meus colegas e amigos do PPGEC, pela convivência, pelos estudos em grupo, pelo apoio, pelas discussões, pelas risadas, pelas experiências divididas, e encontros no bar da Arquitetura. Algumas pessoas, certamente, levarei para toda minha vida. Ao Diego Scholaud Treichel, André Bock, Daniel Wolter Martell e, em especial às minhas grandes amigas Renata Lima Moretto, Emanuele Amanda Gauer e Rita Standerski, obrigada por tudo!

Aos amigos e colegas do LEGG e LAGEOtec, pela força, ajuda, e sugestões. Em especial ao laboratorista do LAGEOtec, Jair Floriano da Silva, pelas dicas de prática laboratorial e grande ajuda na montagem do equipamento.

Aos funcionários do PPGEC, em especial à Ana Luiza Azevedo Felix de Oliveira e à Liliani Gaeversen, pelo apoio e amizade.

As minhas irmãs de coração, Bruna Boaria Zanandrea, Fernanda Rachel de Felippo e Sidiane Weschenfelder, que apesar da distância, de alguma forma ou outra sempre estiveram presentes no rumo dessa conquista.

Ao meu namorado Jaison, obrigada pelo apoio de todo dia, pela força, pela paciência, e por nunca deixar que eu desanimasse ou desistisse. Obrigada pelo amor, carinho, dedicação, amizade, cumplicidade e respeito. E, sobretudo, por fazer parte da minha vida e me tornar cada dia mais feliz.

À minha irmã Gabriela, pelo amor, carinho, amizade, parceria e incentivo. Obrigada por estar sempre ao meu lado, torcendo por mim. Essa conquista também é para ti.

Agradeço, acima de tudo, aos meus amados pais, Dirceu e Maria. Eles são a minha base, meu exemplo de vida. Obrigada por sempre acreditarem na minha capacidade e apoiarem minhas escolhas. Obrigada pelo amor incondicional, pelos princípios transmitidos, pela educação proporcionada, pelo incentivo, pela paciência, pela preocupação, por fazerem parte dessa trajetória. Sem vocês, certamente, nada disso teria acontecido. Amo vocês!

A todas as pessoas que de alguma forma acreditaram em mim e contribuíram no desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço a Deus pela vida, pela força e persistência, por tudo que me tornou ser a pessoa de hoje.

RESUMO

SANTOS, V.R. Desenvolvimento de equipamento *ring shear* para avaliação do comportamento de solos a grandes deformações. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

Os movimentos de massa de solo, geralmente, estão relacionados com a mobilização da resistência de uma ou várias superfícies de ruptura pré-existentes. Dessa maneira, o conhecimento da propriedade que rege esse comportamento (resistência ao cisalhamento residual) é de extrema importância no estudo da estabilidade de solos. Segundo Skempton (1985), resistência ao cisalhamento residual é a resistência mínima constante que o solo pode atingir, a baixas taxas de cisalhamento, após sofrer grandes deslocamentos. A determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento residual pode ser realizada através de ensaios de cisalhamento por torção do tipo *ring shear*, adequado para estudar os mecanismos atuantes na ruptura, uma vez que permite a continuidade dos deslocamentos no solo. Nesse contexto, a pesquisa teve por objetivo desenvolver um equipamento de cisalhamento torsional baseado no *ring shear* descrito por Bishop *et al.* (1971) para avaliar o comportamento do solo a grandes deformações. O equipamento projetado foi validado, preliminarmente, segundo os resultados já publicados na literatura.

Palavras-chave: *resistência ao cisalhamento; resistência ao cisalhamento residual; ângulo de atrito residual; ensaios de resistência torsional; ring shear.*

ASBTRACT

SANTOS, V.R. Desenvolvimento de equipamento *ring shear* para avaliação do comportamento de solos a grandes deformações. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

Landslides, generally, are related with the mobilization of shear strength of one or more pre-existing rupture surfaces. Thus, knowledge of the property that governs this behavior (residual shear strength) has extreme importance in the stability soils study. According to Skempton (1985), residual shear strength is the minimum constant strength attained at low shear rates, at large displacements. The residual shear strength parameters can be accomplished through ring shear tests, suitable for studying the mechanisms in the rupture, since it provides continuity of displacements in the soil. In this context, the research aimed to develop a device based on ring shear described by Bishop et al. (1971) to evaluate the soil behavior in large deformations. The equipment designed was validated, preliminarily, according to the results already published in the literature.

Key-words: *shear strength; residual shear strength; residual friction angle; torsion tests; ring shear.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	15
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	19
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	19
1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
2.2 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO RESIDUAL.....	21
2.2.1 <i>Envoltória de resistência ao cisalhamento residual</i>	21
2.2.2 <i>Mecanismos de comportamento de resistência ao cisalhamento residual</i>	25
2.2.3 <i>Fatores que influenciam a resistência ao cisalhamento residual</i>	28
2.2.3.1 Composição mineralógica e composição química do solo	29
2.2.3.2 Fração argilosa (FA) e índice de plasticidade (IP)	35
2.2.3.3 Grau de intemperismo	42
2.2.3.4 Preparação da amostra e procedimento de ensaio	43
2.2.3.5 História de tensões, nível de tensão e deslocamento	45
2.2.3.6 Velocidade de cisalhamento	48
2.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO RESIDUAL.....	52
2.3.1 <i>Retro-análise</i>	52
2.3.2 <i>Correlações entre Φ'_r e as propriedades índice do solo</i>	52
2.3.3 <i>Ensaio de laboratório</i>	59
2.3.3.1 Ensaio de cisalhamento direto especiais	59

	<i>Ensaio de cisalhamento direto com reversões múltiplas</i>	61
	<i>Ensaio de cisalhamento direto com plano de cisalhamento pré-cortado</i>	62
	<i>Ensaio de cisalhamento direto com amostras de pequena altura</i>	62
	<i>Ensaio de cisalhamento direto com interface lisa</i>	63
2.3.3.2	Ensaio triaxiais	65
2.3.3.3	Ensaio de cisalhamento por torção (<i>ring shear</i>)	66
	<i>Equipamentos do tipo ring shear</i>	68
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
3	METODOLOGIA	82
3.1	DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO <i>RING SHEAR</i>	82
3.1.1	<i>Considerações iniciais</i>	82
3.1.2	<i>Princípio de funcionamento</i>	82
3.1.3	<i>Projeto</i>	85
3.1.3.1	Amostra e montagem da célula	85
3.1.3.2	Sistema de carregamento vertical	88
3.1.3.3	Mecanismo de controle da abertura dos anéis de confinamento	89
3.1.3.4	Sistema de medição do torque	90
3.1.4	<i>Sistema de aquisição de dados</i>	91
3.1.5	<i>Software de automação e aquisição de dados</i>	92
3.1.6	<i>Sistema elétrico e calibração da velocidade de cisalhamento</i>	95
3.1.7	<i>Calibração e análise de estabilidade dos sensores</i>	96
3.1.8	<i>Validação do equipamento</i>	97
3.2	PROGRAMA EXPERIMENTAL	97
3.2.1	<i>Materiais utilizados</i>	97
3.2.1.1	Areia	97
3.2.1.2	Água	100
3.2.2	<i>Método de ensaio ring shear</i>	100
3.2.2.1	Preparação das amostras	100
3.2.2.2	Moldagem	100
3.2.2.3	Procedimento de ensaio	101
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	103
4.1	PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO	103
4.2	PROBLEMAS ENCONTRADOS NO EQUIPAMENTO	107

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
5.1	CONCLUSÕES.....	109
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	110
5.2.1	<i>Quanto ao equipamento</i>	<i>110</i>
5.2.2	<i>Quanto aos ensaios ring shear</i>	<i>110</i>
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
	APÊNDICE	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas típicas residuais.....	24
Figura 2. Modos de comportamento cisalhante residual	27
Figura 3. Curvas tensão-deslocamento a uma tensão normal efetiva constante.....	28
Figura 4. Correlação entre Φ'_r e FA de solos naturais e misturas.....	36
Figura 5. Correlação entre FA e Φ'_r	37
Figura 6. Relação entre o índice de plasticidade e a resistência ao cisalhamento residual	38
Figura 7. Correlação entre Φ'_r e índice de plasticidade	39
Figura 8. Correlação entre Φ'_r e IP	40
Figura 9. Variação do ângulo de atrito interno residual com o IP.....	41
Figura 10. Taxa de tensão residual por tensão normal para ensaios <i>ring shear</i> multiestágio e estágio único.....	44
Figura 11. Variação da resistência ao cisalhamento residual com o nível de tensões.....	46
Figura 12. Influência da velocidade de cisalhamento na resistência ao cisalhamento residual.	49
Figura 13. Ângulo de atrito interno residual <i>versus</i> IP.....	54
Figura 14. Comparação das correlações entre Φ'_r e IP	55
Figura 15. Correlação entre Φ'_r e FA.....	56
Figura 16. Relação Φ'_r versus CALIP para ensaios de cisalhamento direto	57
Figura 17. Relação Φ'_r versus CALIP para ensaios <i>ring shear</i>	57
Figura 18. Variação do Φ'_r em função da mineralogia do solo.....	58
Figura 19. Equipamento de cisalhamento direto	60
Figura 20. Esquema geral do ensaio de cisalhamento direto.....	60
Figura 21. Montagem do ensaio de cisalhamento direto (A) convencional e (B) interface lisa	64
Figura 22. Esquema da câmara de ensaio triaxial	65

Figura 23. Amostra de ensaio <i>ring shear</i>	67
Figura 24. Detalhamento da célula da amostra do equipamento <i>ring shear</i>	70
Figura 25. Visão geral do equipamento <i>ring shear</i> de Bishop <i>et al.</i> (1971).	71
Figura 26. Visão esquemática do equipamento <i>ring shear</i>	71
Figura 27. Seção longitudinal do equipamento <i>ring shear</i> mostrando o dispositivo de carregamento e o braço de torque.....	72
Figura 28. Seção transversal mostrando o dispositivo de controle de abertura dos anéis de confinamento.	72
Figura 29. Visão geral do equipamento <i>ring shear</i> de Bromhead, 1979.....	73
Figura 30. Aspecto geral da célula da amostra do <i>ring shear</i> de Bromhead, 1979.....	74
Figura 31. Detalhamento do equipamento <i>ring shear</i> de Bromhead, 1979.....	75
Figura 32. Célula da amostra do equipamento <i>ring shear</i> de Bromhead (1979), (a) célula original e (b) célula modificada.....	76
Figura 33. Equipamento desenvolvido na Universidade de Illinois.....	79
Figura 34. Equipamento desenvolvido na Universidade do Estado de Iowa	80
Figura 35. Aspecto geral do equipamento desenvolvido.....	83
Figura 36. Esquema geral do equipamento desenvolvido.	84
Figura 37. Esquema geral do equipamento desenvolvido, vista em perspectiva.	84
Figura 38. Esquema geral do equipamento desenvolvido, vista em corte.....	85
Figura 39. Célula da amostra do equipamento <i>ring shear</i> , (a) aspecto geral da célula; (b) pedra porosa.	87
Figura 40. Elementos da célula da amostra do equipamento <i>ring shear</i>	87
Figura 41. Visão geral do sistema de carregamento vertical do equipamento <i>ring shear</i>	88
Figura 42. Sistema de carregamento vertical do equipamento <i>ring shear</i>	89
Figura 43. Mecanismo de controle de abertura dos anéis de confinamento.....	90
Figura 44. Pino e apoio deslizante da célula de carga.	91
Figura 45. Etapa de inserção de dados básicos do ensaio.	93

Figura 46. Etapa de pré-cisalhamento da amostra, inserção de dados.	93
Figura 47. Etapa de cisalhamento da amostra.	94
Figura 48. Etapa de cisalhamento da amostra.	94
Figura 49. Aspecto geral do sistema elétrico do equipamento desenvolvido.....	96
Figura 50. Localização da jazida de areia.....	98
Figura 51. Curva granulométrica da areia de Osório, obtida por difração a <i>laser</i>	99
Figura 52. Microscopia eletrônica de varredura, imagem da areia de Osório ampliada em (a) 40 vezes e (b) 500 vezes.....	100
Figura 53. Detalhe da moldagem da amostra de solo no equipamento <i>ring shear</i>	101
Figura 54. Curva tensão cisalhante <i>versus</i> deformação cisalhante.....	104
Figura 55. Curva tensão cisalhante <i>versus</i> deslocamento horizontal	104
Figura 56. Curva tensão cisalhante <i>versus</i> tensão normal efetiva.	105
Figura 57. Envoltória de resistência ao cisalhamento residual.....	105
Figura 58. Aspecto da célula da amostra durante a etapa de cisalhamento.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação do tamanho da amostra entre o equipamento de <i>ring shear</i> descrito por Bishop <i>et al.</i> (1971) e suas variações	86
Tabela 2: Sensores acoplados ao sistema de aquisição de dados e suas respectivas resoluções de leitura.	91
Tabela 3: Propriedades físicas da areia de Osório	99

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A: Índice de atividade

A/D: Analógico/Digital

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM: *American Society for Testing Materials*

BSI: *British Standards Institution*

CALIP: Parâmetro utilizado por Collota *et al.* (1989)

CF: *Clay fraction* (fração de argila)

CTC: Capacidade de troca catiônica

C_u : Coeficiente de uniformidade

C_c : Coeficiente de curvatura

Ca^{++} : Cálcio divalente

$CaCl_2$: Cloreto de cálcio

D/A: Digital/Analógico

Dp: Diâmetro primitivo

D_{10} : Diâmetro efetivo dos grãos

D_{50} : Diâmetro médio dos grãos

e : Índice de vazios

FA : Fração de argila

G_s : Densidade relativa dos grãos

IP : Índice de plasticidade

K^+ : Potássio monovalente

KCl : Cloreto de potássio

LAGEOtec: Laboratório de Geotecnologia

LEGG: Laboratório de Ensaios Geotécnicos e Geoambientais

LL: Limite de liquidez

LP: Limite de plasticidade

NA: Normalmente adensada

Na^+ : Sódio monovalente

NaCl : Cloreto de sódio

NBR : Norma Brasileira Regulamentadora

M : Molar

M : Torque

PA : Pré-adensadas

RPM : Rotações por minuto

V_s : Volume de sólidos na amostra

W : Carga normal líquida

μ'_r : Coeficiente de atrito interno de resistência ao cisalhamento residual

c'_r : Intercepto coesivo residual

Φ'_{cv} : Ângulo de atrito interno efetivo de estado crítico

Φ'_p : Ângulo de atrito interno de pico

Φ'_{r} : Ângulo de atrito interno efetivo residual

$\Phi'_{B,r}$: Ângulo de atrito residual básico

$\Delta\Phi'_r$: Diferença de ângulo máximo

$p_{N,r}$: Ângulo médio de tensão normal

Δh : Deslocamento horizontal

Δv : Variação volumétrica

ϵ_v : Deformação volumétrica

m : Massa de grãos na amostra

w : Umidade ótima

ρ_w : Densidade da água

ω : Teor de umidade

γ : Deformação cisalhante

γ_d : Peso específico aparente seco

σ'_n : Tensão normal efetiva

σ_1 : Tensão confinante maior

σ_2 : Tensão confinante intermediária

σ_3 : Tensão confinante menor

τ_r : Resistência ao cisalhamento residual

1 INTRODUÇÃO

As movimentações de solos que ocorrem em muitas regiões, devido aos fatores naturais (intemperismo, precipitação intensa, terremotos, entre outros) ou antrópicos (escavações, desmatamento, mineração, por exemplo), estão intimamente relacionadas com a mobilização da resistência de uma ou várias superfícies de ruptura pré-existentes.

Dessa forma, o conhecimento das propriedades que regem esse comportamento é de extrema importância no estudo da estabilidade de solos. Nesse sentido, para solos que apresentam superfícies de rupturas pré-existentes, são aplicados os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual.

Segundo Skempton (1985), resistência ao cisalhamento residual é a resistência mínima constante que o solo pode atingir, a baixas taxas de cisalhamento, após a imposição de grandes deslocamentos.

A determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento residual em laboratório é normalmente realizada através de ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas ou por meio de ensaios de cisalhamento por torção do tipo *ring shear*. Sendo este último considerado o mais adequado para estudar os mecanismos atuantes na ruptura, pois permite a continuidade dos deslocamentos no solo.

Nesse contexto, sabendo que a resistência ao cisalhamento residual é fundamental no julgamento das propriedades de engenharia do solo, nas análises de estabilidade de taludes e na avaliação da estabilidade de deslizamentos antigos, a pesquisa teve por objetivo desenvolver um equipamento de cisalhamento torsional a fim de avaliar o comportamento de solos a grandes deformações.

Para tanto, foi projetado um equipamento baseado no *ring shear* descrito por Bishop *et al.* (1971), uma vez que este possui a vantagem de ensaiar amostras com dimensões maiores do que o equipamento convencional, tornando os resultados mais confiáveis e representativos do real comportamento dos materiais. O equipamento foi validado, preliminarmente, segundo resultados publicados na literatura.

É importante salientar que existem apenas dois equipamentos deste tipo no Brasil, um existente no Laboratório Central de Engenharia Civil em Ilha Solteira/SP da Companhia Energética de São Paulo (CESP), e outro no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Portanto, a pesquisa resultou em desenvolvimento de tecnologia aplicada a ensaios geotécnicos de laboratório, contribuindo para o desenvolvimento da área.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O trabalho teve por objetivo geral desenvolver, construir e validar um equipamento de cisalhamento torsional para avaliar o comportamento da resistência ao cisalhamento residual de solos submetidos a grandes deformações.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar uma revisão bibliográfica ampla sobre o tema;
- Projetar um equipamento de cisalhamento torsional baseado no equipamento *ring shear* descrito por Bishop *et al.* (1971); e
- Montar, instrumentar e validar o equipamento proposto.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está dividido em cinco capítulos. O Capítulo 2 compreende uma revisão bibliográfica sobre resistência ao cisalhamento residual, apresentando os fatores que influenciam nesta propriedade, os mecanismos de comportamento, envoltórias típicas, correlações entre o ângulo de atrito interno e propriedades índice do solo bem como, os tipos de ensaios para determinação da resistência residual.

O Capítulo 3 abrange a metodologia utilizada para a realização da pesquisa, expondo a descrição do equipamento proposto, seu princípio básico, projeto, sistema de aquisição de dados, instrumentação, calibração e validação. Além disso, compreende o programa

experimental aplicado, como os materiais utilizados, preparação das amostras e execução do ensaio.

O Capítulo 4 demonstra os resultados obtidos no processo de validação do equipamento, compreendendo análise e discussão dos mesmos. Além disso, são expostos os problemas encontrados no equipamento desenvolvido.

Por fim, o Capítulo 5 abrange as conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser definida pela máxima tensão de cisalhamento que um solo pode suportar sem sofrer ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que estiver ocorrendo a ruptura (PINTO, 2000).

Esta propriedade do solo pode ser dada por dois conjuntos de parâmetros, dependendo da situação que representa. No caso de solos que durante sua história geológica não sofreram rupturas, são usados os parâmetros de resistência ao cisalhamento de pico. Em contrapartida, para solos com superfícies de rupturas pré-existentes, são utilizados os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual, sendo esta comandada pelo ângulo de atrito interno residual (BIANCHINI, 2000).

2.2 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO RESIDUAL

Resistência ao cisalhamento residual (τ_r) é o valor mínimo constante de resistência que o solo atinge a baixas taxas de cisalhamento, após a imposição de grandes deslocamentos (SKEMPTON, 1985).

A envoltória é determinada pelo ângulo de atrito interno residual (Φ'_r), uma vez que a coesão efetiva residual (c'_r) é praticamente nula (VASCONCELOS, 1992). Estes parâmetros podem ser obtidos por correlações, ensaios de laboratório ou por retro-análises de rupturas ocorridas.

2.2.1 Envoltória de resistência ao cisalhamento residual

A envoltória de resistência ao cisalhamento residual é geralmente não linear, podendo ser aproximada ao intervalo de tensão normal efetiva (σ'_n) de interesse, por um ângulo de

atrito interno residual (Φ'_r) e uma coesão efetiva residual (c'_r). Assim, a não linearidade da envoltória pode ser expressa por $\tan(\Phi'_r) = (\tau_r/\sigma'_n)$ versus σ'_n (PINHEIRO *et al.*, 1998).

Skempton (1964) apud Rigo (2005) constatou que a relação entre a resistência ao cisalhamento residual e a σ'_n obedecia à lei de Coulomb-Terzaghi. Dessa maneira, a envoltória de resistência ao cisalhamento residual poderia ser expressa pela Equação 1. No entanto, os resultados dos ensaios demonstraram que o valor da c'_r era muito pequeno, próximo a zero. A partir disso, o autor considerou a envoltória de resistência ao cisalhamento residual como sendo uma reta passando pela origem dos eixos τ_r e σ'_n , representada pela Equação 2. De acordo com Skempton (1964), à medida que os deslocamentos aumentam após a ruptura da amostra, c'_r desaparece completamente, e o Φ'_r diminui.

$$\tau_r = c'_r + \sigma'_n * \tan\Phi'_r \quad (\text{Equação 1})$$

$$\tau_r = \sigma'_n * \tan\Phi'_r \quad (\text{Equação 2})$$

Bishop *et al.* (1971) verificaram que em algumas argilas o Φ'_r variava com a σ'_n , sendo que estas apresentaram envoltórias curvas de resistência ao cisalhamento residual. Em contrapartida, para outros tipos de argilas analisadas, o Φ'_r era constante com o nível de tensões, e a envoltória de resistência ao cisalhamento residual era uma linha reta. Assim, os autores propuseram que a envoltória fosse representada em termos de $\tan\Phi'_r = \tau_r/\sigma'_n$ versus σ'_n . Conforme os autores, através desta representação é possível expressar melhor a não linearidade da envoltória de resistência ao cisalhamento residual.

Townsend e Gilbert (1973) também observaram essa relação, sendo que para σ'_n superiores a 150 kPa, o Φ'_r é aproximadamente constante com a σ'_n aplicada. Já Skempton e Petley (1967) notaram que o Φ'_r torna-se constante para σ'_n maiores que 200 kPa. Além disso, Townsend e Gilbert (1973) verificaram que o Φ'_r independe da sequência de carregamento.

Lupini *et al.* (1981) apresentaram curvas de variação do coeficiente de atrito interno de resistência ao cisalhamento residual (μ'_r) com a tensão normal para diversos solos argilosos naturais. Com exceção de alguns solos que não apresentaram variação de μ'_r com a σ'_n , a

maioria mostrou uma redução de μ'_r com o aumento de σ'_n , a qual é mais pronunciada para baixos valores de σ'_n . As envoltórias de resistência ao cisalhamento residual convencionais, representadas em termos de c'_r e Φ'_r , foram muito bem aproximadas por linhas retas.

Skempton (1985) analisou que a maioria das argilas possui envoltória de resistência ao cisalhamento residual não linear, com Φ'_r variando com a σ'_n . Por esta razão, o autor sugeriu que a resistência ao cisalhamento residual para uma dada σ'_n fosse expressa pelo ângulo secante (Equação 3) e que a comparação entre diferentes argilas fosse feita com uma σ'_n fixa. Logo, o Φ'_r para tensão normal de referência poderia ser tomado como um parâmetro característico do solo.

$$\tan\Phi' = \tau_r/\sigma' \quad (\text{Equação 3})$$

Hawkins e Privett (1985), baseado no trabalho de Lupini *et al.* (1981) apresentaram as curvas típicas residuais, como mostrado na Figura 1, e introduziram os seguintes conceitos: (1) envoltória de resistência ao cisalhamento residual completa; e (2) menor resistência ao cisalhamento residual. O primeiro refere-se aos trechos linear e não linear da envoltória, enquanto o segundo refere-se somente ao trecho linear. A determinação da envoltória completa é fundamental no caso de escorregamentos pouco profundos em solos argilosos, para os quais uma pequena variação da σ'_n provoca uma grande variação de Φ'_r . No caso de escorregamentos profundos, o valor mínimo de Φ'_r é de maior interesse (ALMEIDA *et al.*, 1992; PINHEIRO *et al.*, 1998).

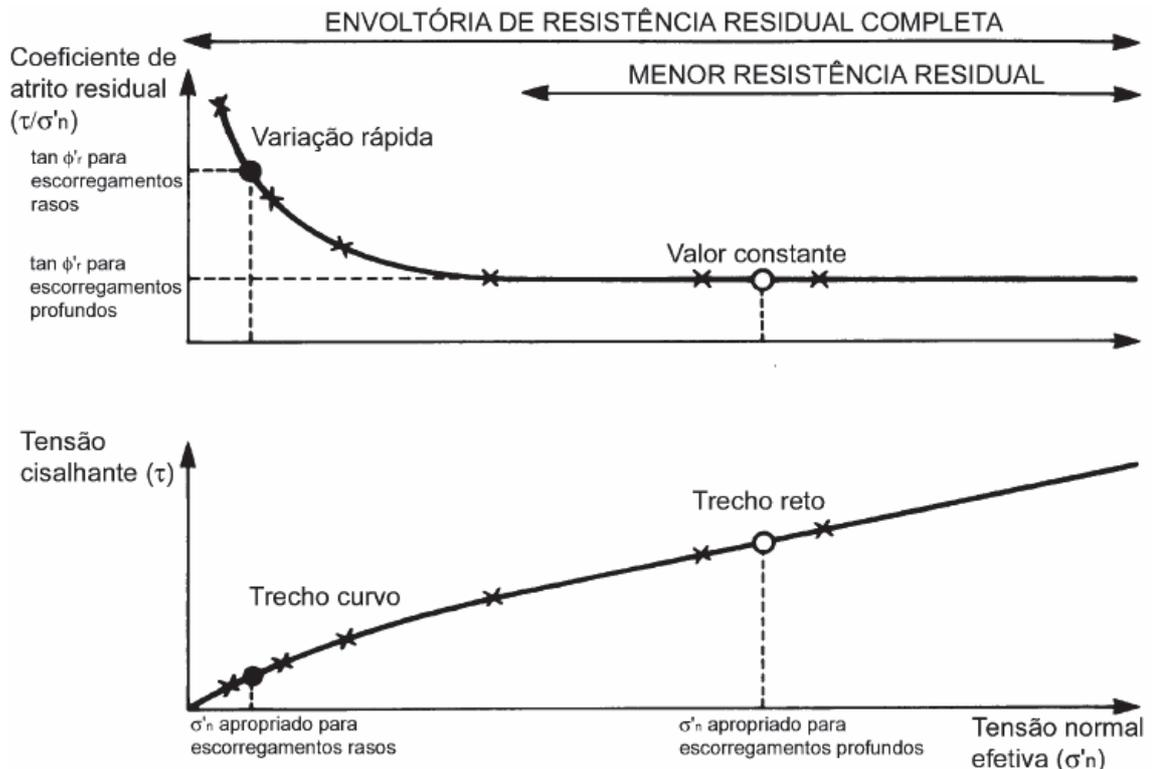


Figura 1. Curvas típicas residuais (HAWKINS e PRIVETT, 1985 apud ALMEIDA *et al.*, 1992).

De acordo com Maksimovic (1989) a curvatura da envoltória de resistência ao cisalhamento residual pode ser atribuída aos diferentes graus de orientação das partículas lamelares com o aumento do paralelismo no plano de ruptura, o qual é crescente à medida que a tensão normal aumenta no plano de ruptura. Segundo o autor, a não linearidade da envoltória de resistência ao cisalhamento residual, para a maioria dos tipos de solos, pode ser descrita por uma expressão simples de três parâmetros, como apresentada na Equação 4. A Equação 4 contém o ângulo de atrito residual básico ($\Phi_{B,r}$), a diferença de ângulo máximo ($\Delta\Phi_r$) e o ângulo médio de tensão normal ($p_{N,r}$). A equação proposta pelo autor reduz a envoltória linear convencional de Coulomb para três combinações de parâmetros, isto é, quando $\Delta\Phi_r = 0$, $p_{N,r} = 0$, ou $p_{N,r}$ tende ao infinito. Assim, a envoltória linear convencional é simplificada pela regra da não linearidade proposta para ruptura de solos. O $\Phi_{B,r}$ é constante para um solo particular, sendo que ele representa o ângulo de resistência ao cisalhamento para uma orientação perfeita das partículas a um nível elevado de tensão normal. A $\Delta\Phi_r$ é aproximadamente igual ou menor que a diferença entre o ângulo de resistência ao cisalhamento de argilas normalmente adensadas remoldadas e o $\Phi_{B,r}$ definido na equação, sendo causada pela mudança de orientação das partículas de aleatória para a condição

perfeita. Além disso, a variação da resistência ao cisalhamento de pico para a resistência ao cisalhamento residual de argilas normalmente adensadas pode ser descrita aproximadamente pela alteração de $p_{N,r}$ do infinito para um valor muito pequeno.

$$\tau_{r,r} = \sigma'_n \tan [\Phi_{B,r} + \Delta\Phi_r / (1 + \sigma'_n/p_{N,r})] \quad (\text{Equação 4})$$

Stark e Eid (1994), com o objetivo de investigar a importância da não linearidade em análises de estabilidade de solos, e desenvolver uma nova correlação para descrever a não linearidade da envoltória de resistência ao cisalhamento residual, executaram ensaios *ring shear* do tipo Bromhead (1979) em 32 amostras de argilas e argilas xistosas. Os autores verificaram que a não linearidade da envoltória de resistência ao cisalhamento residual parece ser mais significativa para solos coesivos com valores de limite de liquidez (LL) e índice de atividade (A) de moderado a alto, isto é, LL entre 60 e 220 e fração de argila (FA) maior que 50%. Em contrapartida, solos coesivos com valores de LL < 120 e FA < 45% exibem envoltórias de resistência ao cisalhamento residual aproximadamente lineares.

Kanji (1998), em ensaios de cisalhamento direto com interface, relata as trajetórias de tensão em gráficos σ'_n versus τ_r , sendo que essas trajetórias apresentam a forma de “S” invertido após a resistência ao cisalhamento de pico, com queda de resistência. Uma vez alcançada a resistência ao cisalhamento residual, passam a seguir uma reta inclinada ascendentemente, coincidente com a envoltória da resistência ao cisalhamento residual, devido à redução progressiva da área do corpo de prova.

2.2.2 Mecanismos de comportamento de resistência ao cisalhamento residual

Através de ensaios *ring shear* realizados por Lupini *et al.* (1981), foram identificados três modos de comportamento cisalhante residual: turbulento, transicional e deslizante. Estes modos dependem da proporção de partículas lamelares e não lamelares, do coeficiente de atrito entre partículas e da presença de partículas arredondadas.

O modo turbulento ocorre quando o comportamento é dominado por partículas arredondadas ou, no caso de solos dominados por partículas lamelares, quando o coeficiente de atrito entre partículas é alto. Neste modo, a resistência ao cisalhamento residual é alta, sem orientação preferencial das partículas e o ângulo de atrito residual depende, primeiramente, da

forma e empacotamento das partículas arredondadas e não do coeficiente de atrito entre partículas. O Φ'_r é então semelhante ao ângulo de atrito do estado crítico (Φ'_{cv}), apresentando geralmente valor superior a 25° . A zona de cisalhamento, uma vez formada, é somente uma zona de diferente porosidade e pode ser consideravelmente modificada pela subsequente história de tensões. Este estado pode ser alcançado a pequenos deslocamentos de cisalhamento.

Por outro lado, quando o comportamento é dominado pelas partículas lamelares e com baixo coeficiente de atrito entre partículas, ocorre o modo deslizante. Neste caso, o ângulo de atrito residual depende principalmente da mineralogia, da composição química da água dos poros e do coeficiente de atrito entre partículas, sendo seu valor tipicamente entre 5° e 20° . Uma superfície de baixa resistência ao cisalhamento de partículas fortemente orientadas é desenvolvida, sendo que esta não é afetada significativamente pela subsequente história de tensões.

Quando não há forma de partícula dominante no solo, e envolve comportamento turbulento e deslizante em diferentes partes de uma zona de cisalhamento, então o modo é transicional. Neste mecanismo, as propriedades do solo na resistência ao cisalhamento residual mudam progressivamente através da faixa de transição típica de cisalhamento turbulento para típica de cisalhamento de deslizamento. O ângulo de atrito residual é sensível a pequenas variações na granulometria do solo.

A Figura 2 apresenta as zonas em que os mecanismos ocorrem em função do ângulo de atrito residual e do teor de argila.

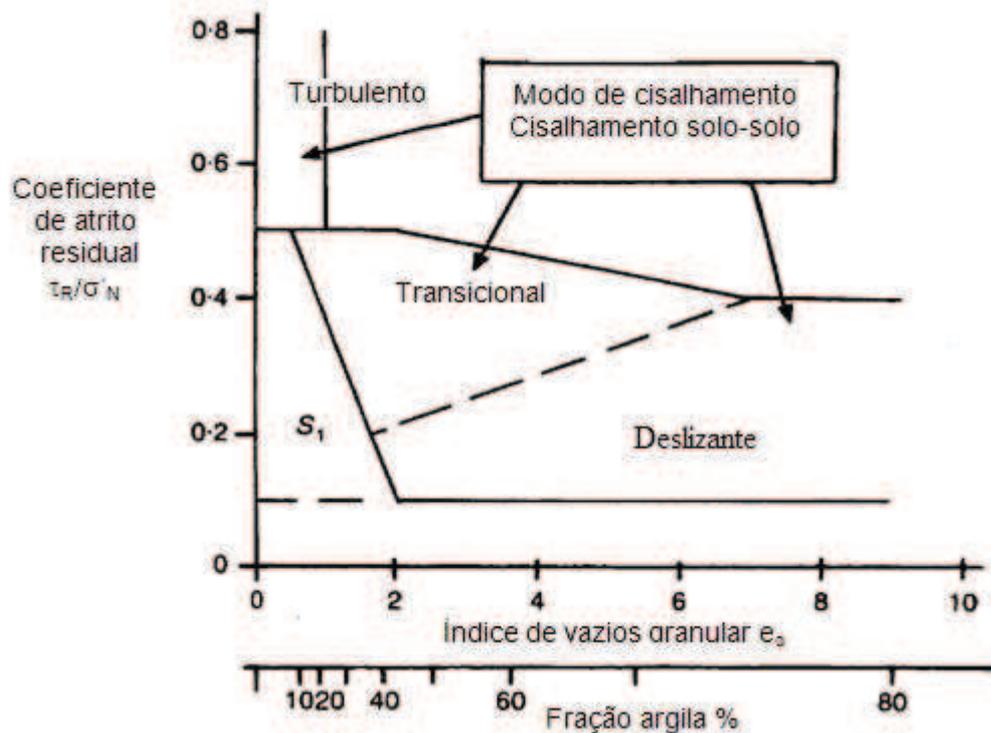


Figura 2. Modos de comportamento cisalhante residual (HEINECK, 2002 baseado em LUPINI *et al.*, 1981).

Na Figura 2 se pode verificar que para FA maiores do que cerca de 50 %, o mecanismo é do tipo deslizante, favorecido pelo arranjo paralelo das partículas placóides, resultando baixos valores de Φ'_r . Para os solos contendo FA menor que cerca de 20 a 30 %, o mecanismo é turbulento, com altos valores de Φ'_r , e, com porcentagens intermediárias de FA, o mecanismo é transicional.

Skempton (1985), em ensaios de cisalhamento por torção de misturas com proporções variáveis de areia e bentonita, relatou que, para FA maiores que 50%, ocorre o mecanismo deslizante, com grande diferença entre os valores de resistência ao cisalhamento de pico e residual, mas quando essa porcentagem é menor que 25%, ocorre o mecanismo turbulento, com valores residuais muito próximos dos valores de pico de resistência. A Figura 3 mostra as envoltórias típicas de resistência ao cisalhamento.

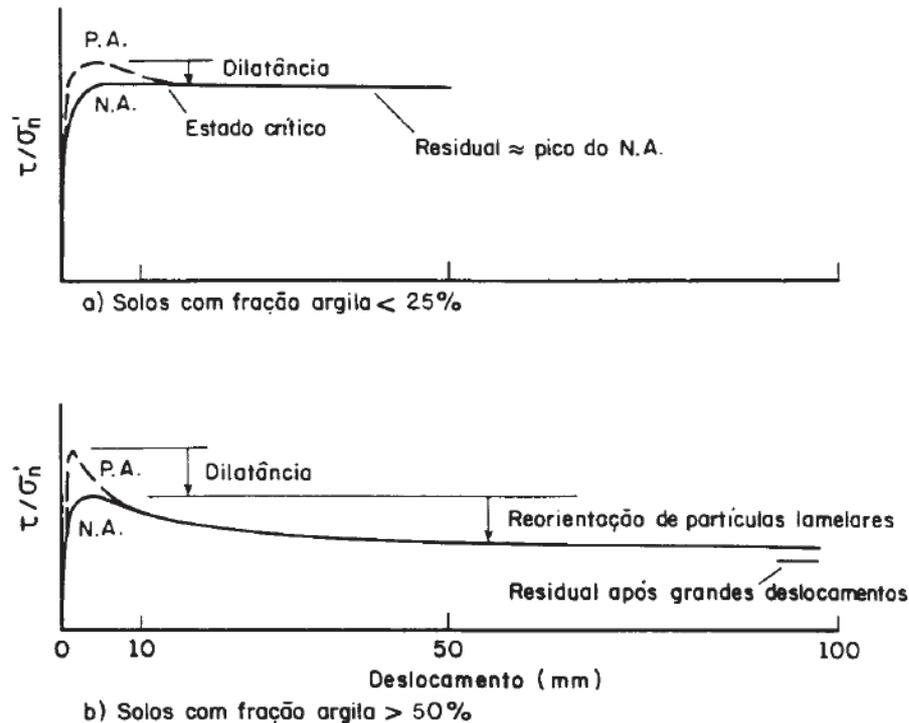


Figura 3. Curvas tensão-deslocamento a uma tensão normal efetiva constante (BIANCHINI, 2000 baseado em SKEMPTON, 1985).

Na Figura 3(a) verifica-se que solos normalmente adensados, com baixa FA, praticamente não apresentam resistência de pico, ou apresentam pico pequeno no caso de solos pré-adensados. Para ambos os casos, o estado residual é próximo ao estado crítico. Por outro lado, solos pré-adensados com alta FA de argila apresentam pico significativo e o estado residual é diferente do estado crítico, devido à reorientação das partículas de argila no sentido do deslocamento (Figura 3(b)).

2.2.3 Fatores que influenciam a resistência ao cisalhamento residual

De acordo com Dewoolkar e Huzjak (2005) e Terzaghi *et al.* (1996) apud Wen *et al.* (2007), a resistência ao cisalhamento residual de materiais coesivos têm mostrado dependência em relação a alguns fatores como: composição mineralógica, limites de Atterberg, fração de argila (FA) e magnitude da tensão normal no plano de ruptura. Segundo os autores, em geral, o ângulo de atrito residual (Φ'_r) diminui com o aumento do limite de liquidez (LL), do índice de plasticidade (IP), do teor de argila e da tensão normal efetiva (σ'_n).

Além dos fatores mencionados, Yang *et al.* (2009) menciona que a distribuição granulométrica do solo, as propriedades da argila, a composição química da água dos poros,

bem como a história de tensões e a estrutura inicial do solo também têm influência no valor da resistência ao cisalhamento residual.

Ainda, em trabalhos realizados por Bressani *et al.* (2001) e Rigo *et al.* (2006), são apresentados os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual de alguns solos tropicais. Conforme os autores, esta propriedade é controlada pelas tensões efetivas e principalmente por aspectos geológicos como mineralogia, tamanho das partículas, rocha de origem, intemperismo e evolução pedológica.

2.2.3.1 Composição mineralógica e composição química do solo

Conforme o trabalho publicado por Kenney (1967), a resistência ao cisalhamento residual é primeiramente dependente da composição mineralógica e da composição química do solo (composição da água dos poros e tipos de íons adsorvidos nas partículas minerais). Tal fato foi observado em ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas para solos naturais, minerais puros e misturas de minerais puros. Para solos naturais, os resultados obtidos indicaram que as propriedades de resistência ao cisalhamento residual estão intrinsecamente ligadas à composição mineralógica do solo, sendo que pequenos valores de resistência ao cisalhamento residual foram encontrados em solos contendo grandes quantidades de minerais do grupo das montmorilonitas, enquanto que solos compostos por grandes quantidades de minerais do grupo das micas exibiram altos valores de resistência ao cisalhamento residual. Em relação aos ensaios realizados em minerais puros, foi observado que a resistência ao cisalhamento residual de minerais compostos por grãos tridimensionais (quartzo, feldspato e calcita) varia de acordo com o formato dos grãos e é independente do tamanho das partículas, sendo que os valores de Φ'_r encontrados pelo autor oscilaram entre 29° a 35°. Nesse sentido, os resultados indicaram que grãos angulares apresentam valores de resistência ao cisalhamento residual superiores a grãos arredondados. Para os minerais do grupo das micas (mica muscovita e mica hidratada) e o argilomineral illita, os valores de Φ'_r variaram entre 17° a 26°. Segundo o autor, essa variação depende de três fatores: (1) tamanho dos grãos – redução no tamanho dos grãos causa um aumento na resistência ao cisalhamento residual; (2) tipo de cátion trocável - a resistência ao cisalhamento residual é elevada por cátions de maior valência ($\text{Ca}^{++} > \text{K}^+ = \text{Na}^+$) e por cátions de melhor polarização ($\text{K}^+ > \text{Na}^+$); (3) concentração de íons na água dos poros - a resistência ao cisalhamento residual aumenta com o acréscimo de concentração de sais. Os minerais do grupo das montmorilonitas exibiram valores de Φ'_r variando entre 4° e 10°, sendo dependentes primeiramente do tipo de

cátion presente e da concentração de íons na água dos poros. Portanto, as propriedades dos minerais dos grupos das micas e montmorilonitas são fortemente dependentes da química do solo, enquanto que os minerais compostos por grão tridimensionais são dependentes do formato das partículas.

Ramiah *et al.* (1970) apud Anson & Hawkins (1998), investigaram o efeito de soluções químicas na resistência ao cisalhamento residual de solos granulares, utilizando o equipamento de cisalhamento direto. A distribuição granulométrica das amostras era composta por 7% de areia, 85% de silte e 8% de argila. Antes de serem submetidas ao ensaio de cisalhamento direto, as amostras foram tratadas com flocculante (hidróxido de cálcio) e dispersante (hexametáfosfato de sódio). As amostras tratadas com flocculante apresentaram Φ'_r maior (33°) se comparadas com as tratadas com dispersante (28°), porém o aumento da concentração das soluções químicas no solo não apresentou efeito no valor do Φ'_r . Os autores atribuíram o elevado Φ'_r nas amostras tratadas com flocculante ao grande número de contatos interpartículas disponíveis. Nesse sentido, solos granulares diferem de solos argilosos, uma vez que estes demonstram um aumento de Φ'_r com o aumento da concentração de cátion na água dos poros.

Chattopadhyay (1972) investigou a resistência ao cisalhamento residual de alguns argilominerais puros, e concluiu que esse parâmetro é dependente da composição mineralógica dos solos. Segundo o autor, dentre os argilominerais, a montmorilonita é a que apresenta menor resistência ao cisalhamento residual, sendo que esta propriedade aumenta com o aumento dos seguintes argilominerais, nesta ordem: montmorilonita, caulinita e mica hidratada.

Kenney (1977) apresentou resultados adicionais àqueles apresentados em seu trabalho publicado em 1967, mostrando que, quando as partículas de argila são orientadas no plano de cisalhamento, a resistência ao cisalhamento residual desse modo de ruptura era fortemente dependente da mineralogia das partículas placóides e da composição química da água dos poros.

Wesley, em trabalho publicado em 1977, relatou ensaios *ring shear* do tipo Bishop *et al.* (1971), realizados em quatro amostras de solos residuais argilosos de Java (Indonésia), sendo duas amostras contendo alofano como argilomineral predominante e duas tendo a haloisita como principal argilomineral. O autor verificou que os valores de c'_r e Φ'_r dos solos estudados eram muito superiores aos valores normalmente encontrados para solos sedimentares argilosos de IP e FA semelhantes. As amostras com predominância de alofano

apresentaram uma pequena queda da resistência após atingir a condição de pico até a condição residual. Já as amostras contendo haloisita a queda da resistência foi mais pronunciada, embora os valores de c'_r e Φ'_r continuassem altos. A pequena queda da resistência das amostras contendo alofano não foi uma surpresa, uma vez que é um mineral essencialmente amorfo, sendo a maior parte do material descrito como em forma de gel. Por esse motivo, a reorientação das partículas no sentido de uma orientação preferida não acontece, impedindo a redução da resistência com deslocamento ao longo do plano de cisalhamento. No caso das amostras com haloisita, as partículas de argila são cristalinas, porém poucas apresentam estrutura regular, o que impede a orientação das partículas no plano de cisalhamento e a redução da resistência é, conseqüentemente, muito pequena.

Moore (1988, 1991) estudou os efeitos da mineralogia, intemperismo e composição química da água dos poros na resistência ao cisalhamento residual. O autor considerou os controles químicos em amostras de argilas puras do tipo caulinita e montmorilonita, e amostras de argilas naturais (*London Clay* e *Weald Clay*) intemperizadas e não intemperizadas. A determinação da resistência ao cisalhamento residual foi realizada em equipamento *ring shear* do tipo Bromhead (1979), modificado para permitir a introdução e coleta de soluções durante o ensaio. Nesse sentido, para as argilas puras foram utilizadas soluções de cloreto de sódio (NaCl) e cloreto de cálcio (CaCl₂) variando entre 0,2 a 1 M (molar), e para as argilas naturais foram utilizadas soluções com água do mar filtrada, com concentrações variando entre 10% a 100%. A partir dos resultados obtidos, se evidenciou que baixos valores de resistência ao cisalhamento residual foram encontrados para amostras de argilas puras tratadas com NaCl, sendo que a montmorilonita apresentou menores valores. Para as amostras tratadas com soluções de água do mar filtrada foi observado que a resistência ao cisalhamento residual aumentava para altas concentrações de sais. Assim, o autor verificou que a concentração de cátion na água dos poros afeta na resistência ao cisalhamento residual, uma vez que o aumento desta propriedade com o aumento da concentração de sais e valência de cátion ocorre devido ao aumento da resistência na ligação interpartículas.

Tsiambaos (1991) investigou solos calcáreos argilosos da Grécia, tendo como principais argilominerais a montmorilonita, ilita e clorita, e como minerais maciços predominantemente a calcita e o quartzo. O autor utilizou o equipamento de *ring shear* do tipo Bromhead (1979) para determinação da resistência ao cisalhamento residual, e observou que os solos estudados apresentavam valores de Φ'_r variando entre 26° e 36°. Os valores de Φ'_r são maiores que os encontrados por outros autores para solos argilosos, mas estão de

acordo com os valores obtidos para outros solos calcáreos encontrados na Grécia. Estes altos valores de Φ'_r podem ser atribuídos à presença de partículas de tamanho silte na calcita e no quartzo, e à fração de calcita, a qual exibe valores maiores de Φ'_r .

Lacerda e Silveira (1992) apud Bernardes (2003), em ensaios de *ring shear* e cisalhamento direto com reversões múltiplas realizados em solo residual de quartzo-diorito da encosta de Soberbo-RJ, atribuíram os baixos valores de resistência ao cisalhamento residual ao alto teor de mica presente no solo residual, evidenciando a influência da mineralogia do solo nesta propriedade.

Di Maio & Fenelli (1994), pesquisaram os efeitos de soluções NaCl e água destilada na resistência ao cisalhamento residual de amostras puras de caulinita e bentonita sódica, e em misturas destes dois argilominerais, em ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas. Observou-se que o comportamento da caulinita não foi influenciado quando exposto a solução de 1M de NaCl ou quando saturado em solução, porém o comportamento da bentonita apresentou alta influência quando exposto a essa solução, apresentando os maiores valores de resistência ao cisalhamento residual quando saturada. No entanto, quando os ensaios foram executados com água destilada, a bentonita apresentou baixos valores de resistência ao cisalhamento residual em relação à caulinita. Além disso, a presença de 50% de peso seco de bentonita nas misturas estudadas provocou a redução da resistência ao cisalhamento residual para valores típicos de bentonita pura, enquanto que 50% de peso seco de caulinita foi suficiente para reduzir os valores de resistência ao cisalhamento residual das misturas para valores típicos de caulinita pura. Os autores constataram que aumento na resistência da bentonita e das misturas contendo bentonita ocorre uma vez que o sal presente nas soluções se torna difuso nos poros das argilas, concluindo assim, que o aumento da resistência ao cisalhamento residual é causado tanto pelo aumento nas tensões efetivas interpartículas, as quais variam com a concentração de sais na água dos poros, quanto pela natureza dos argilominerais.

Di Maio (1996) ensaiou amostras de bentonita, com FA composta principalmente por montmorilonita sódica, em equipamento de cisalhamento direto. As amostras foram expostas, alternadamente, à água destilada e a diferentes concentrações de NaCl, CaCl₂ e KCl (cloreto de potássio). O autor relatou que as amostras saturadas nessas soluções salinas, produziam difusão iônica dentro dos poros de água, provocando uma diminuição do volume das amostras e um grande aumento na resistência ao cisalhamento residual. Quando reexpostas à água destilada, as variações de Na⁺ mostraram-se reversíveis, em contrapartida, quando a água

substituiu as soluções de CaCl_2 ou KCl , as amostras apresentaram apenas uma leve redução da resistência ao cisalhamento residual.

Em trabalho publicado em 1998, Anson e Hawkins realizaram um estudo para determinar a influência da concentração de íons Ca^{++} na água dos poros sobre a resistência ao cisalhamento residual de argilas caulinita e montmorilonita sódica. Os ensaios foram executados no equipamento *ring shear* do tipo Bromhead (1979), variando a concentração de íons de Ca^{++} nas soluções entre zero (água destilada) a 400 mg/L. Os resultados indicaram que os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual das amostras de montmorilonita são sensíveis à concentração de íons Ca^{++} na água dos poros, sendo que estes parâmetros e o LP (limite de plasticidade) aumentaram com altas concentrações de Ca^{++} , enquanto o LL diminuiu. Por outro lado, as amostras de caulinita mostraram-se pouco sensíveis à presença de íons Ca^{++} na água dos poros, independentemente da concentração. A sensibilidade apresentada pelas argilas pode ser explicada devido às mudanças físico-químicas, sendo que a diferença no comportamento entre a caulinita e montmorilonita está relacionada com o tamanho e capacidade de troca catiônica (CTC) dos argilominerais. Além disso, a caulinita tratada apresentou um acréscimo de LL com o aumento da concentração de íons Ca^{++} , enquanto que a montmorilonita apresentou um decréscimo. Isto ocorre, uma vez que a caulinita quando saturada com cátions divalentes ou trivalentes, a atração eletrostática é desenvolvida entre as faces positiva e negativa, que conduzem a uma estrutura aberta, com arranjos das partículas floculadas, o que resulta em um alto LL. Já o baixo LL da montmorilonita deve-se a troca de sódio da montmorilonita por cálcio, sendo que a redução de LL é em consequência da intensificação da ligação interpartículas com o aumento da concentração de íons Ca^{++} na água nos poros.

Bernardes (2003) também evidenciou a influência da composição mineralógica na resistência ao cisalhamento residual de solos. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual foram obtidos através de ensaios *ring shear* do tipo Bromhead (1979) em solos residuais de gnaiss. A autora observou que a presença de mica em solos granulares reduz sensivelmente a resistência ao cisalhamento residual.

Perazzolo (2003), na investigação de dois taludes da Formação Serra Geral (RS), Canastra e RS470, observou que os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual são amplamente dependentes do argilomineral presente no solo. Para o talude Canastra, a presença de montmorilonita reduz o Φ'_r , tanto do solo coluvionar como do solo residual para

menos de 10° . A autora encontrou valores de Φ'_r de $6,6^\circ$ para o colúvio de Canastra, $9,7^\circ$ para o colúvio da RS470 e $8,2^\circ$ para o talude de Canastra.

Rigo *et al.* (2004) descreveu resultados de ensaios *ring shear* do tipo Bromhead (1979), realizados em cinco solos oriundos da Formação Serra Geral do estado do Rio Grande do Sul. Os solos apresentaram baixos valores de resistência ao cisalhamento residual, com valores de Φ'_r entre 5° e 10° , os quais estão relacionados com a presença de argilominerais do grupo das esmectitas na FA dos solos.

Suzuki (2004), em ensaios de cisalhamento por torção, observou que em solos coluvionares, o Φ'_r variou entre 27° e 30° . Esses altos valores de Φ'_r ocorre devido à mineralogia predominante de caulinita e quartzo, bem como de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Por outro lado, o Φ'_r encontrado para solos residuais foi menor, em torno de 21° , uma vez que há a presença de mica na fração fina do solo.

Aguiar (2006) investigou a influência do teor de mica na resistência ao cisalhamento residual de solos saprolíticos micáceos da Concavidade de Três Barras, situada na cidade de Bananal-SP. O autor ensaiou amostras remoldadas de solos naturais e de misturas preparadas em laboratório, combinando mica com argila e mica com areia sob diferentes proporções entre os elementos. As amostras foram ensaiadas em equipamento *ring shear* do tipo Bromhead (1979) a uma tensão normal de 400 kPa. Comparando-se os valores de Φ'_r obtidos para misturas de iguais proporções, verificou-se que para todas as combinações, o Φ'_r obtido para as misturas de mica com argila é menor que o obtido para as misturas de mica com areia. Para os solos naturais, como esperado, foi observado que quanto maior for a porcentagem de mica, menor será o valor de Φ'_r .

Bhandary e Yatabe (2007) executaram ensaios *ring shear* em solos argilosos provenientes da região de Shikoku, oeste do Japão. Os autores utilizaram um equipamento baseado no *ring shear* descrito por Bishop *et al.* (1971), com amostras anulares de 160 mm de diâmetro externo, 100 mm de diâmetro interno e 10 mm de altura. Através dos resultados obtidos, os autores verificaram que a composição mineralógica tem grande influência na resistência ao cisalhamento residual das amostras testadas. As amostras compostas por esmectitas apresentaram valores menores de Φ'_r do que aquelas compostas por argilominerais não expansivos, implicando que o Φ'_r reduz com o aumento da fração de minerais esmectitas. Assim, os autores concluíram que uma pequena variação na adição de argilominerais expansivos altera significativamente os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual.

2.2.3.2 Fração argilosa (FA) e índice de plasticidade (IP)

Skempton (1964) apud Rigo (2000), ao correlacionar Φ'_r e FA de argilas normalmente adensadas (NA) e pré-adensadas (PA), verificou que havia uma clara tendência de diminuição do Φ'_r com o aumento de FA. Segundo Lupini *et al.* (1981), o comportamento da resistência ao cisalhamento residual em solos coesivos varia significativamente com o aumento do teor de argila, e conseqüentemente, uma mudança no mecanismo de cisalhamento também ocorre.

De acordo com Skempton (1985), quando a FA dos solos é menor que 25%, os minerais argilosos possuem pouca influência na resistência ao cisalhamento residual do solo, sendo a resistência controlada pelas partículas de areia e silte, apresentando assim, valores de Φ'_r tipicamente superior a 20°. Em contrapartida, quando a FA excede 50%, a resistência ao cisalhamento residual depende quase que inteiramente do atrito entre as partículas e suas características, e o aumento na FA tem pouca ou nenhuma influência no comportamento. Nestes casos, o valor de Φ'_r é de aproximadamente 15° para argila caulinita, 10° para ilita ou mica e 5° para a montmorilonita. Para teores de argila entre 25% a 50%, a resistência ao cisalhamento residual será dependente da porcentagem de partículas de argila e de sua mineralogia.

Boyce (1985) averiguou a resistência ao cisalhamento residual de alguns solos tropicais da África e Ásia. O autor notou que a presença de argilominerais não placóides causam um aumento na resistência ao cisalhamento residual maior do que o esperado, além disso, a presença de mica provoca uma redução neste parâmetro. A partir dos resultados obtidos, o autor concluiu que a correlação que existe entre a resistência ao cisalhamento residual e a FA estudada por diversos autores para solos sedimentares não pode ser aplicada a solos tropicais. Esse fato deve-se visto que estes solos são formados pela decomposição ou intemperismo químico de rochas, exibindo, portanto, uma composição mineralógica diversificada, e conseqüentemente, um comportamento incomum durante o cisalhamento, o que resulta um inesperado aumento ou redução dos valores de resistência ao cisalhamento residual.

Bowles (1988) apud Das e Basudhar (2008) menciona que para uma dada argila, o Φ'_r diminui com o aumento do LL e, para um dado LL e teor de argila, o Φ'_r reduz com o aumento da σ'_n .

Tsiambaos (1991) observou que para solos calcáreos argilosos qualquer aumento do teor de calcita resulta em uma redução do IP e da FA, causando um aumento significativo no

Φ'_r , sendo a relação entre Φ'_r e IP e FA válida para este tipo de solo. Além disso, o autor confirmou essa relação utilizando misturas com adição de bentonita, verificando que um pequeno aumento na FA resulta numa notável redução no Φ'_r dos solos calcáreos argilosos.

Almeida *et al.* (1992), investigaram a utilização do equipamento *ring shear* do tipo Bromhead (1979) para a determinação da resistência ao cisalhamento residual de alguns solos. Os autores utilizaram quatro misturas caulim-bentonita, com FA variável entre 10% e 70%. A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar a relação entre FA e Φ'_r , como apresentado na Figura 4. Observa-se que quando maior a FA menor é o valor do Φ'_r . Esta correlação também pode ser evidenciada na Figura 5.

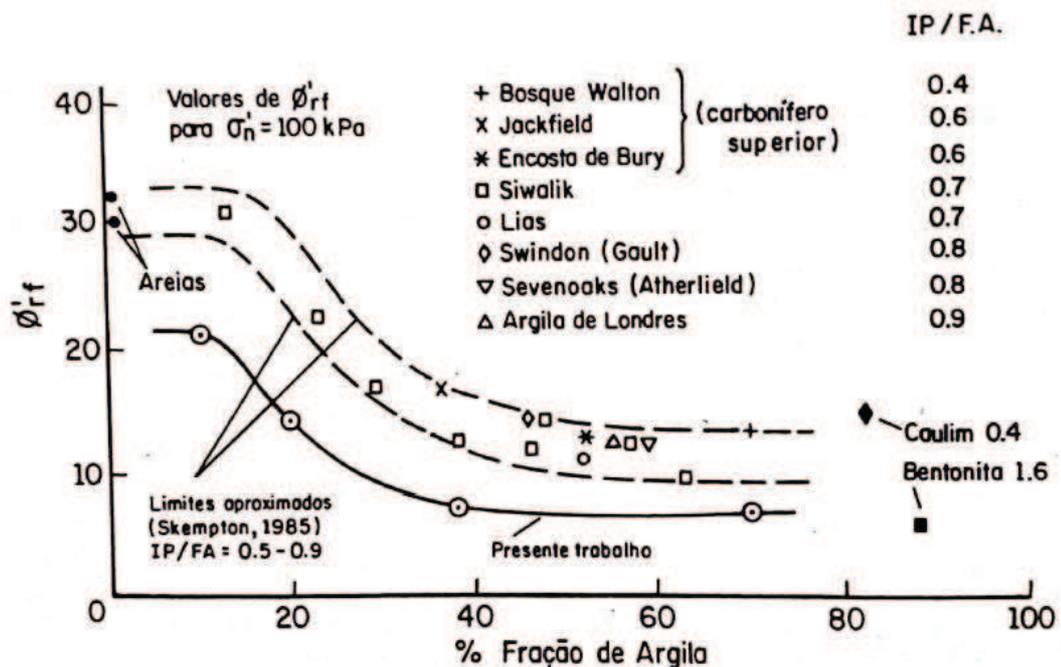


Figura 4. Correlação entre Φ'_r e FA de solos naturais e misturas (ALMEIDA *et al.*, 1992).

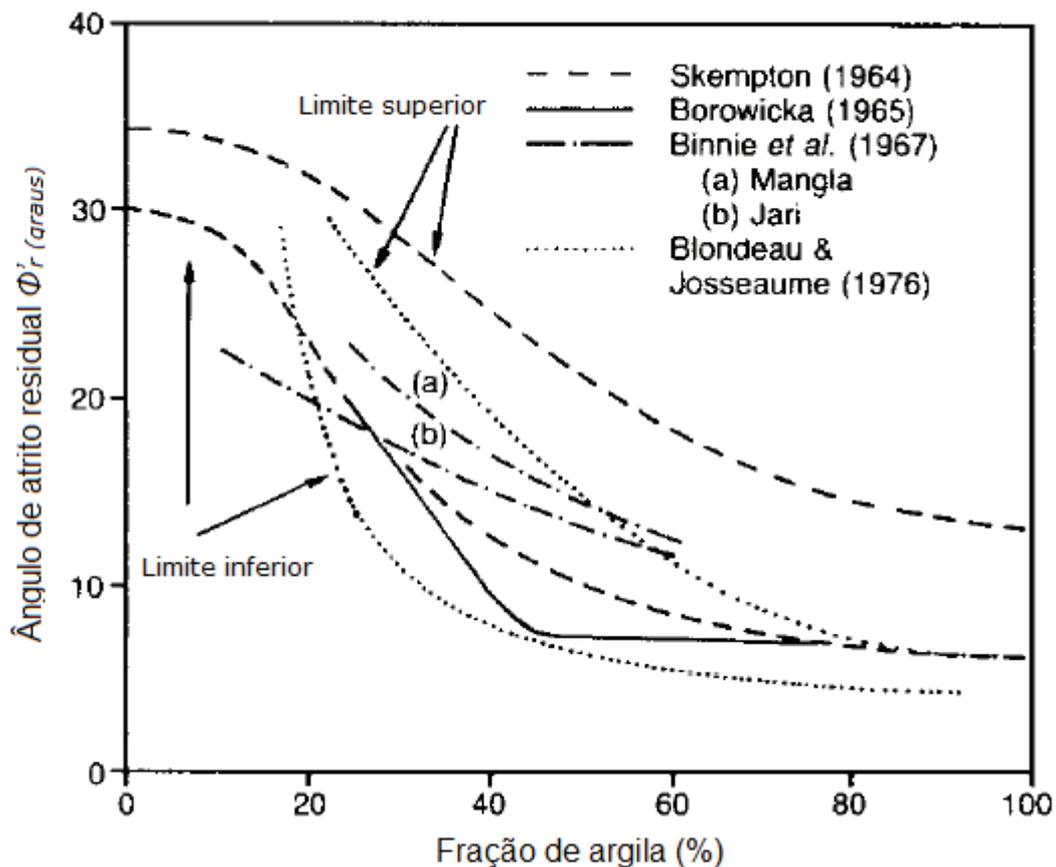


Figura 5. Correlação entre FA e Φ'_r (LUPINI *et al.*, 1981).

Pinto *et al.* (1994) apud Bernardes (2003), utilizando o equipamento *ring shear* do tipo Bishop *et al.* (1971), encontraram baixos valores de resistência ao cisalhamento residual de solos de migmatito, com Φ'_r entre $15,5^\circ$ e 19° . Os autores sugerem que esse comportamento deve ser atribuído à FA, uma vez que solo contém alto teor de mica e minerais caulínicos de maiores dimensões, os quais podem influenciar nos limites de Atterberg e na resistência ao cisalhamento residual. Os solos estudados apresentaram índices de atividade ($A = IP/\% < 2\mu m$) muito elevados e incompatíveis com o comportamento pouco argiloso que o caracteriza. Além disso, também foram realizados ensaios *ring shear* especiais em solos residuais de migmatito com alto teor de areia, sendo as amostras preparadas de maneira que a ruptura ocorresse ao longo de planos nítidos de xistosidade. Os autores indicaram valores de Φ'_r da ordem de 8° a 11° , sendo que para estes solos a granulometria não parece ser o fator dominante no comportamento em termos de resistência ao cisalhamento residual.

Stark e Eid (1994) investigaram 32 amostras de argila e argila xistosa, os autores verificaram que a magnitude da resistência ao cisalhamento residual diminuía com o aumento do LL e do índice de atividade, sendo esta definida pela relação entre o IP e a FA. Logo, tanto

o LL quando A podem ser considerados como um indicativo da mineralogia da argilas, bem como do tamanho e forma das partículas de argila. Em geral, a plasticidade aumenta à medida que as partículas lamelares de argilas aumentam. Aumentando as partículas lamelares resulta em uma maior tendência de interação entre faces e, conseqüentemente, uma baixa resistência ao cisalhamento residual.

Diversos estudos confirmaram que a resistência residual de solos argilosos está diretamente relacionada aos limites de Atterberg e à FA presente no solo. Em geral, quanto maior o LL, o IP e o teor de argila do solo, menor será a resistência ao cisalhamento residual (VOIGHT, 1973; SKEMPTON, 1985; STARK e EID, 1994; PINHEIRO *et al.*, 1998). Logo, um aumento no teor de silte ou areia de um solo provoca a redução do IP, resultando em uma maior resistência ao cisalhamento residual (KANJI e WOLLE, 1977). As Figuras 6 e 7 apresentam a relação entre IP e a resistência ao cisalhamento residual.

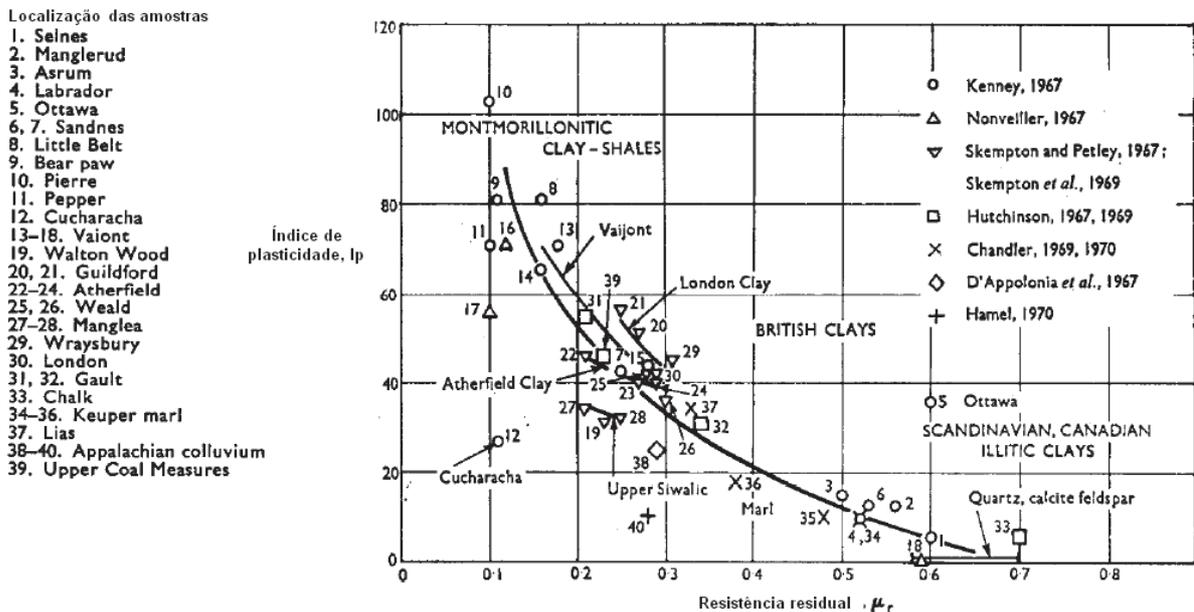


Figura 6. Relação entre o índice de plasticidade e a resistência ao cisalhamento residual (VOIGHT, 1973).

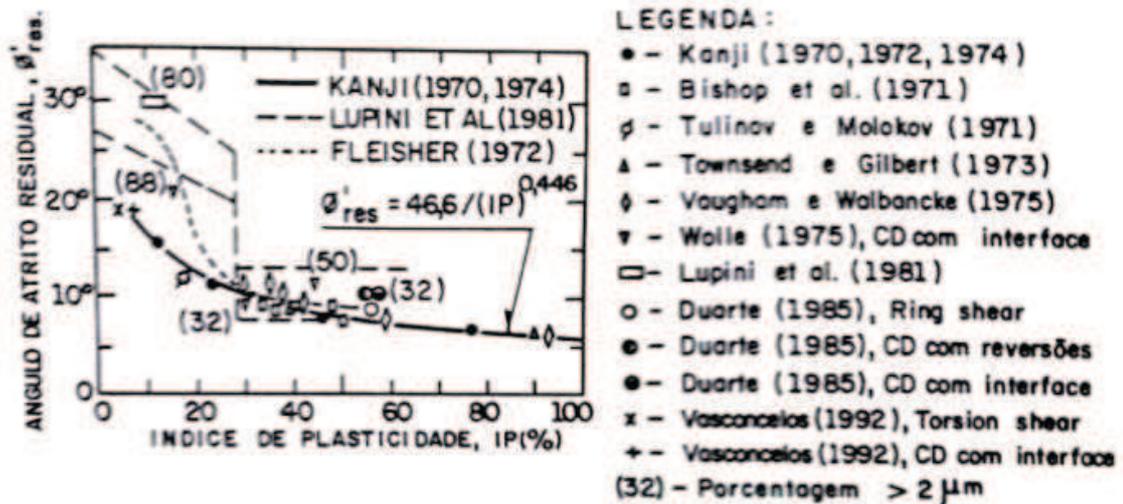


Figura 7. Correlação entre Φ'_r e índice de plasticidade (KANJI, 1998).

Na Figura 7 se observa que os solos que possuem menores IP apresentam valores de Φ'_r progressivamente mais elevados. Esse fato deve-se uma vez que as partículas desses solos são do tipo granular e não placóide, e interferem no arranjo das partículas argilosas quanto maior for sua porcentagem no solo, elevando assim, o valor de Φ'_r .

Por outro lado, Wesley (1977) em seu estudo na determinação da resistência ao cisalhamento residual de solos residuais argilosos com predominância de argilominerais alofano e haloisita, observou que a relação entre Φ'_r e o IP não era válida para esses solos. A Figura 8 apresenta os resultados encontrados pelo autor. Nota-se claramente que os solos analisados apresentam valores muito superiores se comparados por aqueles investigados por Vaughan e Walbancke (1975), indicando que esta correlação é válida somente para alguns grupos de solos.

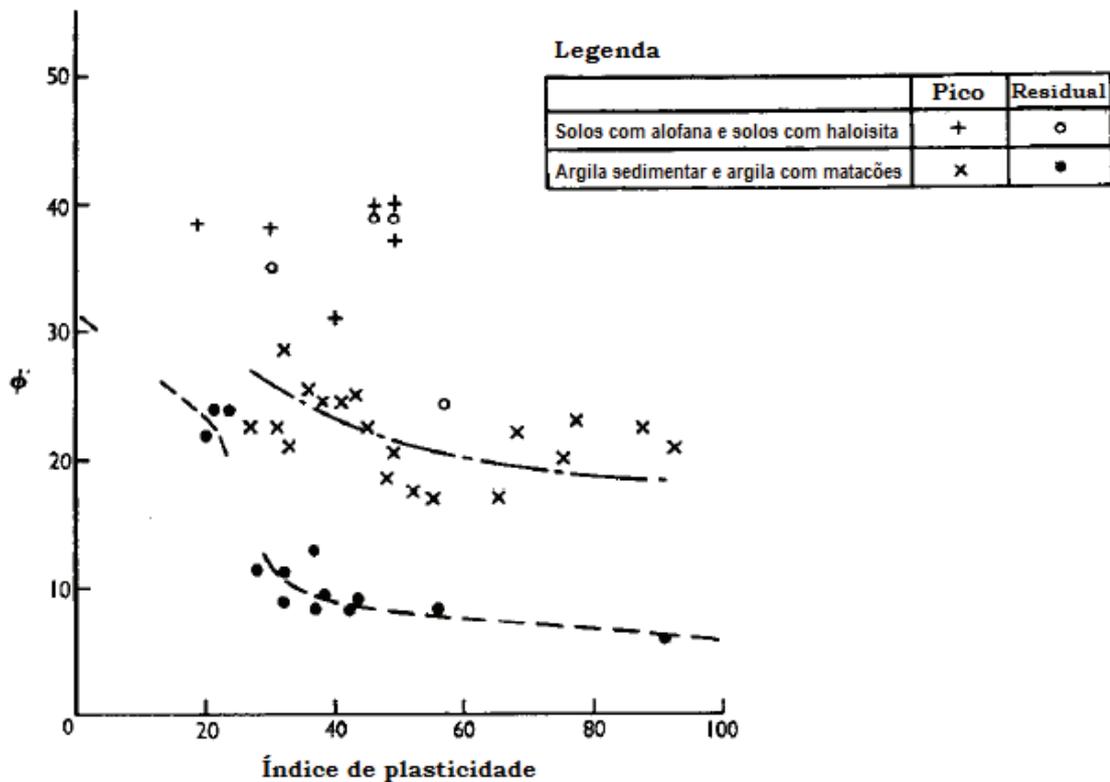


Figura 8. Correlação entre Φ'_r e IP (WESLEY, 1977).

Eid (1996) em seu estudo sobre a resistência ao cisalhamento residual de algumas argilas rígidas, observou que a magnitude da resistência ao cisalhamento residual reduz com o aumento do LL e do índice de atividade (A). Assim, as correlações entre Φ'_r e LL e Φ'_r e FA podem ser utilizados para estimar a resistência ao cisalhamento residual. Análises de casos históricos com superfícies de rupturas pré-existentes, realizadas pelo autor, também suportaram essa conclusão.

Bressani *et al.* (2001) também verificaram o comportamento de resistência ao cisalhamento residual de alguns solos tropicais. Os autores observaram que os solos residuais de rochas sedimentares e alguns solos lateríticos apresentaram comportamento de acordo com o modelo de cisalhamento residual descrito por Lupini *et al.* (1981). Entretanto, alguns solos saprolíticos de basalto e alguns solos micáceos demonstraram comportamento diferenciado, sendo a resistência ao cisalhamento residual extremamente baixa apesar de sua baixa plasticidade e FA. Essa variação de comportamento pode ser observada na Figura 9.

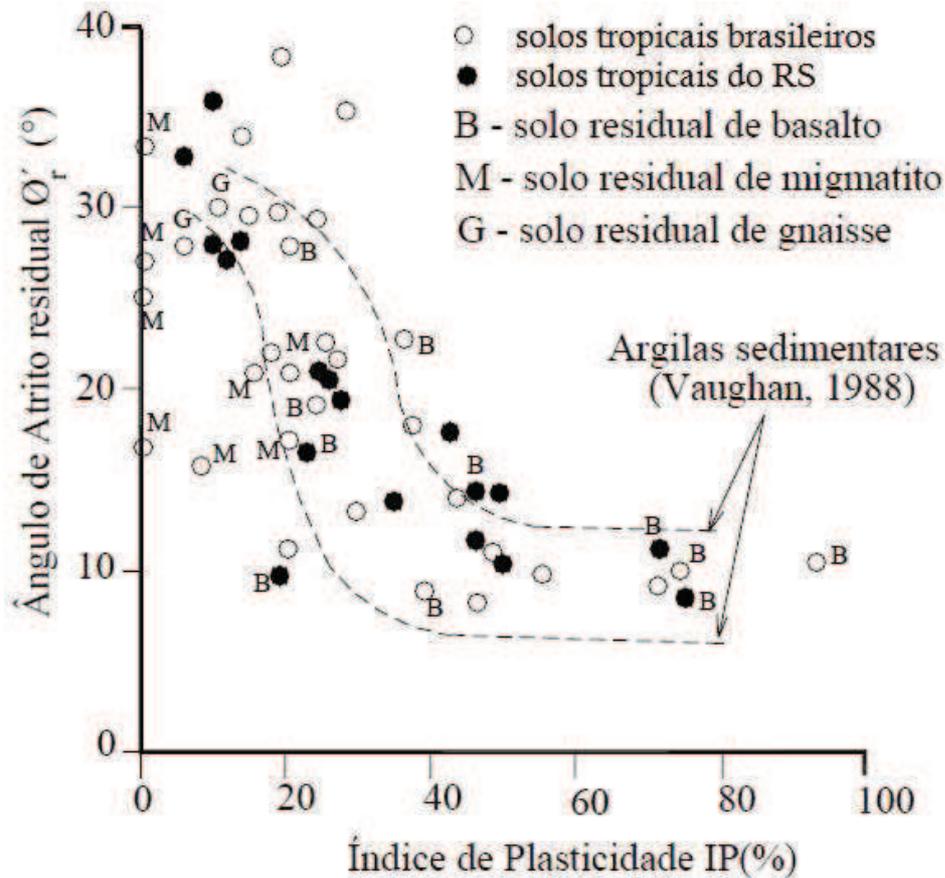


Figura 9. Variação do ângulo de atrito interno residual com o IP (BRESSANI *et al.*, 2001).

Martinello *et al.* (2004) realizou ensaios *ring shear* em solos tropicais utilizando duas especificações distintas para a execução do ensaio. Os autores preocupam-se quanto à magnitude da remoção de uma proporção de partículas grosseiras, necessária para a adequação da norma ASTM D 6467-99 (ASTM, 1999). Assim, julgava-se que poderia ocorrer uma subestimação da resistência ao cisalhamento residual, visto que esse procedimento aumentaria a FA das amostras ensaiadas. Com base nos resultados obtidos, os autores puderam constatar que para os solos analisados (solos tropicais que sofreram intemperismo químico, apresentando assim, partículas parcialmente intemperizadas e frágeis, além de agregados de partículas), a degradação das partículas durante o cisalhamento fez com que a granulometria inicial da amostra não tivesse influência sobre a resistência ao cisalhamento residual.

Rigo *et al.* (2004) realizaram ensaios *ring shear* em cinco solos oriundos da Formação Serra Geral do estado do Rio Grande do Sul. Os materiais com elevada plasticidade e FA, como o colúvio de basalto e argila de preenchimento de diaclases, apresentaram

comportamento conforme o modelo de Lupini *et al.* (1981) para solos sedimentares, com valores de Φ'_r consistentes com a FA e IP.

Em trabalho publicado por Rigo *et al.* (2006) em solos tropicais do sul do Brasil, foram observadas mudanças do Φ'_r com o IP. A maioria dos solos apresentou uma redução do Φ'_r com o aumento do IP, o que é tipicamente associado a solos sedimentares oriundos de regiões temperadas. Para os solos com baixos valores de IP, o comportamento do tipo granular é responsável pelo elevado Φ'_r . Por outro lado, solos com altos valores de IP, a orientação das partículas placóides é responsável pela redução progressiva da resistência ao cisalhamento até a condição residual ser atingida.

Das (2008) apud Linhares (2011) correlaciona o Φ'_r com a FA de alguns solos de climas temperados. Através dos resultados obtidos, o autor também pode constatar o aumento de Φ'_r com a redução da FA.

2.2.3.3 Grau de intemperismo

Chandler (1969) apud Rigo (2005) investigou o efeito do intemperismo na resistência ao cisalhamento residual da argila *Keuper Marl*. As amostras não intemperizadas e parcialmente intemperizadas dessa argila apresentaram altos teores de agregados de tamanho silte, formados por partículas de argila. Por outro lado, as amostras completamente intemperizadas apresentaram altos valores de FA, indicando que os agregados de partículas argilosas são destruídos com o aumento do grau de intemperismo. Os valores de resistência ao cisalhamento residual obtidos a partir de ensaios triaxiais foram concordantes com a correlação entre Φ'_r e FA apresentada por Skempton (1964), apontando que o aumento da FA devido ao intemperismo provocou uma queda no valor de Φ'_r . No entanto, os maiores valores de Φ'_r encontrados para as amostras não intemperizadas e parcialmente intemperizadas podem estar associados à ineficiência dos ensaios realizados em destruir os agregados de partículas argilosas, o que pode ter mascarado os resultados obtidos.

Rigo *et al.* (2004) em estudo sobre a determinação da resistência ao cisalhamento residual de alguns solos da Formação Serra Geral, observaram que para os solos saprolíticos, a degradação mecânica de partículas parcialmente intemperizadas e frágeis durante o cisalhamento a grandes deslocamentos, influenciou o comportamento do solo, por esse motivo, baixos valores de Φ'_r foram obtidos para a FA e o IP encontrados para esse tipo de solo.

Tal comportamento também foi evidenciado em Rigo (2005) para solos saprolíticos de rochas básicas. Os valores de Φ'_r variaram de 7,6° a 13,6°, sendo tanto maiores quanto menor o grau de intemperismo do solo estudado.

Huvaj-Sarihan (2009) na investigação do comportamento pós-ruptura de alguns movimentos de solos, observou que um aumento no intemperismo e no teor de umidade dos solos estudados, a FA na superfície de deslizamento parece aumentar, causando uma diminuição nos valores de Φ'_r .

2.2.3.4 Preparação da amostra e procedimento de ensaio

Vários autores comprovaram que a condição residual dos solos independe do processo de preparação da amostra, ou seja, a resistência ao cisalhamento residual é obtida ensaiando-se amostras indeformadas, remoldadas ou reconstituídas (KENNEY, 1967; LA GATTA, 1970 apud RIGO, 2000; TOWNSEND e GILBERT, 1973).

Por outro lado, as técnicas e procedimentos de ensaios afetam a condição residual dos solos. Segundo Anderson e Hammoud (1988), o uso da técnica de ensaio multiestágio em ensaios *ring shear* é satisfatório para argilas que apresentam comportamento de cisalhamento turbulento ou transicional, ou seja, solos com FA menor que 50%. No entanto, para solos com comportamento de cisalhamento deslizante (solos com FA superior a 50%), esta técnica resulta em valores imprecisos de resistência ao cisalhamento residual, se comparados com os resultados obtidos nos ensaios de estágio único. Este fato é apresentado na Figura 10, onde para um solo com 80% de FA, os valores de tensão residual medidos em ensaio multiestágio são significativamente baixos em relação aos valores dos ensaios de estágio único, sendo que a diferença em altos níveis de tensão foi da ordem de 20 a 25%. Além disso, os valores de Φ'_r para este material sob uma tensão normal de 560 kN/mm² foi de 9,9° para ensaio multiestágio e 12,9° para ensaio de estágio único.

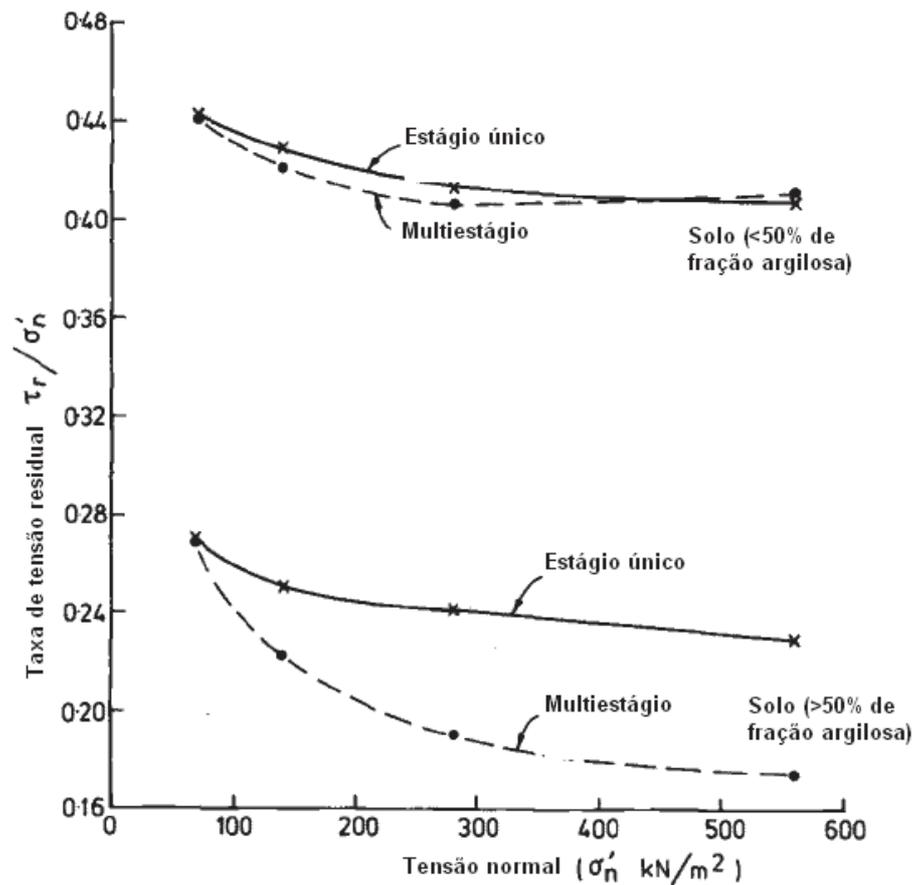


Figura 10. Taxa de tensão residual por tensão normal para ensaios *ring shear* multiestágio e estágio único (ANDERSON e HAMMOUD, 1988).

Stark e Eid (1992) investigaram o efeito do tipo de amostra (remoldada ou pré-cortada) e do procedimento de ensaio (cisalhamento direto e *ring shear*) para determinação da resistência ao cisalhamento residual de um caso histórico da Califórnia do Sul. Os autores observaram que os ensaios de cisalhamento direto com reversões em amostras remoldadas apresentaram uma envoltória significativamente maior que a trajetória obtida no ensaio *ring shear*, indicando que os valores estimados em ensaios de cisalhamento direto em amostra remoldadas não devem ser usados na estimativa da resistência residual de campo. Nesse sentido, os ensaios *ring shear* conduzidos em amostras remoldadas apresentam valores de resistência ao cisalhamento que estão em excelente acordo com o caso histórico, sendo o mais indicado para estimar a resistência residual de campo.

Vasconcellos (1992) realizou ensaios no equipamento *ring shear* do tipo Bromhead (1979) e de cisalhamento direto com interface, em solos com diversas proporções de caulinita e montmorilonita. Os valores de Φ'_r encontrados pela autora para uma σ'_n de 100 kPa foram

de 21° e $20,7^\circ$, respectivamente, e para σ'_n de 400 kPa os valores foram de $18,5^\circ$ e $18,6^\circ$. A variação dos Φ'_r obtidos nos ensaios *ring shear* e de interface apresentaram variação inferior a 2%.

Conforme os resultados obtidos por Almeida *et al.* (1992) em ensaios executados em misturas caulim-bentonita, a técnica de multiestágio utilizando o equipamento de cisalhamento por torção tipo Bromhead (1979) se mostrou adequada para solos com comportamento turbulento ($FA < 25\%$). Em contrapartida, para solos com comportamento deslizante ($FA > 50\%$) a técnica de estágio único se mostrou mais adequada. Quando ensaiadas misturas com $FA = 38\%$, observou-se que o Φ'_r aumentava à medida que σ'_n aumentava, obtendo-se também valores bem diferentes de Φ'_r no carregamento e no descarregamento a σ'_n de 50 kPa, indicando perturbações na superfície de cisalhamento.

Martinello *et al.* (2004) realizaram ensaios *ring shear*, no equipamento de Bromhead (1979), em solos tropicais de acordo com as diferentes especificações das normas Americana ASTM D 6467-99 (ASTM, 1999) e Britânica BS 1377-90 (BSI, 1990) para o tamanho máximo de partículas de solo permitido nas amostras. Os autores verificaram que para os solos estudados, o procedimento de ensaio não apresentou influência sobre os valores obtidos de resistência ao cisalhamento residual.

Tiwari e Marui (2004) mostraram que não são encontradas diferenças significativas nos resultados obtidos através das técnicas multiestágio e estágio único, e que o uso da técnica multiestágio evita problemas de heterogeneidade do solo entre amostras.

2.2.3.5 História de tensões, nível de tensão e deslocamento

A resistência ao cisalhamento residual é mobilizada a deslocamentos maiores que aqueles necessários para mobilizar a resistência ao cisalhamento de pico.

Bishop *et al.* (1971) demonstram a existência de uma relação única entre o Φ'_r e a σ'_n para cada tipo de solo, a qual independe da história de tensões, do índice de vazios inicial e da estrutura do solo. Portanto, essa relação é a mesma quer o solo seja normalmente adensado ou pré-adensado, indeformado, remoldado ou reconstituído. As curvas apresentadas na Figura 11 mostraram que Φ'_r decrescia com o aumento de σ'_n , sendo esse decréscimo associado ao aumento do grau de orientação das partículas de argila sob σ'_n mais elevadas.

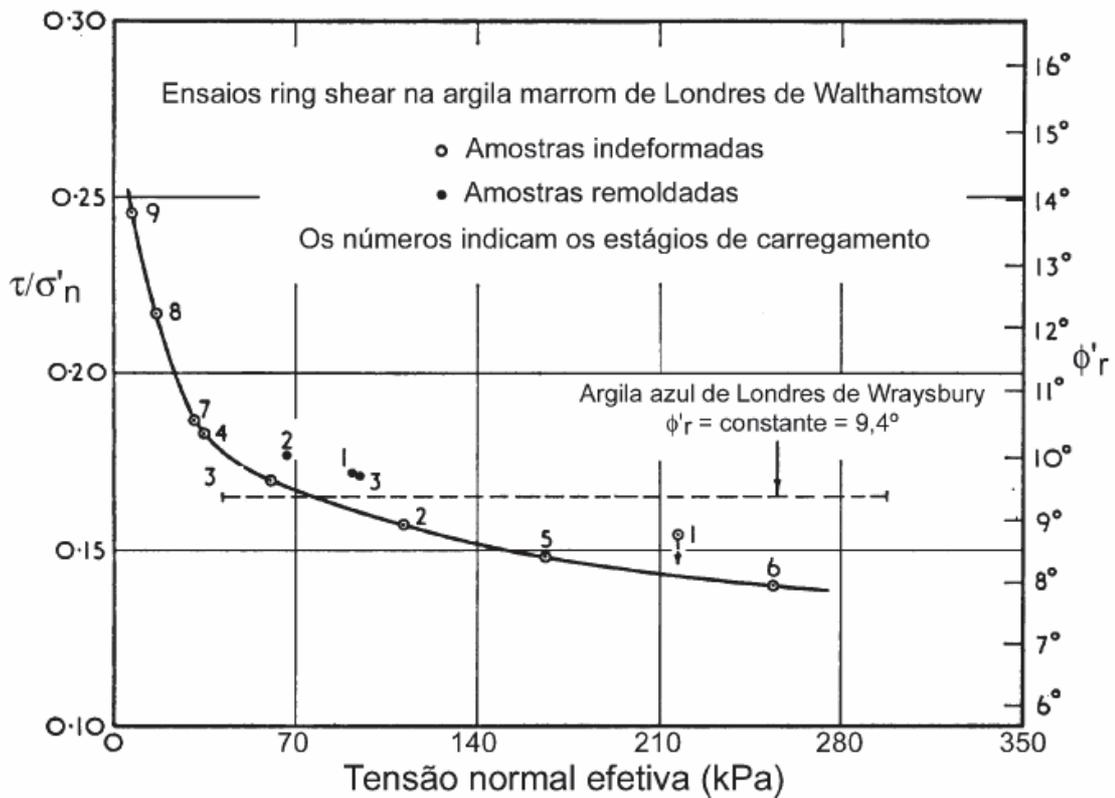


Figura 11. Variação da resistência ao cisalhamento residual com o nível de tensões (baseado em: BISHOP *et al.*, 1971).

Kanji (1974), Littleton (1976) e Kanji e Wolle (1977) verificaram que a condição residual em ensaios com superfícies polidas é atingida com pequenos deslocamentos.

Segundo Skempton (1985), para $\sigma'_n < 600$ kPa a mobilização da resistência ao cisalhamento residual requer deslocamentos maiores que 100 mm e, em alguns casos, maiores que 500 mm.

Duarte (1986) realizou ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas e de interface e ensaios *ring shear* em um solo argiloso da Formação Guabirota, do Terciário. Para σ'_n de 100 kPa, foram observados valores de Φ'_r de 14°, 11,5° e 10,8°, respectivamente. Enquanto que para σ'_n de 400 kPa, foram obtidos valores de Φ'_r de 10,6°, 11° e 8,7°, respectivamente. A partir disso, verifica-se que para baixas tensões normais, os resultados de ensaios de interface e de *ring shear* são praticamente coincidentes e que o de reversões múltiplas forneceu valores consideravelmente mais altos. Por outro lado, para tensões normais mais elevadas, os resultados de reversões múltiplas e de interface são quase iguais, e que os de *ring shear* apresentaram valores inferiores (KANJI, 1998).

Anderson e Hammoud (1988), utilizando dois tipos de argilas preparadas artificialmente, contendo 45% e 80% de FA, realizaram ensaios multiestágio e estágio único com o *ring shear* do tipo Bromhead (1979). Os autores observaram que os deslocamentos necessários para atingir a condição residual em ensaio de estágio único para o material contendo 80% de FA, apesar de grandes, diminuía com o aumento da tensão normal. Já para os últimos ciclos de carregamento do ensaio multiestágio, os deslocamentos necessários para obter a condição residual foram muito pequenos. Para os materiais com menor FA, os deslocamentos necessários para alcançar a condição residual em ensaio de estágio único foram maiores que aqueles para o material contendo maior FA. Nesse sentido, a partir dos resultados obtidos pelos autores, observa-se que não há uma tendência de relação entre deslocamento e nível de tensão normal. Os autores concluíram que a técnica de multiestágio não é adequada para solos com FA superior a 50% (solos com comportamento deslizante).

Chandler e Hardie (1989), no caso de ensaios de cisalhamento direto com reversões, observaram que menores deslocamentos são necessários para a obtenção dos parâmetros residuais quando se utilizam amostras com alturas entre 2 e 5 mm.

Pinheiro *et al.* (1997) apud Perazzolo (2003) no estudo da estabilidade de um talude localizado no município de Faxinal do Soturno/RS, realizaram ensaios de laboratório para a determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de um solo residual e um solo coluvionar. Os autores verificaram uma diminuição do Φ'_r com o incremento da σ'_n , a qual pode ser explicada pela alta proporção de partículas de feldspato alteradas que podem ser mais suscetíveis à fragmentação durante o ensaio, permitindo uma forte orientação das partículas argilosas ao longo do plano de ruptura.

Pinheiro *et al.* (1998), em estudo da resistência ao cisalhamento residual de alguns solos do Rio Grande do Sul, observaram que quando ensaiados solos argilosos no equipamento *ring shear* o deslocamento necessário para atingir a condição residual foi de aproximadamente de 500 mm. Além disso, os autores realizaram ensaios de cisalhamento direto com reversões, sendo que os resultados foram satisfatórios nos solos areno-argilosos onde o Φ'_r foi obtido com deslocamento da ordem de 30 mm (três reversões). Em contrapartida, esse deslocamento não foi suficiente para destruir o efeito da coesão nos solos argilosos e siltosos.

Martinello *et al.* (2004), relata que diversos autores comprovaram que a história de tensões e o estado inicial da amostra não exercem influência significativa sobre a resistência ao cisalhamento residual.

Silveira *et al.* (2004) realizaram ensaios *ring shear* do tipo Bromhead (1979) em três solos coluvionares da Formação Serra Geral, com tensões verticais de 50, 100, 200 e 300 kPa, observaram que o deslocamento requerido para obter-se a condição residual apresentou usualmente valores superiores a 250 mm. Os solos investigados não apresentaram variações significativas de Φ'_r com o acréscimo de σ'_n .

Rigo (2005) através de resultados obtidos em ensaios *ring shear* realizados com solos saprolíticos se rochas básicas, relatou que a resistência ao cisalhamento residual é geralmente mobilizada com deslocamentos entre 400 e 600 mm, podendo em alguns casos superar 600 mm. Em contrapartida, os solos saprolíticos de rochas ácidas são mais sensíveis ao efeito da σ'_n sobre os deslocamentos necessários para mobilizar a resistência ao cisalhamento residual, sendo que para um mesmo solo os deslocamentos variam significativamente com a σ'_n , observando valores de deslocamento entre 100 mm a 1.200 mm. O autor conclui que não há uma relação direta entre a σ'_n e os deslocamentos necessários para mobilizar a resistência ao cisalhamento residual.

Huvaj-Sarihan (2009), em ensaios em amostras intactas (indeformadas ou reconstituídas) e em zonas de cisalhamento (superfícies de cisalhamento retiradas do campo e amostras pré-cortadas produzidas em laboratório), observou que pequenos deslocamentos (<10 mm) são suficientes para amostras com superfície pré-cortada atingirem a condição residual. Para as amostras indeformadas, acima de 200 mm, tipicamente deslocamentos entre 20 a 60 mm foram requeridos para alcançar a condição residual.

2.2.3.6 Velocidade de cisalhamento

Pesquisas mostram que a velocidade de cisalhamento tem pouca influência na resistência ao cisalhamento residual para pequenos deslocamentos, mas tem grande influência para resistências com deslocamentos maiores que 100 mm (YANG *et al.*, 2009).

Kenney (1967) em ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas, realizados em amostras remoldadas de solos naturais, minerais puros e misturas de minerais puros, verificou que a velocidade de cisalhamento tem pouca influência na resistência ao

cisalhamento residual. As amostras, com altura inicial de 2 mm a 3 mm, e teor de umidade acima do LL, eram consolidadas e após cisalhadas. A velocidade de cisalhamento variou entre 0,0167 mm/min e 0,0024 mm/min. A Figura 12 demonstra a influência da velocidade de cisalhamento na resistência residual, nos ensaios realizados pelo autor.

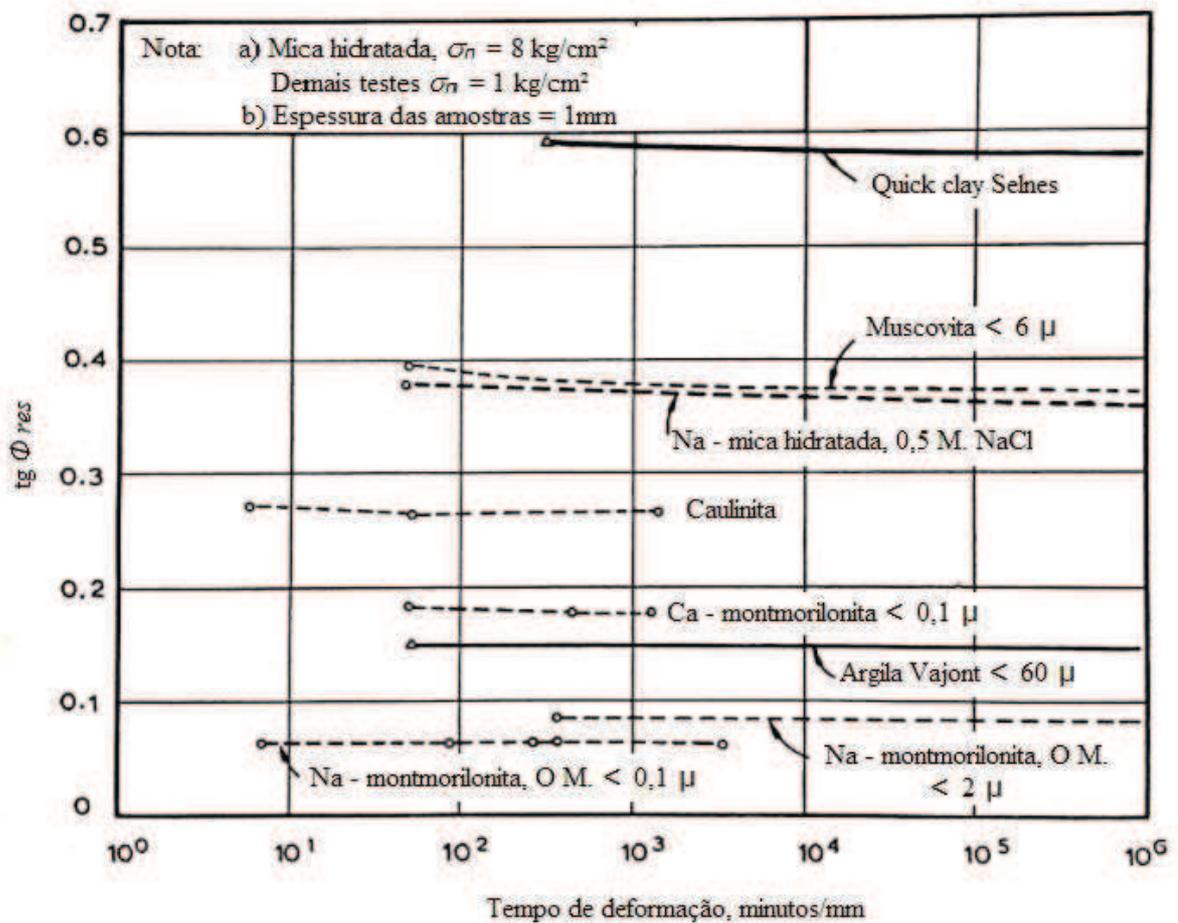


Figura 12. Influência da velocidade de cisalhamento na resistência ao cisalhamento residual. (KENNEY, 1967).

La Gatta (1970) apud Rigo (2000) realizou ensaios de cisalhamento por torção nos solos *Pepper Shale*, *Cucaracha Shale* e *London Clay*. A velocidade aplicada nos ensaios foi de 0,056 mm/min, sendo que após as amostras atingirem a condição residual, era reduzida para 0,0056 mm/min. Essa redução de dez vezes não provocou variação significativa na resistência ao cisalhamento residual medida. Para o solo *Cucaracha Shale*, depois de atingida a condição residual com velocidade de 0,0056 mm/min, a velocidade do ensaio foi elevada

para 0,56 mm/min. Esse aumento em relação à velocidade inicial do ensaio provocou um acréscimo de apenas 3,5% no valor da resistência ao cisalhamento residual.

Ramiah *et al.* (1970) apud Bianchini (2000) variaram a velocidade de ensaio entre 60 mm/min e 0,02 mm/min, para o caso de um silte argiloso. Os autores observaram que a influência da velocidade na resistência ao cisalhamento residual também foi considerada desprezível.

Bishop *et al.* (1971) executaram ensaios *ring shear* na argila *Blue London Clay* com velocidade de 0,00762 mm/min. Em alguns ensaios, a velocidade foi reduzida pela metade. Os autores observaram, que para as baixas velocidades utilizadas não houve variação significativa da resistência ao cisalhamento residual.

Conforme Lupini *et al.* (1981), a resistência ao cisalhamento residual de solos argilosos não é afetada pela velocidade de cisalhamento de ensaio, quando esta é inferior a 0,88 mm/min.

Lupini *et al.* (1981) e Lemos (1986) sugeriram que a resistência ao cisalhamento de solos com comportamento deslizante aumenta com o incremento da taxa de cisalhamento, enquanto que para solos com comportamento turbulento esta propriedade tende a reduzir, ou não é afetada, com o aumento da taxa de cisalhamento (WANG *et al.*, 2010).

Skempton (1985) adotou duas faixas de velocidade de cisalhamento para analisar a influência da velocidade em ensaios de cisalhamento direto com superfícies de cisalhamento naturais. A primeira faixa, compreendendo velocidades de até 0,01 mm/min, considerada como uma faixa de velocidades usuais, na qual se encontram as velocidades normalmente utilizadas em ensaios de laboratório bem como, as velocidades máximas e mínimas observadas no campo em escorregamentos reativados. Adotando como referência uma velocidade de 0,005 mm/min e o correspondente valor de resistência ao cisalhamento residual, Skempton realizou ensaios com velocidades variando desde um valor 100 vezes maior até um valor 100 vezes menor que o valor de referência. A variação da resistência ao cisalhamento residual em relação à resistência correspondente à velocidade de referência foi menor que 2,5% por ciclo logarítmico. Para velocidade de ensaios usuais de laboratório, entre 0,002 mm/min e 0,01 mm/min, esta variação pode ser considerada desprezível. Considerando-se por sua vez as velocidades máxima e mínima observadas em campo, de 0,35 mm/min e 0,0001 mm/min, respectivamente, as variações de resistência ao cisalhamento residual em relação ao valor de referência variam de -3% a +5%.

A segunda faixa de velocidade estabelecida pelo pesquisador compreende as velocidades superiores a 0,01 m/min, sendo considerada como uma faixa de velocidades elevadas, onde se encontram as velocidades induzidas por terremotos. Os ensaios realizados consistiam em submeter as amostras à condição residual com a velocidade de 0,01 mm/min e, em seguida, aumentar a velocidade do ensaio até um certo valor, mantendo-o até que fosse atingida uma condição estável. Seguia-se uma pausa para dissipação dos eventuais excessos de poro-pressão, e a velocidade de 0,01 mm/min era restabelecida. Logo após, uma nova velocidade, mais alta, era imposta à amostra. Esse procedimento era repetido para várias velocidades, até um valor máximo de 400 mm/min. Todos os ensaios realizados com altas velocidades apresentaram um aumento de resistência ao cisalhamento até um valor máximo, seguido por uma diminuição para um valor mínimo aproximadamente constante, porém superior ao estabelecido com velocidade de 0,01 mm/min. Em argilas, o aumento de resistência ao cisalhamento foi mais pronunciado para velocidades superiores a 100 mm/min, quando ocorreu uma mudança de comportamento. Essa mudança foi atribuída à geração de poro-pressões negativas e à perturbação na orientação das partículas. No caso de solos com pequenos valores de FA, não houve alteração significativa de resistência ao cisalhamento residual, mesmo para velocidades de 800 mm/min.

Yagi *et al.* (1992) apud Bianchini (2000) realizaram ensaios *ring shear* em amostras com 10 mm de espessura estabelecendo três velocidades diferentes de ensaio. Os pesquisadores mediram as poro-pressões geradas no centro da amostra, concluindo que a velocidade de ensaio é insignificante na determinação da resistência ao cisalhamento residual, quando menor que 0,35 mm/min.

Tika *et al.* (1996) apresentaram resultados sobre a influência de altas velocidades de cisalhamento na resistência ao cisalhamento residual de solos. Foram realizados ensaios em diversos solos naturais, utilizando o equipamento *ring shear* do tipo Bishop *et al.* (1971). Os autores observaram três tipos de efeitos: (1) um efeito positivo (solos que apresentaram uma resistência ao cisalhamento residual rápida maior do que a resistência ao cisalhamento residual lenta); (2) um efeito neutro (solos em que a resistência ao cisalhamento residual é constante com a velocidade de ensaio, sendo equivalente à resistência ao cisalhamento residual lenta); e (3) um efeito negativo (solos que apresentaram uma queda significativa na resistência ao cisalhamento residual com o aumento da velocidade de ensaio). De acordo com os autores, para solos argilosos, com velocidades de deslocamento menores que 1 mm/min, a variação da resistência ao cisalhamento residual com a velocidade é da ordem de $\pm 10\%$.

Cooper *et al.* (1998) apud Huvaj-Sarihan (2009) investigaram o efeito da taxa de cisalhamento na determinação da resistência ao cisalhamento residual de zonas intemperizadas de argila *Gault*. Os autores executaram ensaios de cisalhamento direto com reversões e de superfície pré-cortada, e ensaios *ring shear* do tipo Bromhead (1979) a uma σ'_n de 150 kPa e com uma taxa de cisalhamento variando entre 0,0001 mm/min e 0,5 mm/min. Os resultados indicaram que um aumento de 10 vezes na taxa de cisalhamento gerava um aumento de 1% nas medidas de resistência ao cisalhamento residual.

2.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO RESIDUAL

2.3.1 Retro-análise

As retro-análises geralmente são utilizadas para avaliar rupturas antigas e deslizamentos lentos. No entanto, neste tipo de método algumas considerações são baseadas em propriedades imprecisas, o que gera incertezas na análise de resultados (YANG *et al.*, 2009).

Bromhead e Dixon (1986) correlacionaram as resistências obtidas em laboratório pelo equipamento de cisalhamento por torção e em retro-análises e, consideram que a acurácia das retro-análises para determinação da resistência ao cisalhamento residual podem depender de dois fatores: (1) o conhecimento das poro-pressões; (2) a resistência deve ser determinada no local da superfície de ruptura.

2.3.2 Correlações entre Φ'_r e as propriedades índice do solo

A utilização de correlações para a determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento residual é a maneira mais simples, rápida e de baixo custo, sendo apropriada para obter estimativas e comparar resultados. Os valores obtidos a partir dessa técnica serão tanto mais próximos da realidade quanto mais semelhantes forem os solos testados com aqueles utilizados na definição das correlações (BIANCHINI, 2000).

Haefeli (1951) foi o primeiro a apresentar uma correlação entre o Φ'_r e as propriedades índices do solo. Skempton (1964) apresentou uma correlação entre Φ'_r e FA para diversas argilas normalmente e pré-adensadas, mostrando uma tendência de redução de

Φ'_r com o incremento de FA. Borowicka (1965) também investigou esta correlação para misturas de diferentes distribuições granulométricas obtidas a partir de um mesmo solo (RIGO, 2000).

Voight (1973) estudou a correlação entre a resistência ao cisalhamento residual e o IP de vários solos naturais, através do coeficiente de atrito de resistência ao cisalhamento residual (μ'_r). O autor verificou que esta correlação não é surpreendente, uma vez que a mineralogia do solo, um dos principais fatores que influenciam sua resistência ao cisalhamento residual afeta diretamente seus limites de consistência. Portanto, pequenos valores de μ'_r são característicos de solos contendo grandes quantidades de montmorilonita ou de misturas de minerais que apresentam predominantemente este argilomineral, ou seja, solos com $IP > 50$. Solos com grandes quantidades de minerais micáceos e partículas granulares, isto é, solos com $IP < 20$, apresentam altos valores de μ'_r .

Kanji (1974) aprofundou o estudo da correlação entre o Φ'_r e o IP, por meio diversos ensaios executados em equipamento de cisalhamento direto em solos naturais com diferentes IP. De acordo com o autor, existe uma boa correlação entre Φ_p (ângulo de atrito interno de pico) e Φ'_r com o IP, no entanto para o caso do Φ_p o nível de tensão e a estrutura do solo devem ser considerados para qualquer correlação. Variações nestes dois parâmetros provocam um deslocamento vertical curvo decrescente, embora sua forma não seja modificada. Para Φ'_r , a variação do nível de tensão e da estrutura do solo praticamente não apresentam efeito sobre a curva. Assim, baseado nos resultados obtidos (Figura 13) o autor obteve a Equação 5 para o Φ'_r em termos de IP (para valores entre 5% a 350%).

$$\Phi'_r = 46,6/IP^{0,446} \quad (\text{Equação 5})$$

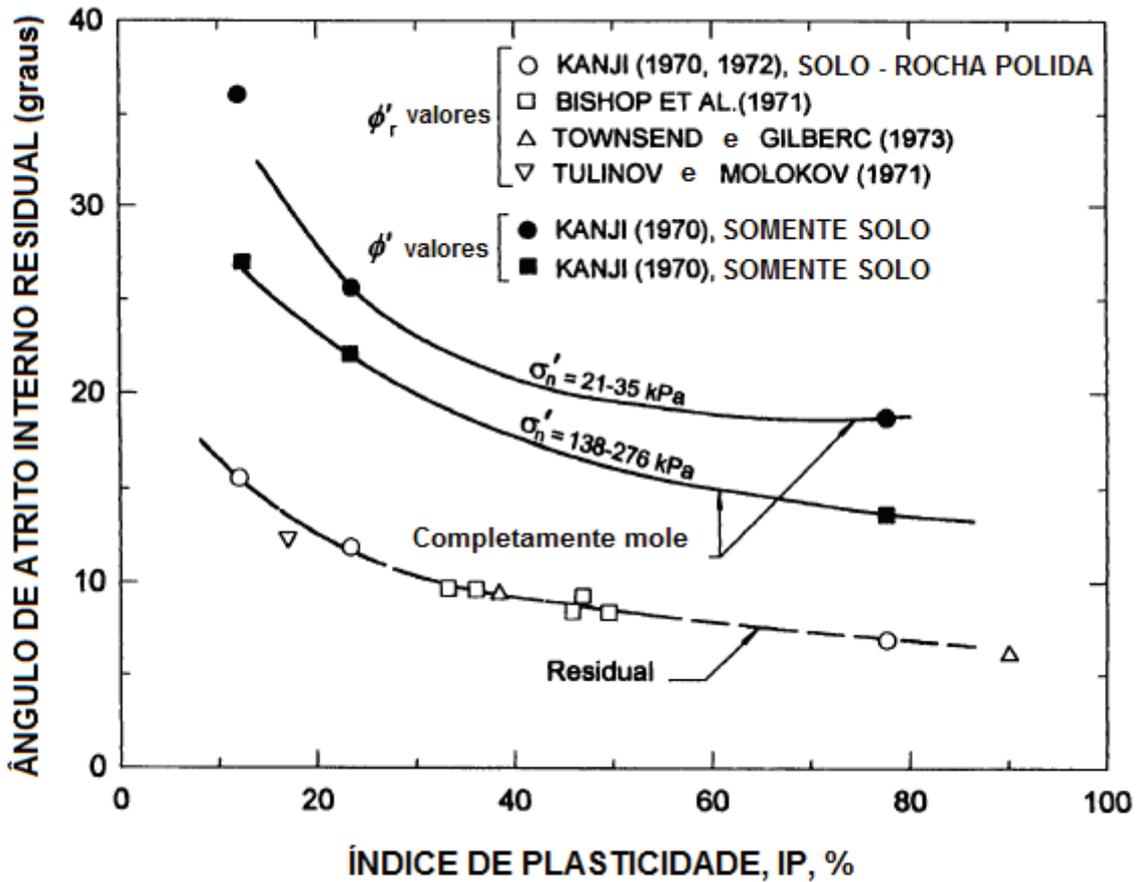


Figura 13. Ângulo de atrito interno residual *versus* IP (KANJI, 1970 e 1974 apud EID, 1996).

Lupini *et al.* (1981) apresentaram correlações entre Φ'_r e FA e entre Φ'_r e IP de diversos solos naturais ensaiados com o equipamento *ring shear* do tipo Bishop *et al.* (1971), como apresentado na Figura 14. Apesar da dispersão dos resultados, os autores observaram uma descontinuidade na resistência ao cisalhamento residual para valores de FA em torno de 35% ou IP em torno de 30. Segundo os autores, tais correlações podem apresentar alguma validade em condições muito específicas de mineralogia constante do solo e de composição química constante da água dos poros.

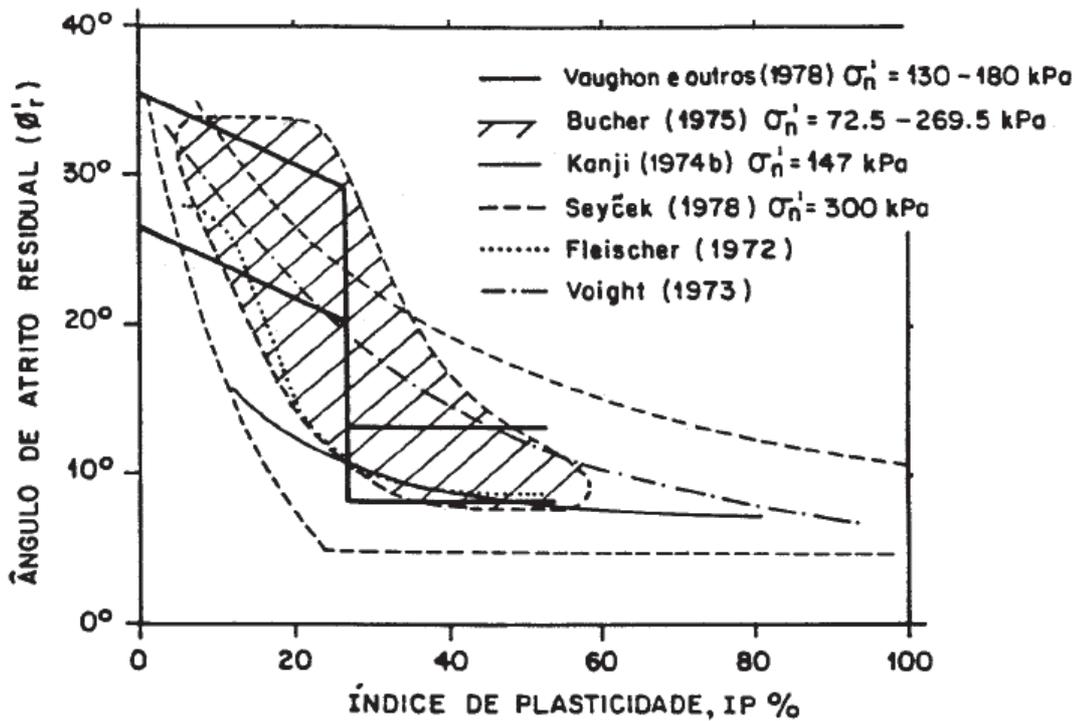


Figura 14. Comparação das correlações entre Φ'_r e IP (LUPINI *et al.*, 1981).

Skempton (1985) exibiram a correlação entre Φ'_r e FA, com dados de ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas e ensaios *ring shear* em oito tipos de solos. Os resultados obtidos pelo autor são apresentados na Figura 15.

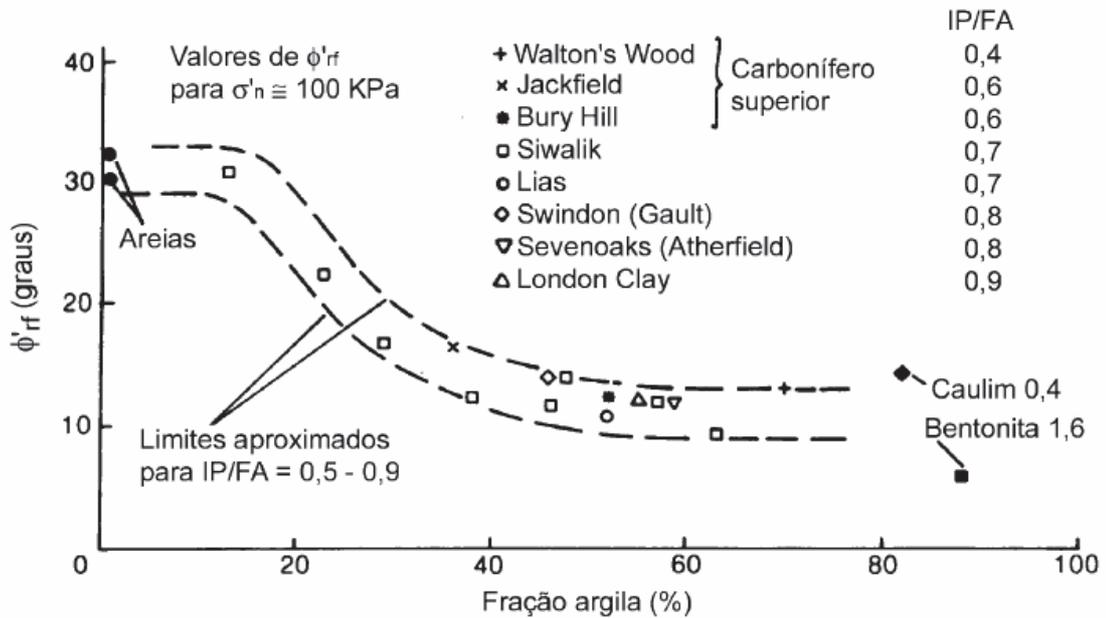


Figura 15. Correlação entre Φ'_r e FA (SKEMPTON, 1985).

Hawkins e Privett (1985) apud Rigo (2000), devido à curvatura das envoltórias de resistência ao cisalhamento residual, concluíram que as correlações entre Φ'_r e as propriedades índice do solo só são significativas se os pontos forem estabelecidos para uma mesma σ'_n .

Collota *et al.* (1989), a fim de incluir simultaneamente os parâmetros que intervêm a correlação entre Φ'_r e FA, LL e IP, apresentou um coeficiente denominado CALIP (Equação 6). A partir dos resultados apresentados nas Figuras 16 e 17, os autores concluíram que para valores CALIP > 60, os resultados de ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas conduzem a valores de resistência ao cisalhamento residual aproximadamente iguais aos dos ensaios *ring shear*. Para valores CALIP < 60, os valores dos ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas podem ser de até 20 % superiores aos de *ring shear*. Segundo os autores a correlação proposta apresenta menos dispersão de dados e é mais suave que as correlações existentes.

$$\text{CALIP} = (\text{CF})^2 \times \text{LL} \times \text{IP} \times 10^{-5} \quad (\text{Equação 6})$$

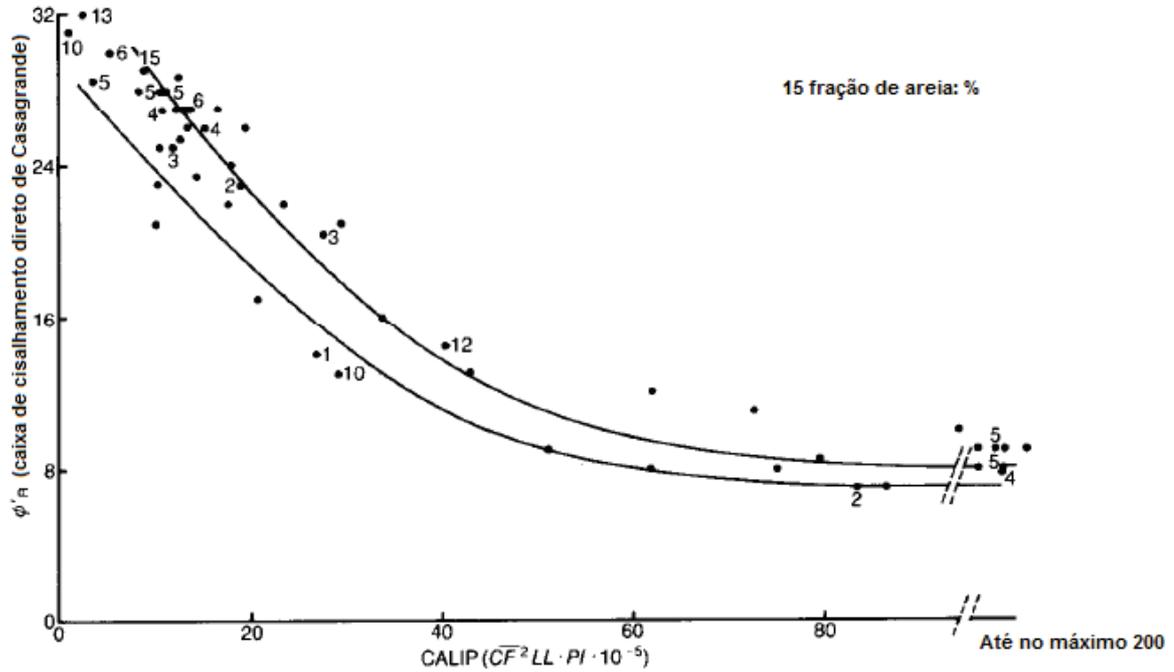


Figura 16. Relação Φ'_r versus CALIP para ensaios de cisalhamento direto (COLLOTA *et al.*, 1989).

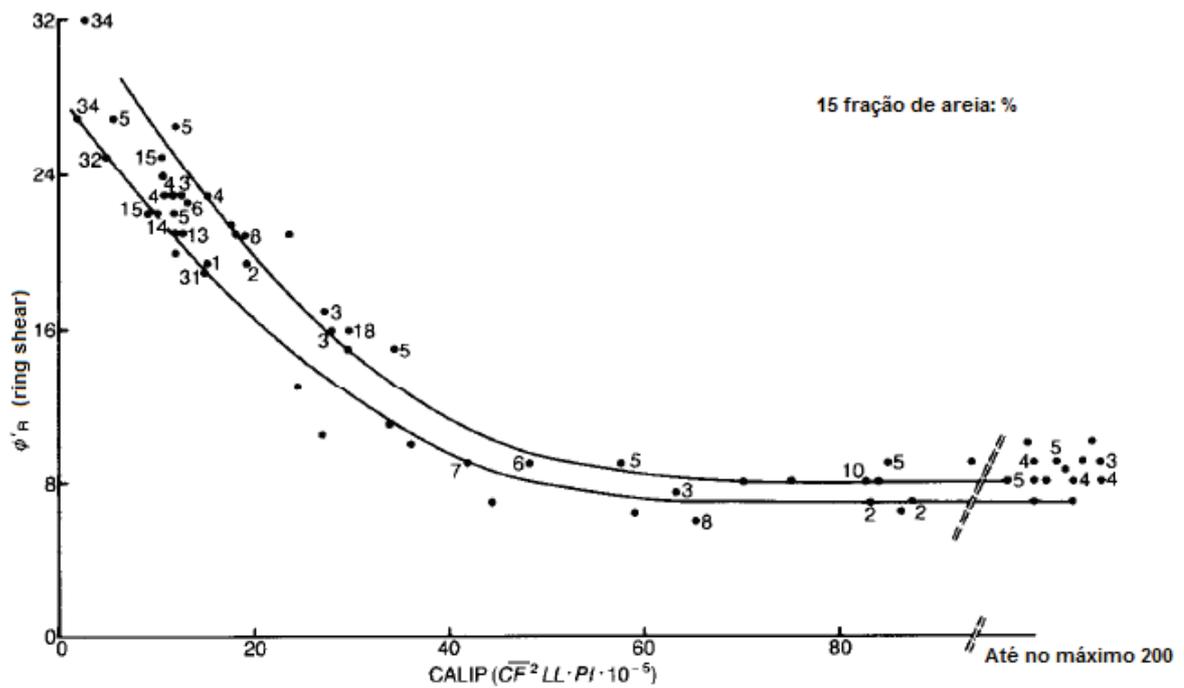


Figura 17. Relação Φ'_r versus CALIP para ensaios *ring shear* (COLLOTA *et al.*, 1989).

Mitchell (1993) apud Rigo (2005) estabeleceu uma correlação entre Φ'_r e FA a partir de dados de outros autores (Figura 18). A influência da FA é ilustrada pela transição de um comportamento turbulento, em solos menos argilosos, para um comportamento deslizante, em solos mais argilosos. A correlação demonstra também a influência da mineralogia, ou seja, quanto maior for o índice de atividade da argila, menor o valor de Φ'_r para a mesma FA.

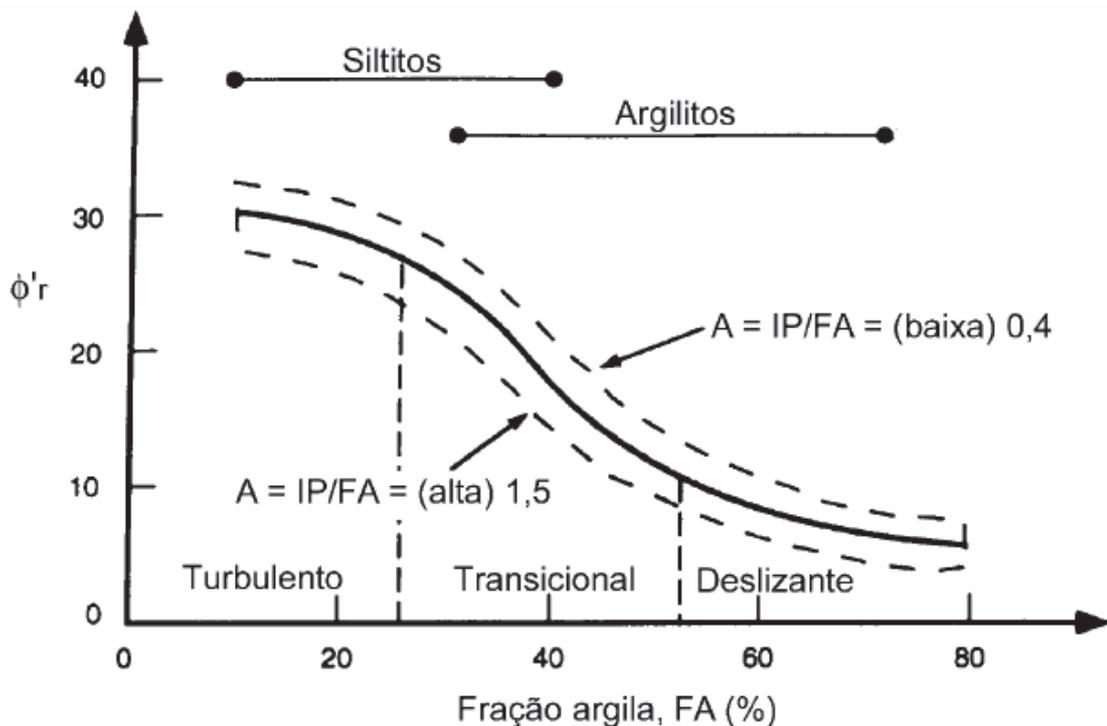


Figura 18. Variação do Φ'_r em função da mineralogia do solo (MITCHELL, 1993 apud RIGO, 2005).

Stark e Eid (1994) correlacionaram a não linearidade da envoltória de resistência ao cisalhamento residual em função do LL, FA e da σ'_n . Conforme os autores, os parâmetros refletem de maneira adequada, a mineralogia do solo, o teor de partículas de tamanho argila e a variação da resistência ao cisalhamento residual com o nível de tensões. Neste contexto, verifica-se a tendência de diminuição de Φ'_r com o aumento de LL, da FA e da σ'_n .

De acordo com Martinello *et al.* (2004), tais correlações podem ser aceitáveis para um particular depósito de solo desde que as variações na forma das partículas, granulometria, mineralogia e composição química da água dos poros sejam adequadamente refletidas.

2.3.3 Ensaio de laboratório

Os ensaios de laboratório normalmente utilizados para determinação da resistência residual são os de cisalhamento direto especiais, ensaios triaxiais e os de cisalhamento por torção, do tipo *ring shear*. Sendo este último considerado mais adequado para determinação desta propriedade, uma vez que permite o cisalhamento contínuo, em uma única direção, quando imposto a grandes deslocamentos, bem como a não variação da área da amostra durante o ensaio (ANDERSON e HAMMOUD, 1988; KANJI, 1998).

Segundo Lupini *et al.* (1981), o *ring shear* consiste no equipamento de ensaio que exibe a menor ambiguidade de resultados.

2.3.3.1 Ensaio de cisalhamento direto especiais

Os ensaios de cisalhamento direto especiais consistem, basicamente, na utilização do equipamento convencional de cisalhamento direto aliado ao uso de diferentes procedimentos de execução de ensaio.

No ensaio de cisalhamento direto convencional, a amostra de solo é colocada no centro de uma caixa bipartida e sobre sua face superior se aplica a tensão normal desejada. Através da imposição de um deslocamento horizontal de uma das partes da caixa em relação à outra, com velocidade constante, são medidos: (1) a tensão tangencial até a ruptura no plano de cisalhamento imposta à amostra pela divisão da caixa; (2) o deslocamento horizontal entre as partes superior e inferior da caixa; e (3) o deslocamento vertical da amostra durante o ensaio, devido à variação volumétrica no cisalhamento. As Figuras 19 e 20 mostram, respectivamente, o equipamento de cisalhamento direto e o esquema geral do ensaio.

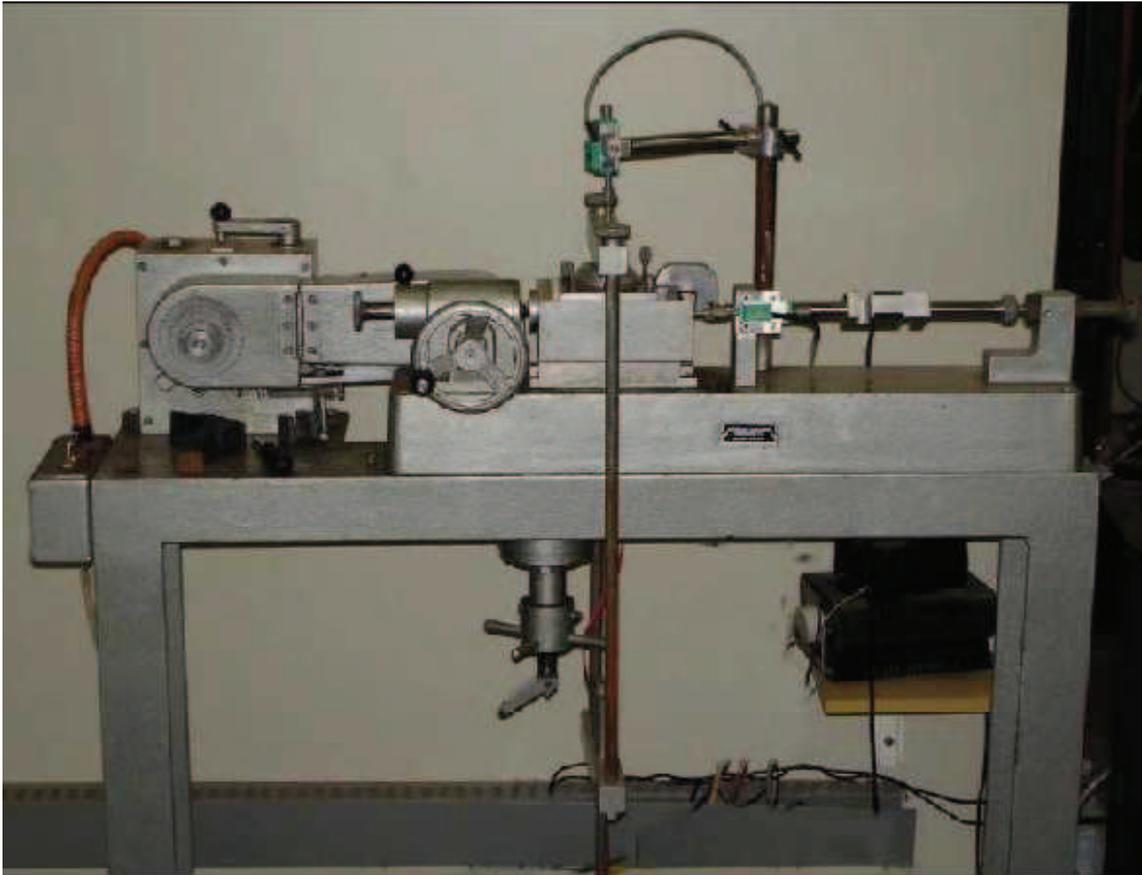


Figura 19. Equipamento de cisalhamento direto (HEIDEMANN, 2011).

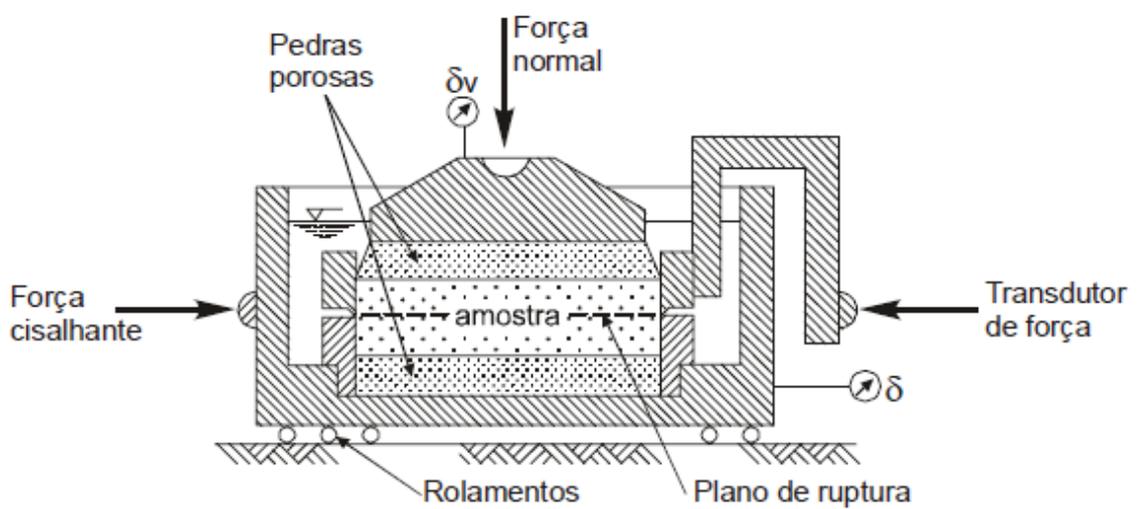


Figura 20. Esquema geral do ensaio de cisalhamento direto (LODI, 2007).

Neste item serão apresentados os ensaios de cisalhamento direto especiais mais utilizados.

Ensaio de cisalhamento direto com reversões múltiplas

Desenvolvido por Hvorslev (1960), o ensaio de cisalhamento direto com reversões múltiplas consiste basicamente em realizar o ensaio convencional e, depois de concluída essa etapa, retornar a caixa de cisalhamento a posição inicial e recomeçar a fase de cisalhamento.

Desta maneira, a segunda etapa apresentará valor de resistência ao cisalhamento de pico inferior ao da etapa anterior, seguido de queda progressiva de resistência para deslocamentos maiores. Este procedimento é realizado até que se atinja um valor constante de resistência ao cisalhamento, ou seja, a resistência ao cisalhamento residual.

Nesse contexto, o objetivo das reversões é conseguir alinhar as partículas lamelares do solo impondo um maior deslocamento do que o no ensaio convencional, criando uma superfície *slickensided*, diminuindo assim a resistência ao cisalhamento do solo à condição residual (LINHARES, 2011).

Apesar do ensaio de cisalhamento direto com reversões múltiplas ter a vantagem de necessitar de equipamentos mais simplificados em relação aos requeridos em ensaios *ring shear*, ele possui algumas desvantagens: a duração dos ensaios tende ser longa; apresenta picos de resistência a cada reversão, os quais são atribuídos à orientação das partículas de argila; e para um grande número de reversões pode ocorrer perda de solo e falta de paralelismo entre as caixas de cisalhamento, comprometendo assim, os resultados (KANJI e WOLLE, 1977).

Esse tipo de ensaio tem algumas limitações. A limitação primária é que o solo é cisalhado para frente e para trás, até que seja atinja o mínimo ou equilíbrio da resistência ao cisalhamento. Cada reversão da caixa de cisalhamento resulta em um deslocamento horizontal na ordem de 13 mm. Como consequência, a amostra não é submetida a uma deformação cisalhante contínua em uma direção e assim somente uma parcela da reorientação das partículas é obtida. Além disso, a área da seção transversal da amostra é alterada durante o cisalhamento e uma quantidade substancial de solo é normalmente extrudada para fora do plano de cisalhamento exposto durante o ensaio. Essas limitações resultam em uma resistência ao cisalhamento residual maiores que as obtidas a partir de ensaios por torção do tipo *ring shear* (STARK e EID, 1992).

Skempton (1964) apud Rigo (2005) realizou ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas para determinar a resistência ao cisalhamento residual de argilas pré-adensadas. O autor classificou estes ensaios como simples e satisfatórios na determinação da resistência ao cisalhamento residual de argilas indeformadas.

Conforme Bianchini (2000), as variações na realização do ensaio estão relacionadas com a presença ou ausência de carga durante a reversão e na medição ou não da resistência durante o retorno da caixa, além das diferenças do ensaio de cisalhamento direto convencional.

Ensaio de cisalhamento direto com plano de cisalhamento pré-cortado

Kenney (1967) introduziu a técnica de determinação da resistência ao cisalhamento residual utilizando uma amostra pré-cortada com fio de arame. Essa técnica consiste em introduzir a amostra na caixa de cisalhamento bipartida, mantendo-se um espaçamento de aproximadamente 1 mm entre as duas metades da caixa. Removidos os parafusos de fixação, um fio de arame era deslizado ao longo do espaçamento entre as metades da caixa. Formada a superfície de ruptura, o ensaio de cisalhamento direto era prosseguido da forma convencional. O objetivo desta técnica era atingir a resistência ao cisalhamento residual com um número menor de reversões.

Inicialmente, o autor realizou ensaios com amostras indeformadas, utilizando a técnica similar à utilizada por Borowicka (1965). A amostra era cisalhada sucessivamente em direções opostas, até que um valor mínimo e constante de resistência ao cisalhamento fosse atingido. No entanto, a superfície de ruptura formada durante o ensaio era irregular e estriada, influenciando na resistência da amostra às deformações. Para eliminar essa influência, o plano de cisalhamento das amostras foi cortado previamente à execução do ensaio. Assim, o valor da resistência ao cisalhamento residual obtido passou a ser mais regular.

Ensaio de cisalhamento direto com amostras de pequena altura

O ensaio de cisalhamento direto com amostras de pequena altura tem como objetivo mobilizar a resistência ao cisalhamento residual com deslocamentos menores em comparação as amostras com dimensões convencionais.

Kenney (1967) determinou a resistência ao cisalhamento residual de amostras remoldadas de pequena altura em ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas. As amostras ensaiadas pelo autor, com teor de umidade acima do LL, apresentavam altura inicial de 2 mm a 3 mm, e eram consolidadas no equipamento, entre duas pedras porosas, e posteriormente cisalhadas.

Chandler e Hardie (1989) realizaram um estudo mais aprofundado dessa técnica. Os autores realizaram ensaios de reversões múltiplas em amostras remoldadas de várias argilas. A espessura das amostras foi variada entre 1,5 mm e 10,0 mm. À medida que a espessura das amostras era reduzida, foi observada uma tendência de diminuição dos deslocamentos necessários para atingir a condição residual. Entretanto, espessuras inferiores a 2 mm apresentaram resultados insatisfatórios, sugerindo que esta deve ser a espessura mínima utilizada. A condição residual das amostras com espessura de 2,1 mm era geralmente atingida na terceira reversão, com deslocamentos de aproximadamente 17 mm. Os autores concluíram que quanto menor a espessura da amostra, mais concentrado é o deslocamento em uma única superfície de cisalhamento, fazendo com que a condição residual seja atingida a deslocamentos menores.

Ensaio de cisalhamento direto com interface lisa

O ensaio de cisalhamento direto com interface lisa é executado no equipamento convencional que permite, usualmente, deslocamentos da ordem de 8 a 12 mm, não requerendo reversões do deslocamento. Na caixa inferior do equipamento é instalado um bloco contendo no topo a superfície rígida, lisa e polida, que pode ser de rocha, argamassa, metal ou madeira. O ensaio é realizado da forma convencional, com o carregamento normal por etapas, adensamento do solo, seguido pela etapa de cisalhamento (KANJI, 1998). A Figura 21 apresenta o esquema da amostra no ensaio convencional e no ensaio com interface lisa.

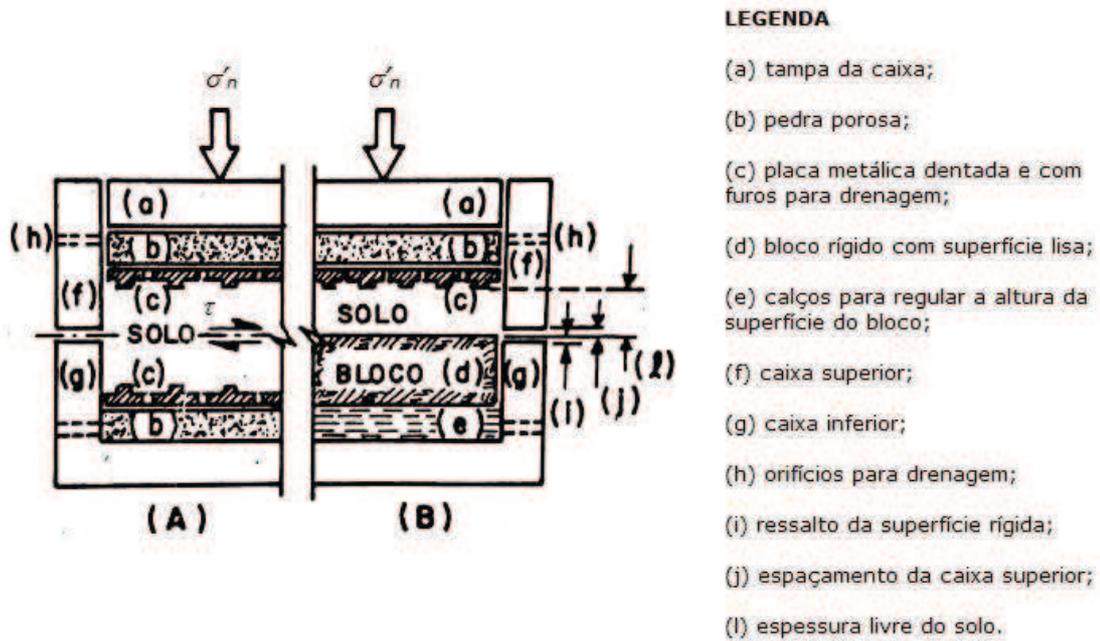


Figura 21. Montagem do ensaio de cisalhamento direto (A) convencional e (B) interface lisa (baseado em KANJI, 1998).

Kanji (1974a) apud Kanji e Wolle (1977) realizou ensaios de cisalhamento direto com interface lisa, utilizando amostras solo-rocha, a fim de comparar os valores de resistência ao cisalhamento residual obtidos no ensaio convencional e no ensaio proposto. Através dos ensaios, algumas diferenças foram evidenciadas no ensaio proposto: (1) o pico de resistência ao cisalhamento foi inferior e ocorreu a deslocamentos menores; (2) houve uma queda rápida na resistência após o pico, indicando que a superfície rígida tem papel fundamental na rápida orientação das partículas de argila; e (3) a resistência ao cisalhamento residual é obtida mesmo no deslocamento limitado permitido pelo ensaio convencional.

Kanji e Wolle (1977) com o intuito de investigar a influência da natureza da superfície rígida, executaram ensaios de interface lisa empregando os mesmos solos por Kanji (1974a), e substituindo a rocha por alumínio, aço e bronze. De acordo com os resultados, a resistência ao cisalhamento residual foi praticamente igual para todas as superfícies testadas, demonstrando que essa propriedade não é função da natureza da superfície (desde que seja quimicamente inerte), e sim da sua rugosidade e do tipo de solo. Além disso, a rugosidade média deve ser da ordem do tamanho máximo das partículas de argila.

Segundo Almeida *et al.* (1992), o ensaio de cisalhamento direto com interface lisa apresenta-se como uma alternativa para a obtenção da resistência ao cisalhamento residual de

solos, proporcionando resultados comparáveis aos obtidos com o equipamento de cisalhamento por torção tipo Bromhead (1979).

No entanto, conforme Linhares (2011), este tipo de ensaio, usualmente, apresenta menores valores de resistência ao cisalhamento residual, uma vez que mede a resistência da interface solo-rocha e não a resistência residual do solo em análise.

2.3.3.2 Ensaio triaxiais

Os ensaios triaxiais consistem na compressão axial de uma amostra cilíndrica de solo, onde é aplicada simultaneamente a pressão confinante por meio de uma contrapressão. O cilindro da amostra é envolto por uma membrana de borracha dentro da câmara triaxial, a qual é preenchida com água aplicando-se uma pressão confinante na amostra atuando em todas as direções. Nessas condições a tensão axial aplicada à amostra constitui a tensão maior (σ_1) e as tensões intermediária (σ_2) e menor (σ_3) se igualam à pressão de confinamento (SÁ, 2010; VICIELI, 2003). A Figura 22 apresenta o esquema geral da câmara triaxial.

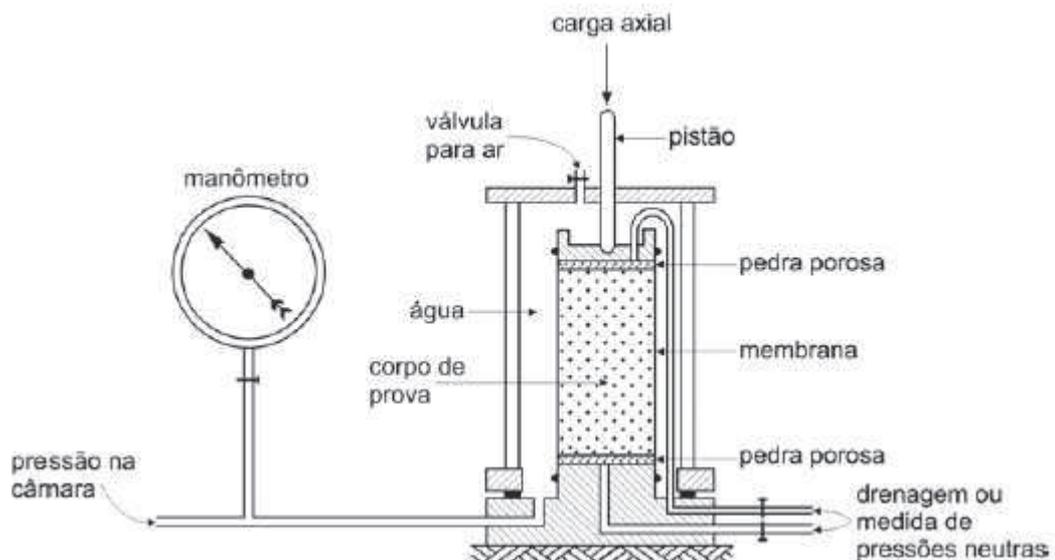


Figura 22. Esquema da câmara de ensaio triaxial (BUENO e VILAR, 2003).

No ensaio triaxial, é possível controlar as drenagens e poro-pressões, obtendo-se assim, parâmetros efetivos mesmo em ensaios em que haja o desenvolvimento de poro-

pressões. Além do mais, através da aplicação de contrapressão, se garante a saturação da amostra, mesmo em solos pouco permeáveis, o que resulta em dados precisos de variação volumétrica ou de níveis de poro-pressão (CRAIG, 2004 apud HEIDEMANN, 2011).

Os ensaios triaxiais podem prover resultados satisfatórios na determinação da resistência ao cisalhamento residual de solos menos coesivos e com baixa plasticidade, onde a menor não uniformidade na condição de tensão pode permitir que o plano de ruptura se desenvolva para pequenas deformações. No entanto, este ensaio é raramente utilizado na determinação da resistência ao cisalhamento residual de solos com alta plasticidade, uma vez que as deformações para atingir a condição residual são muito elevadas. Outras desvantagens incluem as correções que devem ser feitas devido aos efeitos da membrana que envolve a amostra, à variação da área transversal do plano de ruptura, e à componente horizontal de carga se o cabeçote é incapaz de movimentos laterais. Assim, a condição residual desses solos por ser obtida usando amostras com superfícies de ruptura naturais e bem definidas, ou criando um plano de cisalhamento pelo corte da amostra com fio de arame (BOSDET, 1980; WATRY e LADE, 2000).

Skempton (1964) apud Rigo (2000) realizou ensaios triaxiais em amostras da argila *Walton's Wood* com superfície de ruptura em campo. As amostras foram preparadas de modo que a superfície de cisalhamento ficasse inclinada 50° em relação à horizontal. Os valores de resistência ao cisalhamento residual obtidos foram similares aos valores obtidos através de ensaios de cisalhamento direto com reversões múltiplas em amostras indeformadas.

Chandler (1966) apud Rigo (2000) realizou ensaios triaxiais para determinação da resistência ao cisalhamento residual de amostras com superfície de cisalhamento pré-cortada do solo *Keuper Marl*. A velocidade de deformação aplicada foi $0,0025\%$ / min. O autor relatou a possibilidade de realização de ensaios triaxiais em multiestágio para a determinação da envoltória de resistência ao cisalhamento residual. Os resultados indicaram um Φ'_r de $27,5^\circ$ para o solo investigado, consistente com a correlação entre Φ'_r e FA apresentada por Skempton (1964).

2.3.3.3 Ensaios de cisalhamento por torção (*ring shear*)

O ensaio do tipo *ring shear* é um ensaio de cisalhamento realizado até deslocamentos horizontais bem superiores aos usualmente obtidos com ensaios de cisalhamento direto, onde

se busca identificar a resistência ao cisalhamento do material após a formação de um plano de cisalhamento bem definido (CASAGRANDE e CONSOLI, 2004).

Ensaio de cisalhamento por torção do tipo *ring shear* são formados por uma amostra anelar, a qual pode ser indeformada ou remoldada. Esta amostra é confinada lateralmente e submetida a uma tensão normal constante, sendo a ruptura causada no plano de movimento de rotação relativo. A Figura 23 apresenta a amostra de solo e sua superfície de cisalhamento.

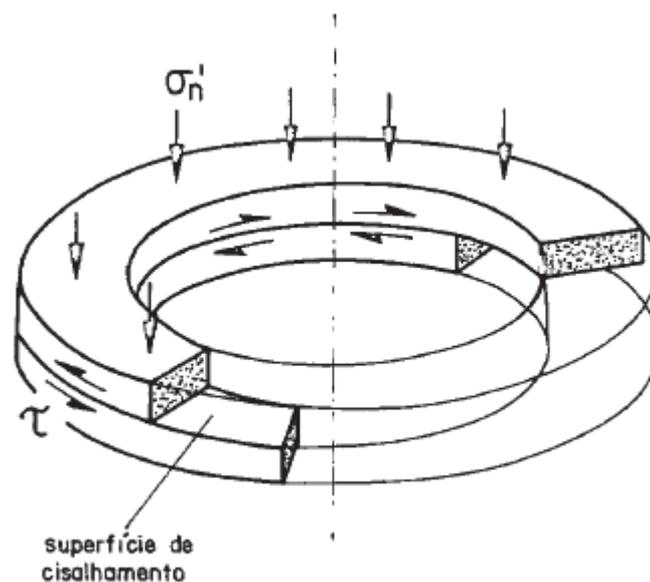


Figura 23. Amostra de ensaio *ring shear* (BISHOP *et al.*, 1971).

A principal vantagem desse tipo de equipamento é que o cisalhamento do solo é contínuo em uma direção para qualquer magnitude de deslocamento. Isso permite a orientação completa das partículas paralelas à direção de cisalhamento e desenvolve a condição real da resistência ao cisalhamento residual. Outras vantagens incluem: área da seção transversal do plano de cisalhamento durante o ensaio é constante; amostra fina, o que permite uma consolidação mais rápida e a utilização de uma taxa de deslocamento mais rápida; resultados mais reprodutíveis; menos supervisão laboratorial do que quando são executados ensaios de cisalhamento direto convencionais (STARK e EID, 1992).

Por outro lado, as principais desvantagens da maioria dos equipamentos de *ring shear* são: dificuldade na construção e operação; duração dos ensaios tende ser longa; altas concentrações de deformação pontuais; incertezas quanto à direção das tensões principais;

dificuldade em minimizar o atrito do metal e a perda de solo durante o cisalhamento (BISHOP *et al.*, 1971).

Skempton (1985) comparou dados de resistência residual obtidos por retro-análise de pequenos deslizamentos com resultados obtidos em ensaios de cisalhamento direto com interface lisa e *ring shear*. Ele observou que os resultados obtidos pelo ensaio *ring shear* tendem a subestimar os valores de ângulo de atrito residual em campo em torno de 1 a 5°.

Bromhead e Dixon (1986) afirmam que quando uma grande quantidade de dados é levada em consideração, as diferenças notadas por Skempton (1985) desaparecem, e os resultados de *ring shear* e de retro-análise se tornam muito mais comparáveis. Além disso, Hutchinson *et al.* (1980) também encontraram uma excelente correlação entre ensaio *ring shear* e retro-análise, uma vez que a investigação do local e os dados históricos foram propriamente obtidos.

Equipamentos do tipo ring shear

O equipamento *ring shear* foi desenvolvido com o objetivo de superar algumas limitações apresentadas pelo ensaio de cisalhamento direto na determinação da resistência ao cisalhamento residual. Os primeiros equipamentos para realização de ensaios de cisalhamento por torção foram desenvolvidos a partir da década de 1930 por Gruner e Haefeli (1934), Cooling e Smith (1935), e Hvorslev (1937), (BISHOP *et al.*, 1971).

Hvorslev (1937) apud Vasconcelos (1992) realizou os primeiros ensaios de cisalhamento por torção com amostras remoldadas de solos coesivos, enquanto que, Tiedmann (1937) apud Bishop *et al.* (1971) realizou os primeiros ensaios em amostras indeformadas.

Em 1939, Hvorslev fez uma descrição geral dos equipamentos existentes até aquele momento, assinalando as vantagens e desvantagens, e conclui que o ensaio de *ring shear* era o mais adequado na determinação da resistência ao cisalhamento residual. Outros equipamentos foram desenvolvidos nas décadas de 1940, 1950 e 1960. Porém, suas limitações impediram que se propagassem no meio técnico.

O interesse pelo estudo da resistência ao cisalhamento residual em solos foi retomado em 1964, quando Skempton em sua *Rankine Lecture* apresentou o significado prático da resistência ao cisalhamento residual nos fenômenos de ruptura progressiva e na análise da

estabilidade de taludes com deslizamento reativos. O autor mostrou que ao longo do tempo, os taludes rompidos tinham parâmetros retro-analisados correspondentes aos da resistência residual. Em seguida, Skempton e Petley (1967), demonstraram que o conceito de resistência ao cisalhamento residual era também válido para as descontinuidades das argilas fissuradas, sendo que para deslocamentos muito pequenos a resistência desses planos já era reduzida ao valor residual (VASCONCELOS, 1992; KANJI, 1998).

Posteriormente, La Gatta (1970) apresentou que a extrusão de solo do limite periférico da amostra pode introduzir um erro na medida do momento devido à redistribuição da tensão vertical na amostra. Essa perda de solo causa uma σ'_n menor na região periférica se for utilizada uma amostra em forma de disco. Assim, para eliminar esse erro o autor desenvolveu um novo equipamento de cisalhamento por torção, denominado “*Harvard rotation shear machine*”. Este equipamento permite ensaiar amostras em forma de discos de solo, com diâmetro de 71,1 mm, ou em forma de anéis de solo, com diâmetro externo de 71,1 mm e diâmetro interno de 50,8 mm. A espessura da amostra pode ser variada entre 1 mm e 25 mm, e a velocidade do ensaio entre 5,6 mm/min e 0,0056 mm/min. La Gatta (1970) observou que o erro de medida pode ser eliminado virtualmente quando a amostra anular possui uma relação entre o raio do anel interno e o raio do anel externo maior que 0,7 (EID, 1996; RIGO, 2000).

Bishop *et al.* (1971) desenvolveram um novo equipamento *ring shear* em trabalho conjunto do *Imperial College of Science and Technology* de Londres e do *Norwegian Geotechnical Institute*. No equipamento desenvolvido, foram resolvidos os problemas de atrito metal-metal, introduzindo folga entre os anéis de confinamento, mas não foi possível simplificar o equipamento e sua operação. O ensaio *ring shear* consiste basicamente no cisalhamento de uma amostra em formato anelar, de maneira que os deslocamentos podem ser aplicados continua e indefinidamente em uma única direção, favorecendo o alinhamento de partículas argilosas e com isso a obtenção da resistência ao cisalhamento residual. A amostra de solo possui 152 mm de diâmetro externo, 102 mm de diâmetro interno e altura inicial de 19 mm, podendo ser submetida a uma tensão normal máxima de 980 kPa e a uma tensão cisalhante máxima de 460 kPa.

Neste ensaio, a amostra de solo é confinada lateralmente entre anéis concêntricos (anéis de confinamento), e verticalmente entre uma pedra porosa e um anel superior, que transmite o carregamento vertical aplicado à amostra (Figura 24). A célula contendo a amostra pode ser submersa em água durante o ensaio, para que as deformações causadas pelo adensamento sejam desprezíveis. A base do equipamento é composta por duas colunas rígidas

de aço que dão reação ao braço de torque e suportam a barra horizontal que carrega o mecanismo de levantamento do anel de carregamento superior. O anel de carregamento inferior é fixado à base, que gira com o auxílio de um motor elétrico que possui uma unidade de engrenagens de velocidade variável. Nesse sentido, a rotação é imposta ao anel de carregamento inferior enquanto o anel de carregamento superior é impedido de rotacionar. Durante o ensaio são medidos o deslocamento angular, a força e o deslocamento vertical. Para tanto, o equipamento possui duas células de carga para a medição do torque, dois LVDTs para a medição da inclinação da amostra durante o cisalhamento e um anel dinamométrico para a medição do atrito vertical lateral. A abertura dos anéis de confinamento da amostra e o ângulo de rotação são as únicas grandezas lidas diretamente no equipamento, através de um relógio comparador e um paquímetro que mede deslocamentos angulares. As Figuras 25 e 26 apresentam, respectivamente, o equipamento descrito por Bishop *et al.* (1971) e o esquema geral do equipamento. As Figuras 27, 28 e 29 ilustram o detalhamento do equipamento.

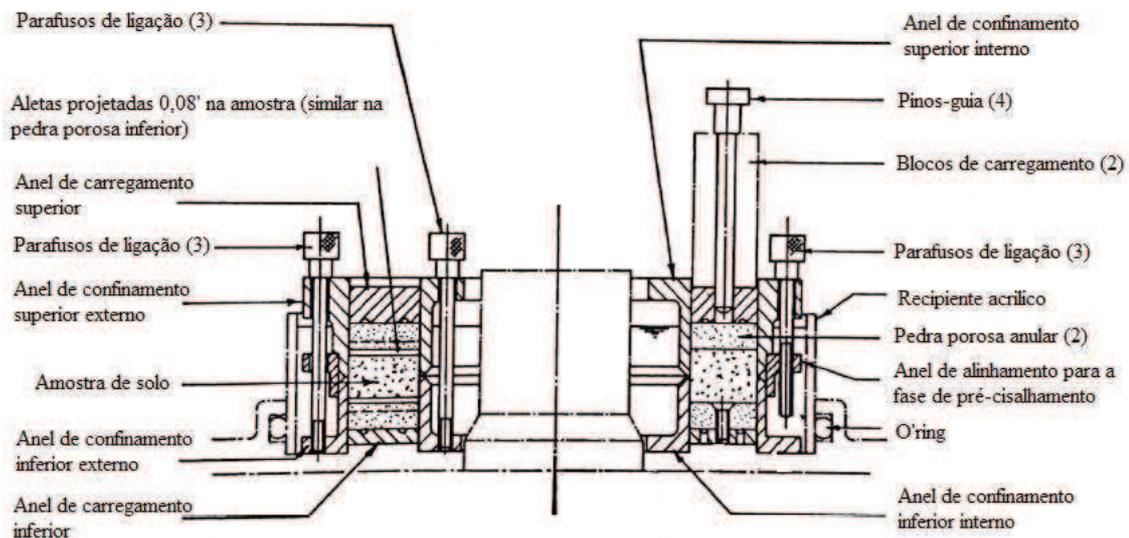


Figura 24. Detalhamento da célula da amostra do equipamento *ring shear* (BISHOP *et al.*, 1971).



Figura 25. Visão geral do equipamento *ring shear* de Bishop *et al.* (1971) (CASAGRANDE, 2005).

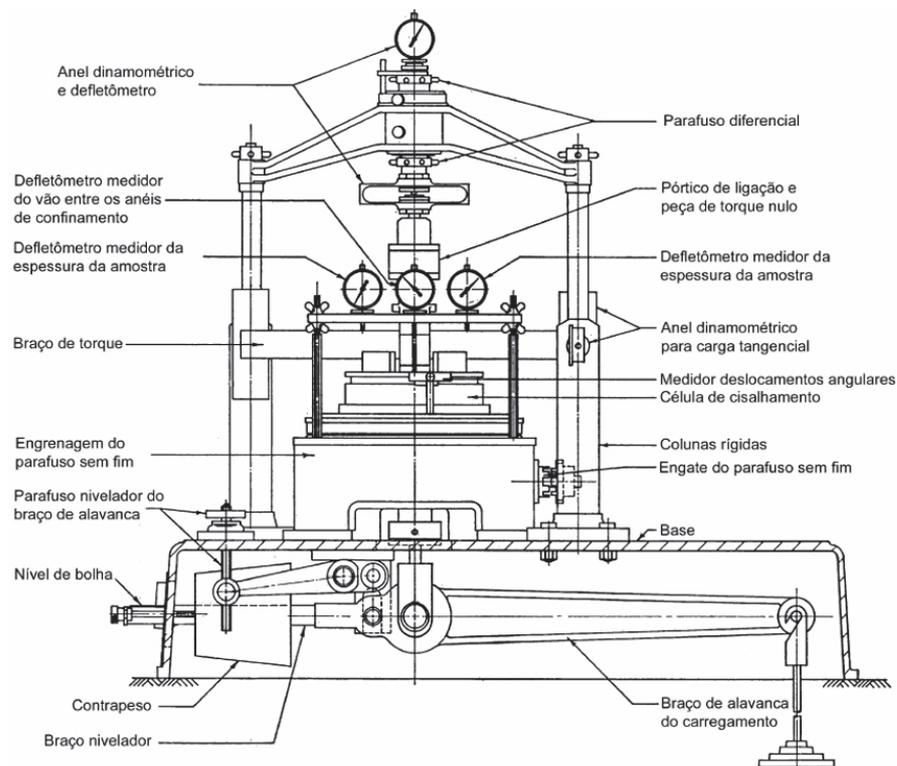


Figura 26. Visão esquemática do equipamento *ring shear* (BISHOP *et al.*, 1971).

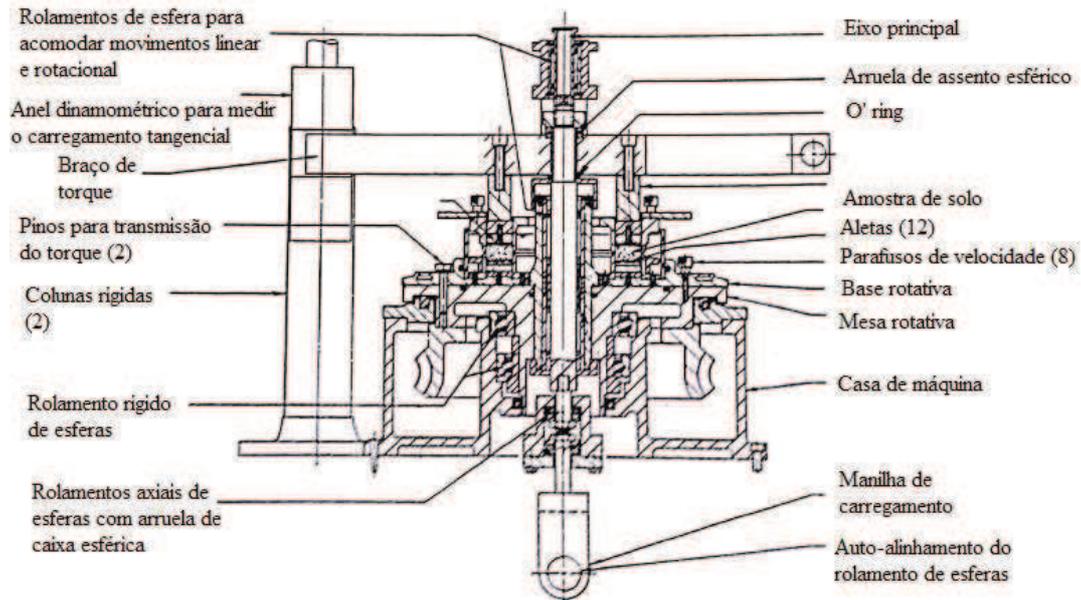


Figura 27. Seção longitudinal do equipamento *ring shear* mostrando o dispositivo de carregamento e o braço de torque (BISHOP *et al.*, 1971).

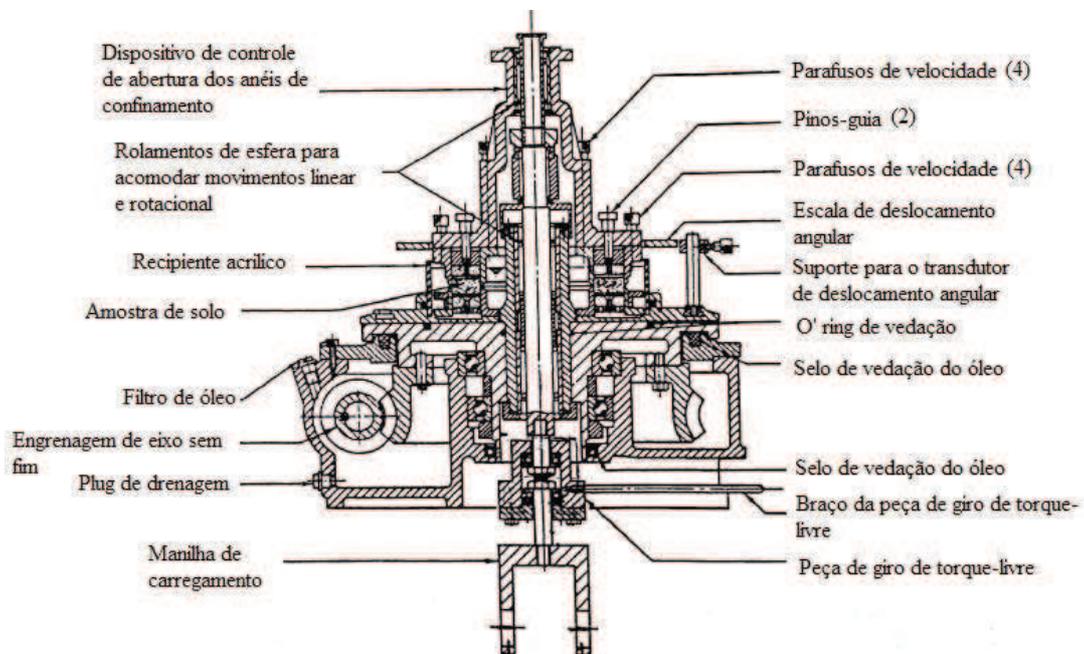


Figura 28. Seção transversal mostrando o dispositivo de controle de abertura dos anéis de confinamento (BISHOP *et al.*, 1971).

Na tentativa de solucionar as desvantagens do equipamento de Bishop *et al.* (1971) e viabilizar um *ring shear* para fins comerciais, Bromhead (1979) desenvolveu na *Kingston Polytechnic* um equipamento mais simplificado. Este ensaia amostras anulares remoldadas ou reconstituídas confinadas radialmente entre anéis concêntricos. As amostras possuem altura inicial de 5 mm, diâmetro interno de 70 mm e diâmetro externo de 100 mm. A superfície de cisalhamento forma-se junto ao topo da amostra, na interface entre a amostra e o anel poroso do cabeçote (RIGO, 2000). As Figuras 29, 30 e 31 apresentam, respectivamente, o equipamento *ring shear* de Bromhead (1979), o aspecto geral da célula da amostra e o detalhamento do equipamento.



Figura 29. Visão geral do equipamento *ring shear* de Bromhead, 1979 (RIGO, 2005).

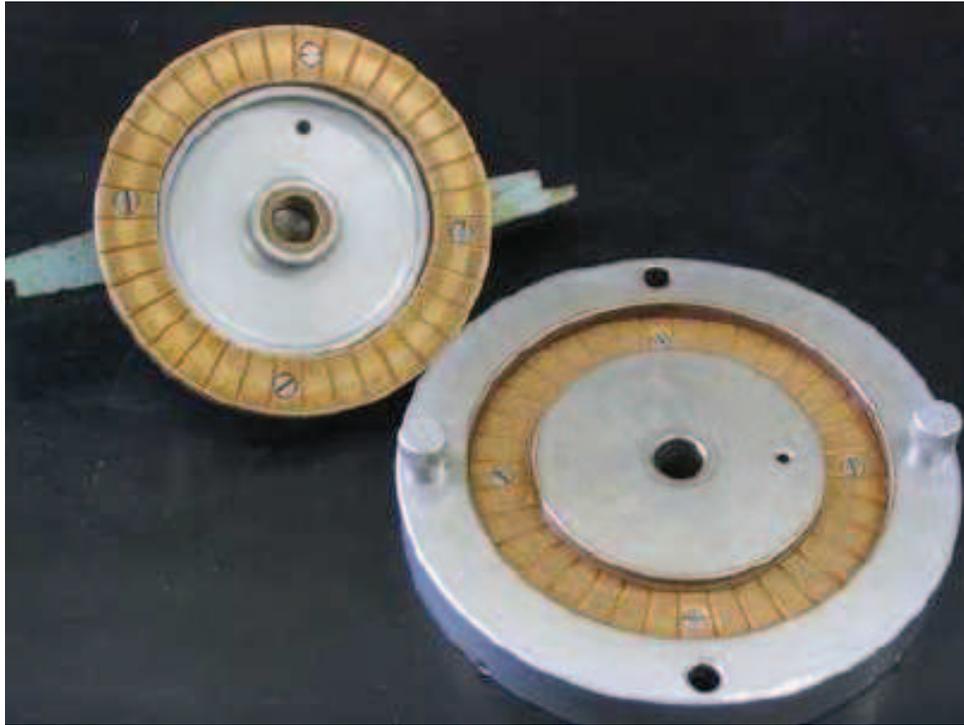
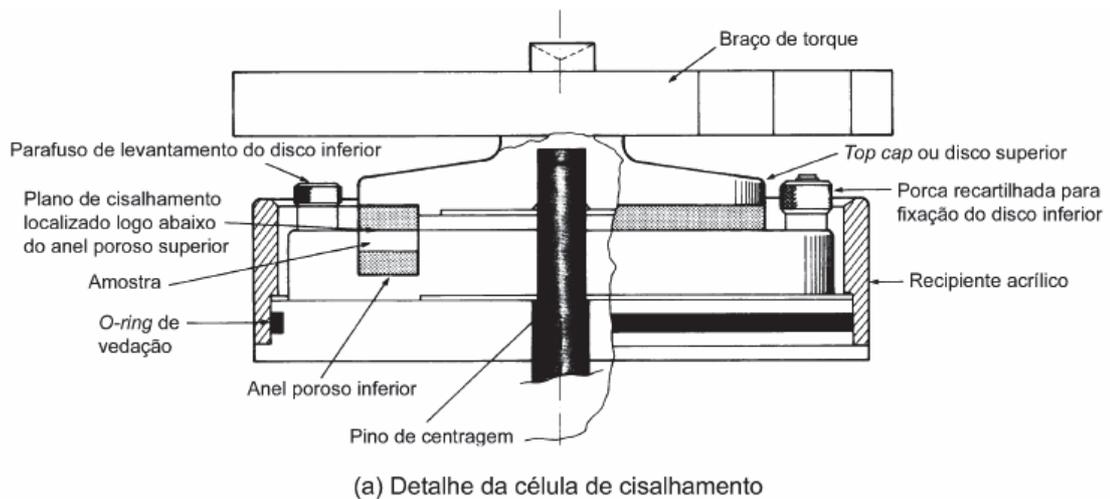


Figura 30. Aspecto geral da célula da amostra do *ring shear* de Bromhead, 1979 (RIGO, 2005).



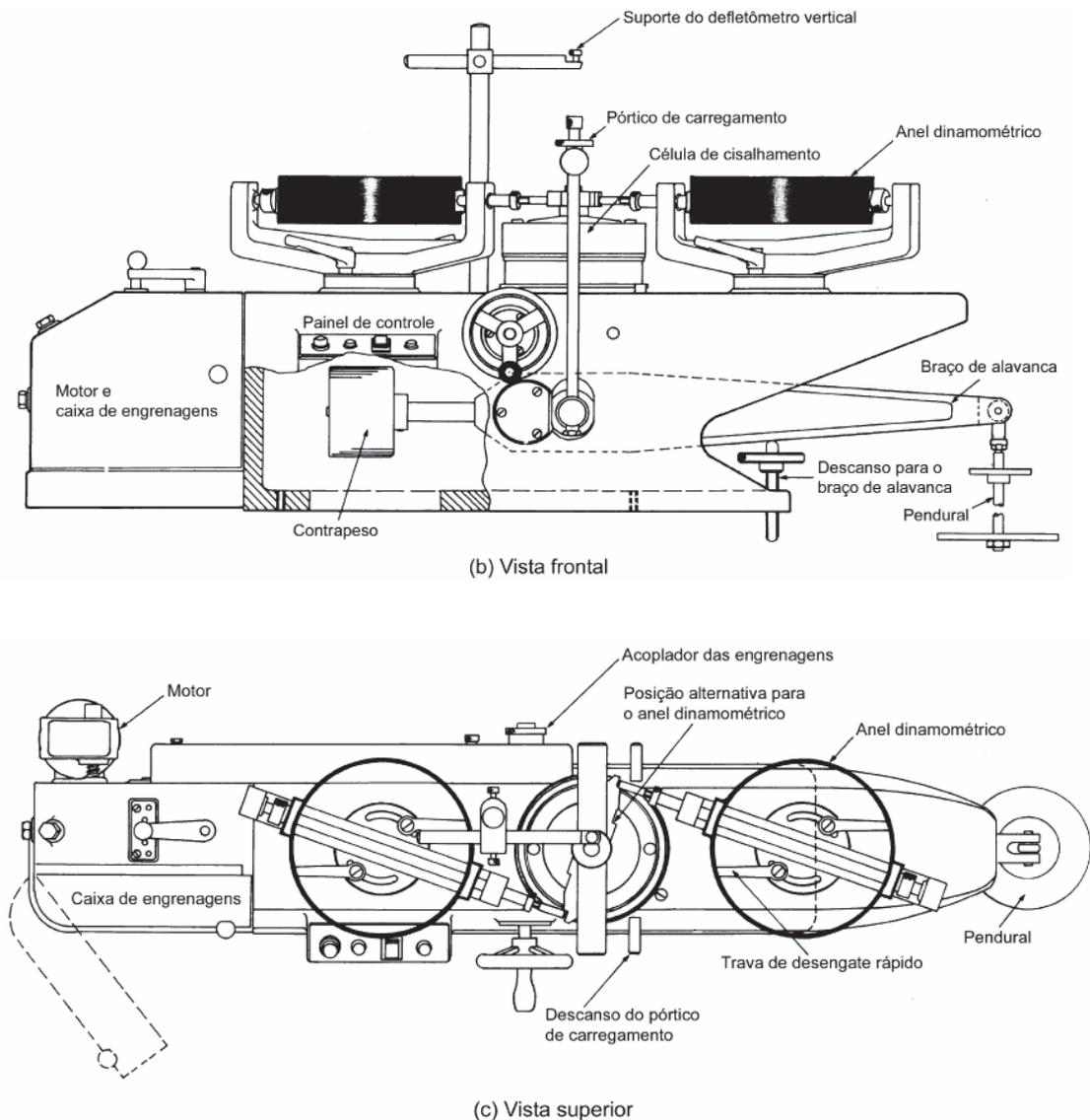


Figura 31. Detalhamento do equipamento *ring shear* de Bromhead, 1979 (RIGO, 2005).

No entanto, o equipamento de Bromhead (1979) possui limitações quanto ao tamanho máximo das partículas presentes na amostra, adequando-se melhor na obtenção da resistência ao cisalhamento residual de solos que passam na peneira #40 (abertura de malha de 0,425 mm). O tamanho máximo permitido pela norma ASTM D 6467-99 (ASTM, 1999) é de 0,5 mm e pela norma BS 1377-90 (BSI, 1990) é de 1,18 mm. Os resultados ensaiados com este equipamento apresentaram boa concordância quando comparados com o equipamento de cisalhamento por torção tipo Bishop *et al.* (1971) e com o equipamento de cisalhamento direto com reversões (ALMEIDA *et al.*, 1992). Quando carregada, a amostra inicialmente se adere ao anel superior de bronze sinterizado. Ao se impor uma rotação com velocidade constante a

parte inferior da célula, onde a amostra é moldada, forma-se uma superfície de cisalhamento próxima ao anel superior. O torque no equipamento é medido por um par de anéis dinamométricos. Tsiambaos (1991) relata algumas limitações: utilização de apenas amostras remoldadas, obtendo apenas a resistência residual, além disso, amostras muito plásticas tendem a uma perda maior de solos para fora do anel durante o ensaio.

Anayi *et al.* (1989) apresentaram algumas modificações realizadas no *ring shear* de Bromhead (1979). A fim de melhorar a transmissão de torque à amostra, os autores incorporaram 24 pequenas palhetas de aço inoxidável aos anéis porosos que confinam o corpo de prova na base e no topo. Desta maneira, a amostra passou para 10 mm, resultando um aumento no tempo de drenagem e de dissipação da poro-pressão. Além disso, o formato do braço de torque passou de reto para côncavo, o que permitiu o aumento na espessura da amostra. Assim, através das modificações realizadas, a superfície de cisalhamento do ensaio passou a ser formada no centro do corpo de prova. A Figura 32 ilustra a célula da amostra antes e depois das modificações propostas pelos autores.

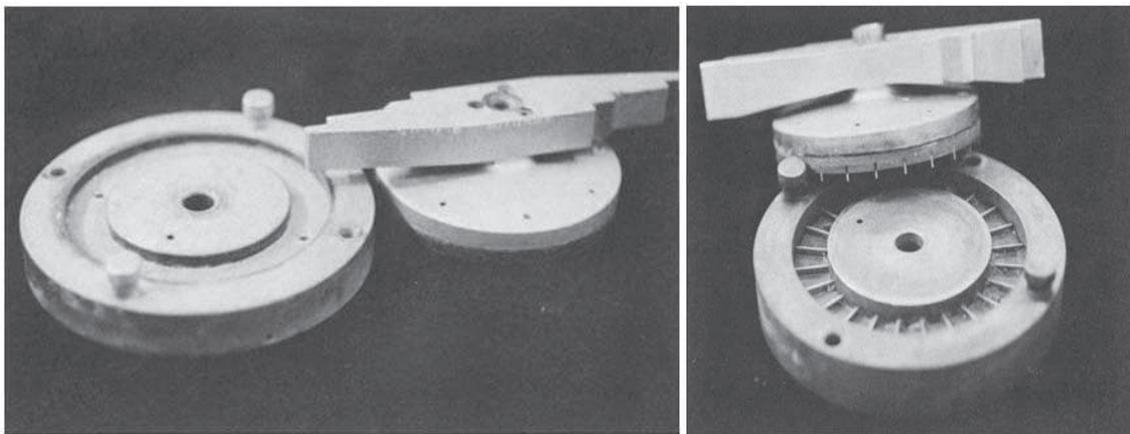


Figura 32. Célula da amostra do equipamento *ring shear* de Bromhead (1979), (a) célula original e (b) célula modificada (ANAYI *et al.*, 1989).

Vasconcelos (1992), ao realizar ensaios *ring shear* em misturas caulim e bentonita com o equipamento de Bromhead (1979), verificou que o momento torsor medido na condição residual era oscilante. A causa desta oscilação era o atrito entre a borda externa do anel poroso superior e a torre rotatória. A fim de minimizar este atrito, a autora realizou as seguintes modificações no equipamento: (1) remoção de 0,15 mm do raio externo do anel

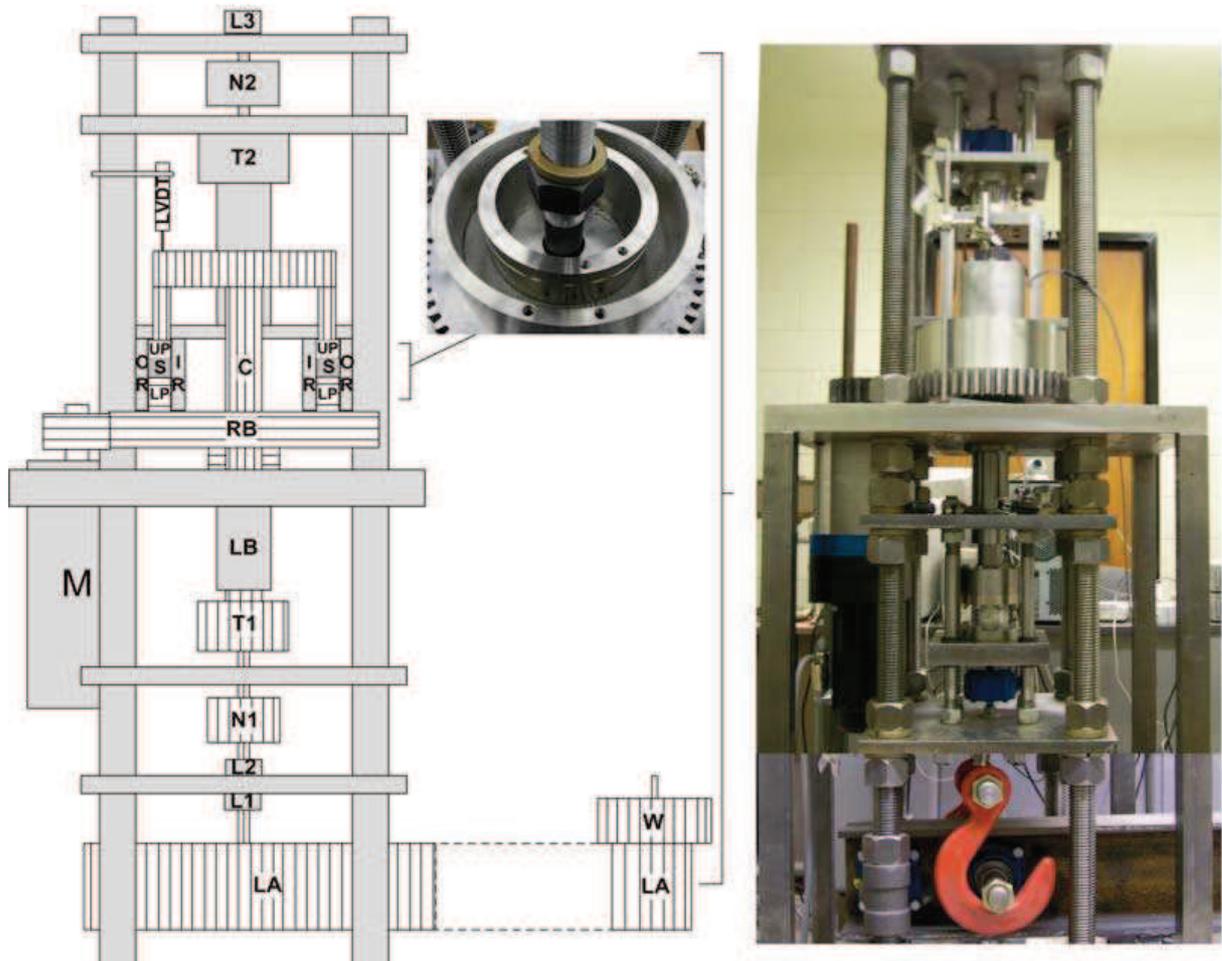
poroso superior; (2) embuchamento do encaixe do cabeçote, visando eliminar uma pequena folga existente entre este encaixe e o eixo central da torre; e (3) abertura de um furo no cabeçote para evitar a formação de um bolsão de ar entre o eixo central e o cabeçote, com o objetivo e facilitar a desmontagem do equipamento ao final do ensaio. Com estas modificações, o equipamento utilizado por Vasconcelos (1992) apresentou resultados de ensaios mais consistentes para as misturas estudadas.

Em 1992, Stark e Vettel observaram que as modificações propostas por Anayi *et al.* (1989), resultavam em valores de resistência ao cisalhamento residual maiores se comparados com os valores das retro-análises de alguns casos históricos. Conforme os autores, este aumento decorre do acréscimo de atrito nas paredes da célula de cisalhamento, desenvolvido pelo plano de ruptura formado na parte inferior das palhetas ao invés da interface entre solo e pedra porosa. Logo, com o intuito de resolver este problema, Stark e Vettel (1992) sugeriram um procedimento de ensaio, o qual consiste na adição de solo remoldado e na reconsolidação do corpo de prova para aumentar a sua espessura antes da etapa de cisalhamento. Após a consolidação do solo seja obtida na tensão normal desejada, e o topo do corpo de prova coincida com o plano correspondente ao topo da célula de cisalhamento, a amostra é cisalhada aplicando uma taxa de deslocamento até que a condição de resistência ao cisalhamento residual seja obtida. Desta forma, o ensaio limita o recalque total a 0,75 mm, devido à consolidação e/ou extrusão do solo durante o cisalhamento, resultando na redução do atrito do solo com as paredes da célula de cisalhamento. No entanto, este procedimento de ensaio apresenta como principal desvantagem o tempo necessário para obter uma envoltória de resistência, especialmente em altas tensões normais, onde o solo deve ser preenchido e consolidado várias vezes. Além disso, apenas um ensaio pode ser realizado por corpo de prova, sendo que não há formação da superfície de ruptura antes do início do cisalhamento.

Nesse sentido, Stark e Eid (1993) e Eid (1996) propuseram uma nova célula de cisalhamento que permite que amostras remoldadas sejam pré-adensadas e pré-cisalhadas antes da fase de cisalhamento, reduzindo significativamente os valores de recalque do corpo de prova. A fase de pré-cisalhamento da amostra, permite reduzir os deslocamentos horizontais necessários para atingir a condição de resistência ao cisalhamento residual. Este procedimento de ensaio possibilita a realização de ensaios multiestágio, diminuindo o tempo necessário para se obter a envoltória de resistência ao cisalhamento residual de um solo, bem como, fornece uma melhor representação das condições de campo em laboratório.

Esser (1996) apud Bianchini (2000) parafusou um par de anéis extensores na torre rotatória do equipamento *ring shear* descrito por Bromhead (1979). Os anéis permitem preparar a amostra com uma sobre-altura. Após a fase de adensamento, os anéis são removidos e a amostra rasada na espessura desejada. Nesse caso, o equipamento original de Bromhead (1979) não foi modificado, o que constitui na principal vantagem desta técnica.

Sadrekarimi e Olson (2009) desenvolveram um equipamento *ring shear*, na Universidade de Illinois, com o objetivo de estudar o comportamento de areias submetidas a grandes deslocamentos, tanto em condições de volume constante quanto em condições drenadas. Para tanto o novo equipamento: (1) reduz as não uniformidades de tensão e deformação pela otimização dos diâmetros interno e externo da amostra; (2) reduz a extrusão de areia utilizando um anel de confinamento sólido e anéis nas costuras; (3) ensaia amostras sob condições de volume constante para evitar as complexidades de ensaios não drenados no equipamento *ring shear*; e (4) mede o atrito lateral vertical usando células de carga e torque separadamente. O princípio de funcionamento é parecido com o *ring shear* do tipo Bishop *et al.* (1971), a parte superior da amostra fica estática enquanto a parte inferior rotaciona. Depois de aplicada a tensão normal desejada e ocorrer a consolidação da amostra, o cisalhamento pode ser realizado tanto em condições drenadas quanto em volume constante. A amostra de solo possui 203 mm de diâmetro interno, 269 mm de diâmetro externo e 26 mm de altura inicial, podendo ser submetida a uma tensão normal máxima de 700 kPa. A Figura 33 apresenta o equipamento desenvolvido pelos autores.



L3 = porca usada para levantar os anéis de confinamento; N2 = célula de carga superior; T2 = célula de torque superior; UP = disco anelar superior de carregamento; IR = anel de confinamento interno; S = amostra de solo; OR = anel de confinamento externo; LP = disco anelar inferior; RB = base rotativa; C = eixo central; LB = rolamento linear central; M = motor; T1 = célula de carga inferior; N1 = célula de carga inferior; L1, L2 = porcas de fechamento; LA = braço de alavanca; W = pesos mortos.

Figura 33. Equipamento desenvolvido na Universidade de Illinois (SADREKARIMI e OLSON, 2009).

Na Universidade do Estado de Iowa (EUA), foi construído um equipamento *ring shear* de grandes dimensões para o estudo da interface solo-geleira. A célula do equipamento, que contém o gelo, possui um tubo com fluido para manter temperatura da amostra. O disco superior rotaciona e, assim, arrasta o gelo sobre a camada é visível logo acima do tubo (IOWA STATE UNIVERSITY, 2012). A Figura 34 mostra o equipamento desenvolvido e o detalhamento da célula.

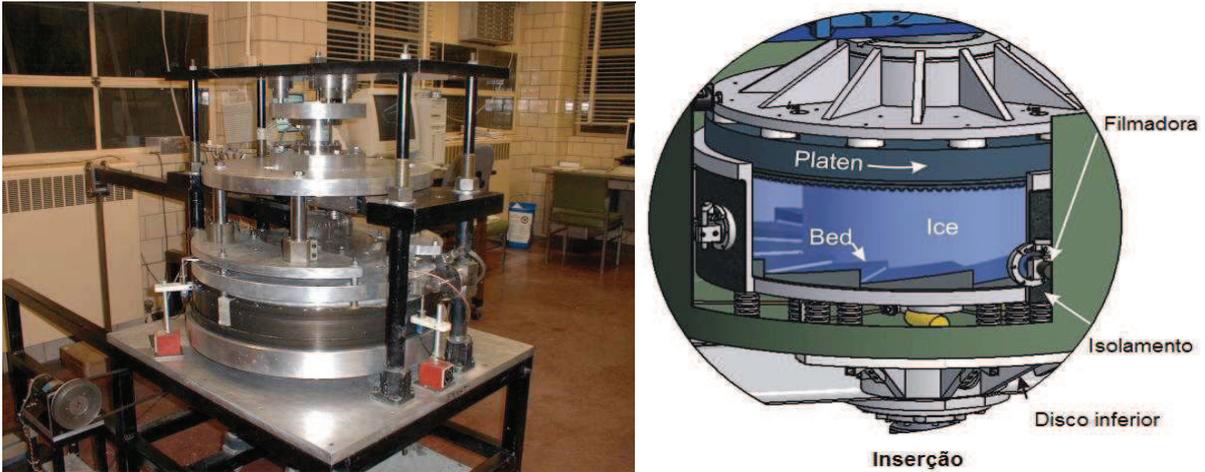


Figura 34. Equipamento desenvolvido na Universidade do Estado de Iowa (IOWA STATE UNIVERSITY, 2012).

Além disso, também está sendo desenvolvido na Universidade de Sydney, pelo pesquisador David Airey, um equipamento *ring shear* de grandes dimensões para investigar o comportamento de interfaces. O equipamento possui 1 m de diâmetro, sendo ideal para investigação do comportamento da quebra das partículas, uma vez que permite que a interface seja submetida a grandes deslocamentos. O projeto envolve a modificação do equipamento convencional a fim de possibilitar a visualização do solo e de uma série de ensaios com diferentes solos e materiais particulados. Isso permitirá acompanhar a evolução da peneiração da partícula, quantificar a quebra e o impacto desta na resposta mecânica, sendo assim melhor compreendida (THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2012).

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Resistência ao cisalhamento residual é a resistência mínima constante que o solo atinge a baixas taxas de cisalhamento quando submetido a grandes deslocamentos, sendo sua envoltória determinada pelo ângulo de atrito interno residual.

Essa propriedade do solo pode ser influenciada por diversos fatores, dentre os principais: composição mineralógica do solo, composição química da água dos poros, granulometria, índice de plasticidade, grau de intemperismo e procedimento de ensaio.

Segundo diversos autores, em geral, o ângulo de atrito interno residual diminui com o aumento do limite de liquidez, do índice de plasticidade, do teor de argila, do grau de intemperismo e com a presença de argilominerais expansivos. Além disso, quanto maior a concentração de íons na água dos poros maior será a resistência ao cisalhamento residual. Por

outro lado, vários autores comprovaram que a história de tensões, o estado inicial e a preparação da amostra, e a velocidade de cisalhamento não exercem influência significativa sobre a resistência ao cisalhamento residual.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual podem ser obtidos por correlações, ensaios de laboratório ou por retro-análises de rupturas ocorridas. Os ensaios de laboratório normalmente utilizados para determinação da resistência residual são os de cisalhamento direto especiais e os de cisalhamento do tipo *ring shear*.

Os ensaios de cisalhamento direto especiais consistem, basicamente, na utilização do equipamento convencional de cisalhamento direto aliado ao uso de diferentes procedimentos de execução de ensaio. Já os ensaios *ring shear* são formados, geralmente, por uma amostra confinada lateralmente e submetida a uma tensão normal constante, sendo a ruptura causada no plano de movimento de rotação relativo.

O ensaio *ring shear* é considerado mais adequado para determinação da resistência ao cisalhamento residual, uma vez que é realizado até deslocamentos horizontais bem superiores aos usualmente obtidos com ensaios de cisalhamento direto. Além disso, o cisalhamento do solo é contínuo em uma direção para qualquer magnitude de deslocamento, o que permite a orientação completa das partículas paralelas à direção de cisalhamento, desenvolvendo assim, a condição real da resistência ao cisalhamento residual.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os procedimentos adotados no desenvolvimento da pesquisa, apresentando o detalhamento do equipamento projetado.

O programa experimental é exposto no item 3.2 deste capítulo, compreendendo a descrição dos materiais utilizados no estudo, o método utilizado na preparação e moldagem da amostra e o procedimento de ensaio *ring shear*.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio Geotécnicos e Geoambientais (LEGG) e no Laboratório de Geotecnologia (LAGEOtec) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3.1 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO *RING SHEAR*

3.1.1 Considerações iniciais

O equipamento de cisalhamento torsional construído foi baseado no equipamento *ring shear* descrito por Bishop *et al.* (1971), o qual possui a vantagem de ensaiar amostras maiores que o equipamento convencional, tornando os resultados mais confiáveis e representativos do real comportamento dos materiais.

Este equipamento mostra-se adequado devido ao volume de material ensaiado ser maior do que quando comparado com os equipamentos convencionais de cisalhamento, e pela superfície e zona de cisalhamento se formarem no centro da amostra, permitindo assim uma melhor resposta dos parâmetros de cisalhamento que atuam entre as partículas de solo (CASAGRANDE e CONSOLI, 2004).

3.1.2 Princípio de funcionamento

Uma amostra anelar, confinada lateralmente, é submetida a uma tensão normal constante (σ'_n), sendo que a ruptura é causada no plano de movimento rotativo relativo, como

representado na Figura 23. Os anéis de confinamento inferiores são fixados à base rotativa, a qual é acionada por um conjunto de engrenagens de velocidade variável, acoplado a um sistema de redução de velocidade e a um motor de indução trifásico. A velocidade de cisalhamento do ensaio é controlada através do *software* de automação do equipamento, descrito no item 3.1.5.

Portanto, a ruptura da amostra ocorre uma vez que a parte inferior da amostra é submetida ao movimento rotacional, enquanto a parte superior é impedida de realizar o movimento.

Dessa forma, a base do equipamento é composta por duas colunas rígidas de aço que dão reação ao braço de torque, o qual carrega o mecanismo de aplicação de carga na amostra (blocos de carregamento). Nesse contexto, a carga normal é aplicada pelo eixo principal interno através de um braço de alavanca, e transferida para o braço de torque, sendo em seguida transmitida ao anel de carregamento superior.

O torque gerado durante o estágio de cisalhamento da amostra de solo é determinado através das células de carga localizadas entre o braço de torque e as colunas rígidas.

O esquema geral do equipamento é mostrado nas Figuras 35, 36, 37 e 38.

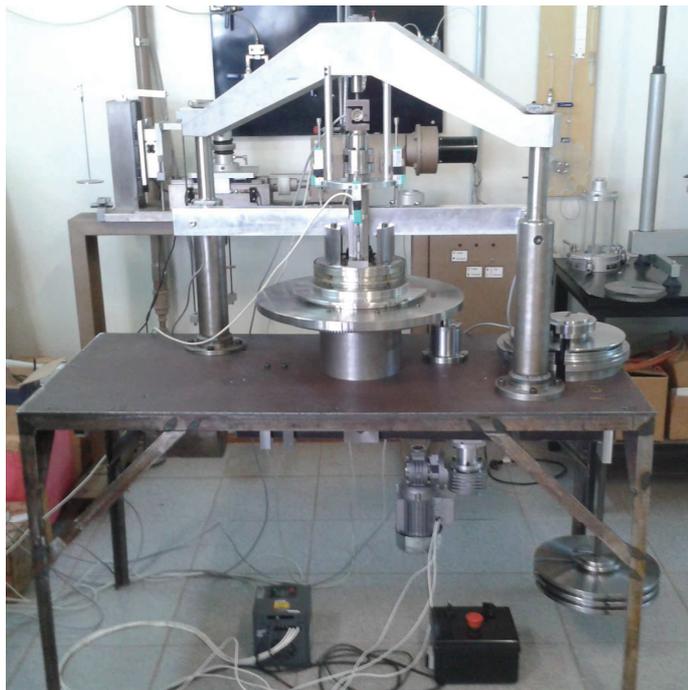


Figura 35. Aspecto geral do equipamento desenvolvido.

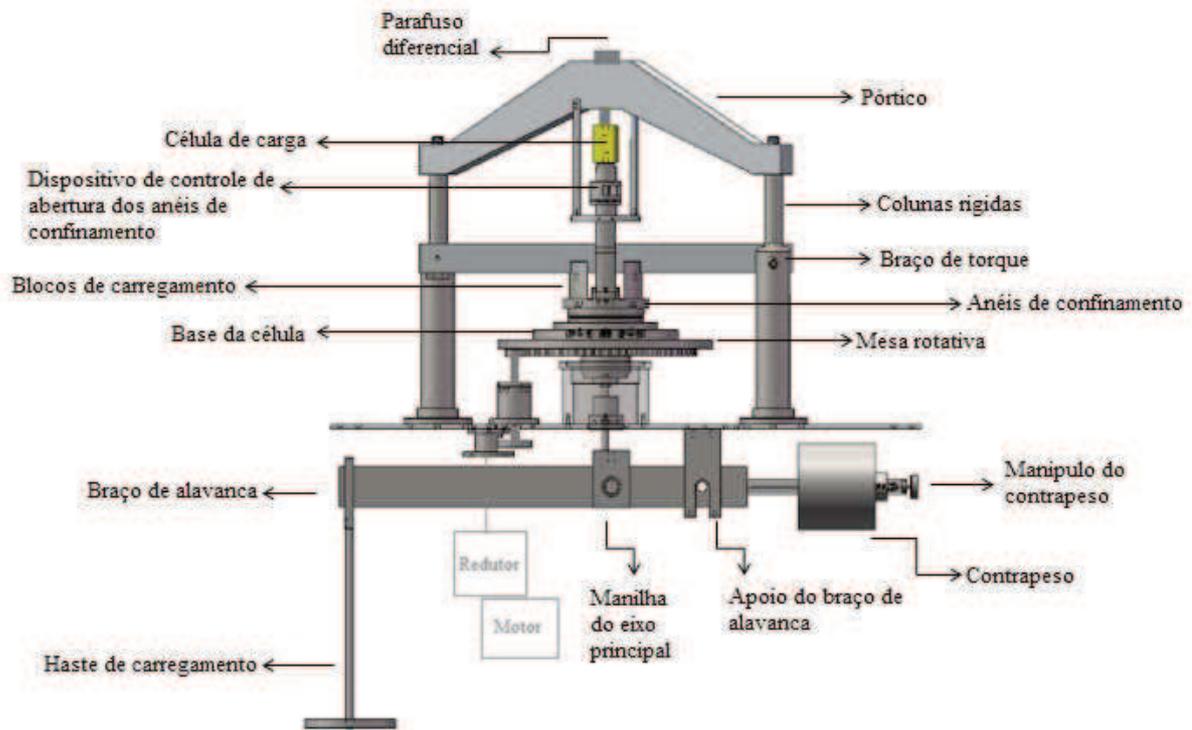


Figura 36. Esquema geral do equipamento desenvolvido.

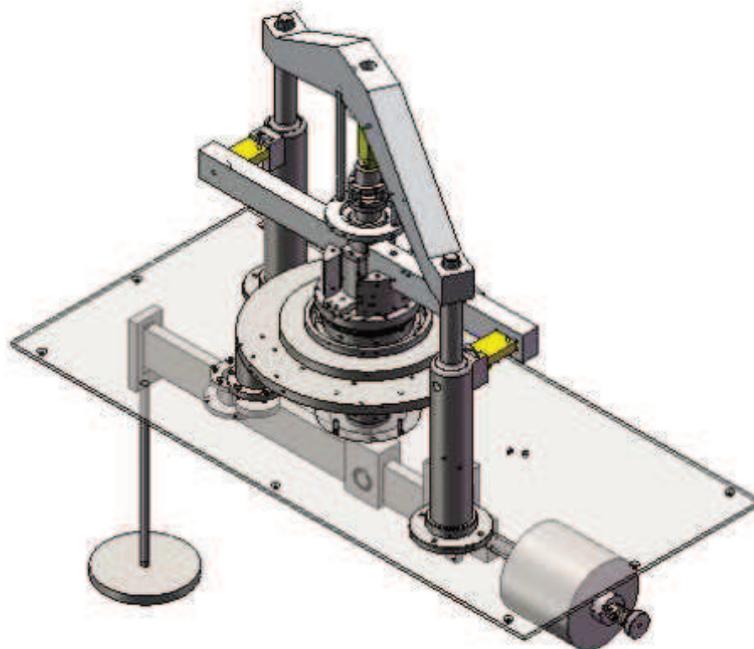


Figura 37. Esquema geral do equipamento desenvolvido, vista em perspectiva.

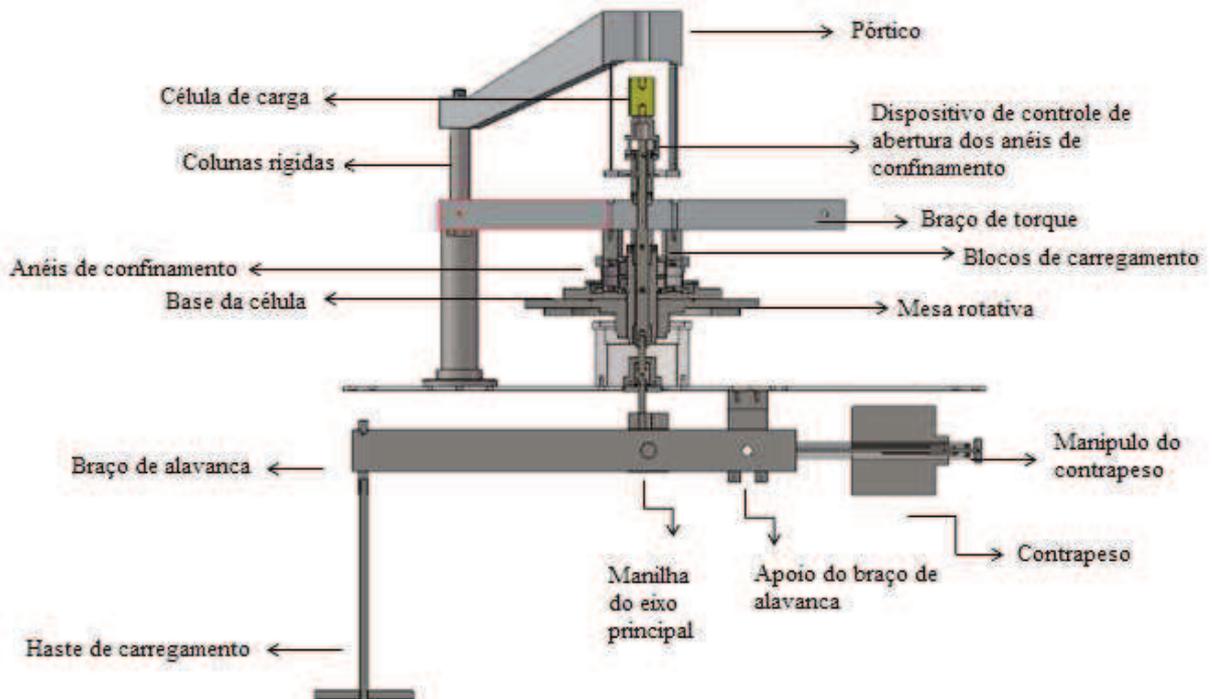


Figura 38. Esquema geral do equipamento desenvolvido, vista em corte.

3.1.3 Projeto

Neste item serão apresentadas as características principais do equipamento construído, sendo exibido no Apêndice A o projeto detalhado do mesmo.

3.1.3.1 Amostra e montagem da célula

Para reduzir as incertezas resultantes de uma distribuição não uniforme de tensão ao longo do plano de movimento rotativo, o diâmetro externo da amostra deve ser suficientemente maior em relação ao seu diâmetro interno, neste caso foi utilizada uma relação de 1,6. Assim, a amostra do equipamento desenvolvido, possui 160 mm de diâmetro externo, 100 mm de diâmetro interno e altura inicial de 20 mm, e pode ser submetida a uma tensão normal máxima de 320 kPa.

O tamanho da amostra difere do equipamento original, sendo também definido com base em outros equipamentos fundamentados no *ring shear* de Bishop *et al.* (1971). A Tabela

1 apresenta a comparação entre o tamanho da amostra do *ring shear* descrito por Bishop *et al.* (1971) e algumas de suas variações, bem como do equipamento desenvolvido na pesquisa.

Tabela 1. Comparação do tamanho da amostra entre o equipamento de *ring shear* descrito por Bishop *et al.* (1971) e suas variações

	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro interno (mm)	Altura inicial (mm)
Bishop <i>et al.</i> , 1971	152,4	101,6	19
Bhandary e Yatabe, 2007	160	100	10
Tiwari e Marui, 2004	200	130	450
Toyota <i>et al.</i> , 2009	150	100	20 - 35
Autora	160	100	20

A célula da amostra do equipamento desenvolvido, assim como no *ring shear* descrito por Bishop *et al.* (1971), é composta basicamente por dois pares de anéis de confinamento e um par de anéis de carregamento.

Os anéis de confinamento têm função de impedir a deformação lateral da amostra de solo a ser cisalhada, sendo seus pares (superior e inferior) unidos por quatro parafusos, os quais são removidos quando a fase de cisalhamento se inicia. Ainda, durante o estágio de pré-cisalhamento (consolidação da amostra a uma tensão normal constante), um anel de alinhamento é alocado na parte exterior aos anéis de confinamento, a fim proporcionar o adensamento uniforme da amostra. Este anel também é retirado quando iniciada a etapa de cisalhamento.

Os anéis de carregamento, por outro lado, têm por função transmitir a carga aplicada verticalmente para a amostra de solo. O anel de carregamento inferior, assim como os anéis de confinamento inferiores, é parafusado à base da célula, enquanto que o anel de carregamento superior é parafusado ao sistema de aplicação de carga (blocos de carregamento) localizado no braço de torque.

O processo de drenagem do corpo-de-prova é realizado por meio de duas pedras porosas situadas entre a amostra e os anéis de carregamento. Para evitar a ocorrência de deslizamento na interface amostra/pedra porosa, 12 aletas foram projetadas na face exposta da pedra porosa (espécie de garras), as quais são introduzidas na amostra de solo. Além disso, um recipiente de acrílico é colocado em torno da célula para inundação da amostra. Nas

Figuras 39 e 40 são mostrados, respectivamente, a visão geral da célula da amostra e os elementos que a compõem.

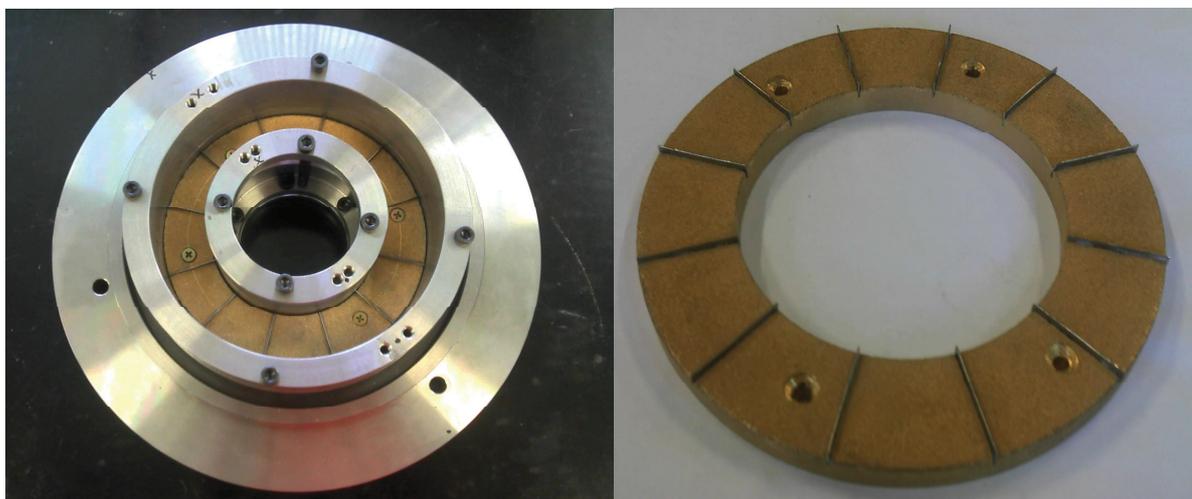


Figura 39. Célula da amostra do equipamento *ring shear*, (a) aspecto geral da célula; (b) pedra porosa.

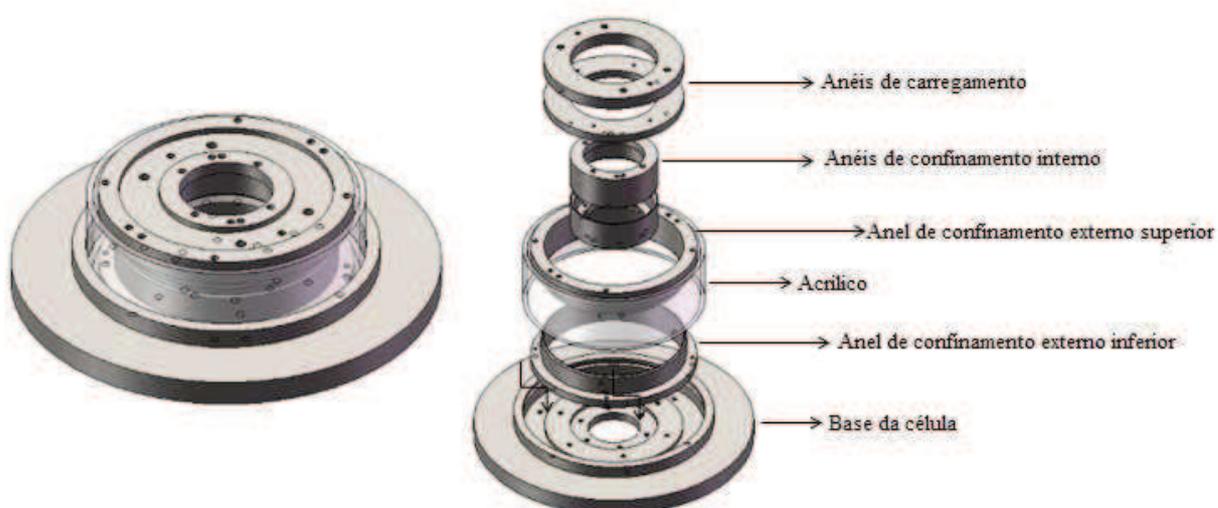


Figura 40. Elementos da célula da amostra do equipamento *ring shear*.

3.1.3.2 Sistema de carregamento vertical

O carregamento vertical é mantido por uma carga de peso morto aplicada, na proporção 4:1, através de um braço de alavanca. Para equilibrar a alavanca, o eixo principal interno e o braço de torque antes do carregamento da amostra, um contrapeso é inserido no sistema.

A carga normal é aplicada pelo eixo principal interno e transferida para o braço de torque por uma porca acoplada a um rolamento rígido de esfera. Em seguida, a carga é transmitida ao anel de carregamento superior através do sistema de aplicação de carga conectado ao braço de torque (blocos de carregamento), sendo que quatro parafusos alinham esses componentes e transmitem a carga cisalhante. Uma peça de giro de torque-livre é introduzida na extremidade inferior do eixo principal interno, permitindo que o eixo rotacione suavemente e prevenindo qualquer flexão indesejável desenvolvida na conexão braço de alavanca / eixo principal interno.

As Figuras 41 e 42 apresentam o sistema de carregamento vertical da amostra.



Figura 41. Visão geral do sistema de carregamento vertical do equipamento *ring shear*.

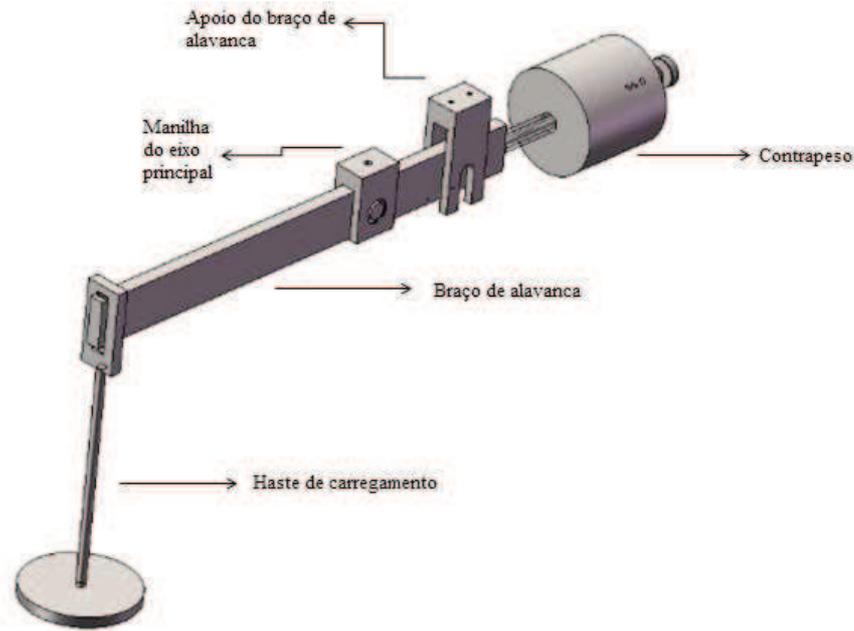


Figura 42. Sistema de carregamento vertical do equipamento *ring shear*.

3.1.3.3 Mecanismo de controle da abertura dos anéis de confinamento

Para manter os anéis de confinamento superiores alinhados e sem movimento em relação à parte inferior da célula da amostra, um mecanismo de controle de abertura entre os anéis foi montado na parte superior da célula da amostra, juntamente ao eixo principal interno do equipamento.

Nesse sentido, dois pinos-guia alinham este mecanismo com o anel de carregamento superior, garantindo que durante a fase de cisalhamento da amostra ambos se movam como uma peça única, quando o movimento vertical for solicitado.

Ainda, quatro pares de parafusos conectam este o mecanismo aos anéis de confinamento superiores, possibilitando o movimento vertical entre os anéis por meio de um parafuso diferencial de altura localizado no pórtico do equipamento. Assim, o espaçamento entre os anéis de confinamento pode ser controlado, e o atrito vertical lateral medido pela célula de carga conectada ao pórtico do equipamento. Os deslocamentos verticais são medidos por dois pares de transdutores lineares, sendo um par para o anel de carregamento superior e o outro para os anéis de confinamento superiores.

Portanto, a abertura entre os anéis é controlada em relação a um *datum*, sendo que esse espaçamento requer pouco ou nenhum ajuste quando as variações de forças de atrito vertical

lateral são resultantes da tendência da amostra dilatar ou comprimir durante a execução do ensaio.

A Figura 43 apresenta o mecanismo de controle de abertura dos anéis de confinamento.

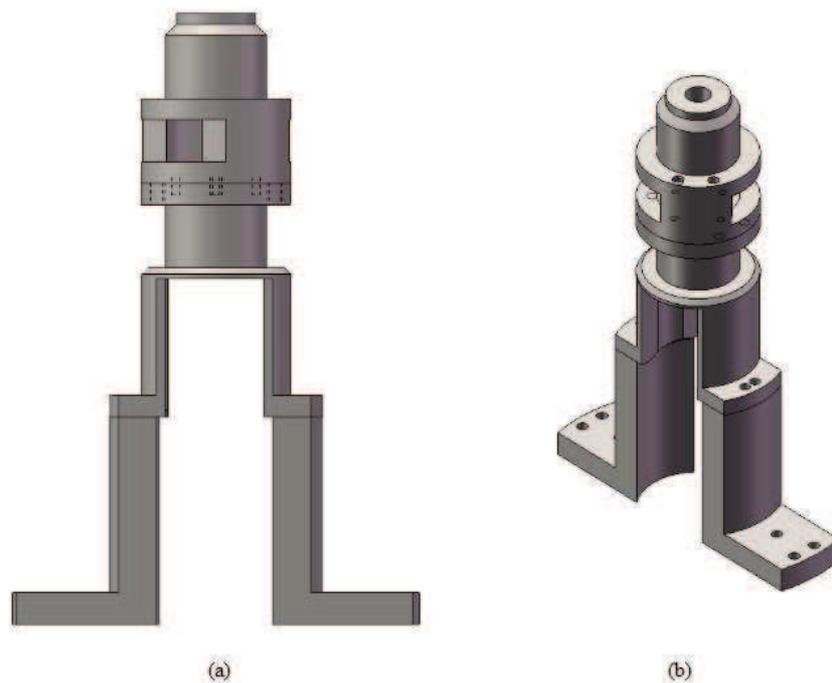


Figura 43. Mecanismo de controle de abertura dos anéis de confinamento.

3.1.3.4 Sistema de medição do torque

O torque é gerado durante o estágio de cisalhamento da amostra de solo, onde, enquanto a parte inferior da célula é rotacionada, a parte superior reage contra o braço de torque. Este parâmetro é determinado através das células de carga localizadas entre o braço de torque e as colunas rígidas.

Cada célula de carga contém um pino em uma de suas extremidades, o qual pode deslizar no apoio solidário as colunas rígidas. A carga axial é transmitida as células de carga enquanto permite que o braço de torque se mova verticalmente quando a amostra dilata ou consolida (Figura 44).



Figura 44. Pino e apoio deslizante da célula de carga.

3.1.4 Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados é composto por uma placa modelo PCI-DAS 1602/16 fabricada pela *Measurement Computing Corporation*. Esta placa é composta por oito canais diferenciais Analógico/Digital (A/D) com taxa de amostragem máxima de 200 kHz, e capaz de realizar medições nas seguintes faixas de tensão: ± 10 V; ± 5 V; $\pm 2,5$ V; $\pm 1,25$ V; 0 a 10 V; 0 a 5 V; 0 a 2,5 V; e 0 a 1,25 V.

Dos oito canais disponíveis, sete foram utilizados na aquisição de dados dos sensores, listados na Tabela 2, com as respectivas faixas de tensão adotadas para cada sensor.

Tabela 2. Sensores acoplados ao sistema de aquisição de dados e suas respectivas resoluções de leitura.

Sensor	Canal	Faixa de tensão disponível (V)	Resolução do canal para leitura (V)
Célula de carga 01	00	(-10) – (+10)	0,000305176
Célula de carga 02	01	(-10) – (+10)	0,000305176
Célula de carga 03	02	(-10) – (+10)	0,000305176
Transdutor linear 01	03	(-10) – (+10)	0,000305176
Transdutor linear 02	04	(-10) – (+10)	0,000305176
Transdutor linear 03	05	(-10) – (+10)	0,000305176
Transdutor linear 04	06	(-10) – (+10)	0,000305176

Além disso, a placa de aquisição de dados possui dois canais diferenciais Digital/Analógico (D/A) com resolução de 16 bits, sendo a taxa de atualização máxima de 100 kHz. As faixas de tensão disponíveis na saída dessas portas são: ± 10 V e ± 5 V; 0 a 10 V e 0 a 5 V.

A placa também contém dois contadores com resolução de 16 bits. O princípio de funcionamento do contador é baseado na contagem dos ciclos da frequência base, liberando um pulso em forma de onda quebrada após cada contagem, permitindo então obter diferentes frequências de saída. Assim, a frequência base pode variar entre aproximadamente 153 Hz (10 MHz / 16 bits) até o próprio valor base (10 MHz / 1).

3.1.5 Software de automação e aquisição de dados

Para a coleta de dados dos sensores foi desenvolvido um software em linguagem VEE®, totalmente orientado a objetos, a fim de tornar o desenvolvimento da programação menos complexa.

O software foi dividido, basicamente, em três etapas, as quais correspondem às situações rotineiras na execução dos ensaios *ring shear*, ou seja: 1) inserção de dados; 2) etapa de pré-cisalhamento (adensamento); e 3) etapa de cisalhamento.

Na primeira etapa é feita a inserção de dados básicos da amostra e do usuário, como exibido na Figura 45. É então solicitado ao usuário a sua identificação bem como, a identificação da amostra a ser ensaiada e suas características físicas, como altura inicial, volume inicial e área.

Após o preenchimento de identificação, o usuário é comunicado da necessidade de carregar um arquivo de calibração dos sensores de coleta de dados ligados ao equipamento. Lembrando que este arquivo é imprescindível, uma vez que toda rotina de ensaio é baseada na aquisição de dados obtida pelas leituras dos sensores.

Na etapa de pré-cisalhamento da amostra, ou simplesmente adensamento, o usuário deve informar a carga a ser aplicada na haste de carregamento, o tempo de adensamento, o intervalo de gravação dos dados e os índices físicos iniciais da amostra (peso específico seco, índice de vazios e teor de umidade). Nesta interface, os dados medidos são apresentados na tela durante a execução do adensamento (Figura 46).

Nome do usuário:	Teste
Nome do ensaio:	Ensaio
Data/Hora do ensaio:	Sat 08/Sep/2012 16:08:46

DADOS DA AMOSTRA

Tipo de material:	Areia	Área (mm ²):	0.01
		Altura inicial (mm):	20
		Volume inicial (mm ³):	0.25

Inserir arquivo de calibração

Sair

Figura 45. Etapa de inserção de dados básicos do ensaio.

ÍNDICES FÍSICOS INICIAIS	CARREGAMENTO		
Peso específico seco (kN/m ³):	15.19	Carga na haste de carregamento (kg):	31.25
Índice de vazios:	0.69	Tensão normal na amostra (kPa):	100.1
Teor de umidade (%):	9.88	Intervalo de gravação de dados:	
Tempo de adensamento (h):	24	Tempo (s):	15

Tempo (h): 0/00:14:23

Deformação (%): 149.4

YData1

Tempo

Figura 46. Etapa de pré-cisalhamento da amostra, inserção de dados.

Por último, na etapa de cisalhamento da amostra o usuário é solicitado a informar a velocidade de cisalhamento e o espaçamento entre os anéis de confinamento. As Figuras 47 e 48 mostram a interface de cisalhamento da amostra. Assim, como na etapa anterior, são apresentados na tela os dados coletados durante o ensaio, apresentando as curvas preliminares de tensão cisalhante *versus* deformação cisalhante, tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal, e tensão cisalhante *versus* tensão normal efetiva, com uma taxa de atualização de 15 segundos.

Figura 47. Etapa de cisalhamento da amostra.

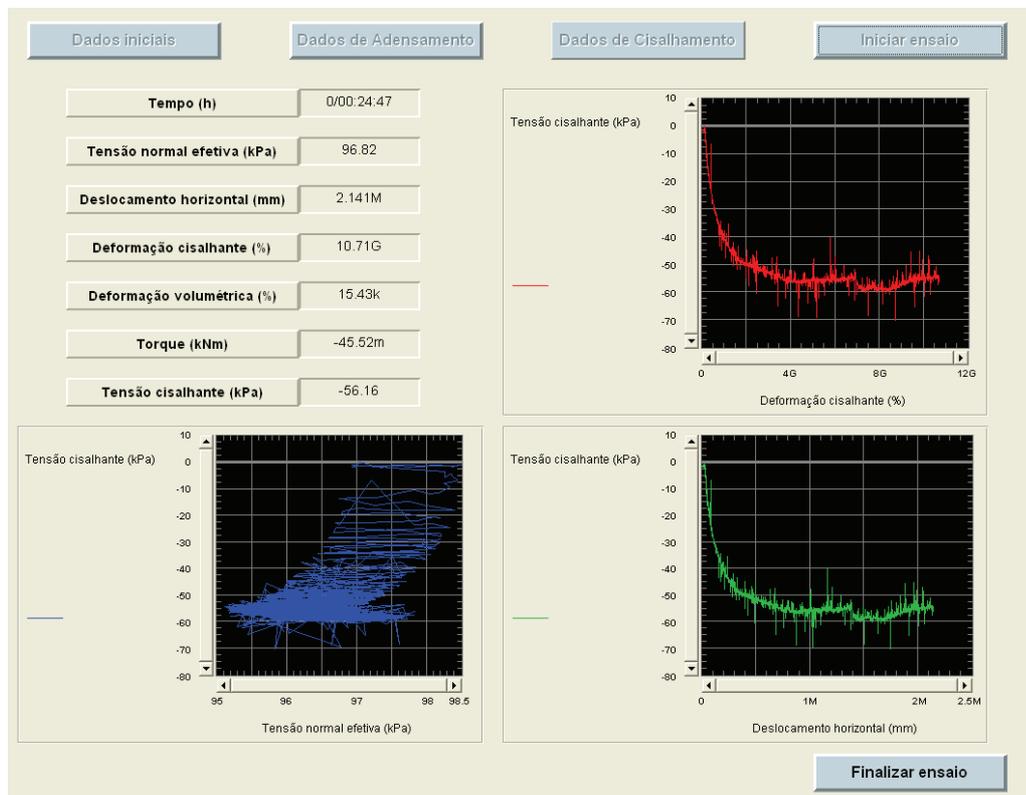


Figura 48. Etapa de cisalhamento da amostra.

Uma vez que a leitura dos sensores é obtida em volts, optou-se por construir uma planilha Excel, com a finalidade de obter as curvas nas suas devidas unidades de medida. Além disso, optou-se manter os dados brutos no *software*, com o objetivo de facilitar qualquer ajuste na programação quando necessário. Como apresentado no Apêndice B, a planilha Excel é dividida em quatro módulos: a) preparação da amostra; b) etapa de adensamento; c) etapa de cisalhamento; e d) gráficos.

Na etapa de preparação da amostra são inseridos os dados básicos da mesma, a fim de obter seus índices físicos iniciais (teor de umidade, peso específico e índice de vazios). No módulo seguinte, são inseridos: área e altura inicial da amostra, carga aplicada na haste de carregamento e os deslocamentos inicial e final medidos nos transdutores lineares 01 e 02. Dessa forma, se obtêm a altura final e o índice de vazios final da amostra. Na fase de cisalhamento são introduzidas as leituras realizadas pelos sensores, sendo calculados: deslocamento horizontal, deformação cisalhante, variação volumétrica, deformação volumétrica, tensão normal efetiva, torque total, tensão cisalhante e ângulo de atrito. Logo, a partir dos resultados do terceiro módulo, na etapa posterior são gerados os seguintes gráficos: tensão cisalhante *versus* deformação cisalhante, tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal, e tensão cisalhante *versus* tensão normal efetiva.

3.1.6 Sistema elétrico e calibração da velocidade de cisalhamento

O sistema motor-redutor foi projetado para um motor de indução trifásico, com velocidade de rotação de 1.800 RPM, regulando a sua velocidade com um inversor de frequência. O motor foi conectado a dois redutores do tipo coroa sem fim, sendo que o conjunto de redutores possui uma relação de redução de 1:700. Além disso, na saída deste conjunto foi ligado um terceiro redutor do tipo planetário, o qual apresenta uma redução de 1:100. Logo, o conjunto de redutores foi conectado em série, resultando no final deste estágio uma redução de 1:70.000.

Posteriormente, na saída do eixo do redutor planetário foi fixada uma engrenagem de dentes retos de módulo 2,0 e com diâmetro primitivo (D_p) de 36 mm, a qual foi acoplada à outra engrenagem de D_p igual a 76 mm, reduzindo as rotações à metade. O outro extremo da engrenagem de 76 mm foi ligada a outra engrenagem de 36 mm que foi conectada a uma engrenagem de 396 mm, realizando assim, uma redução de 1:10. Portanto, a redução final do sistema ficou 1:1.400.000.

Após, se deu início a calibração da mesa rotativa, a fim de verificar se eram equivalentes as velocidades observadas com tacômetro digital de velocidade entre 1 a 6.000 RPM. Foi observado que as leituras medidas no eixo do motor correspondiam a velocidade esperada da mesa rotativa. A Figura 49 apresenta o aspecto visual do sistema elétrico do equipamento.

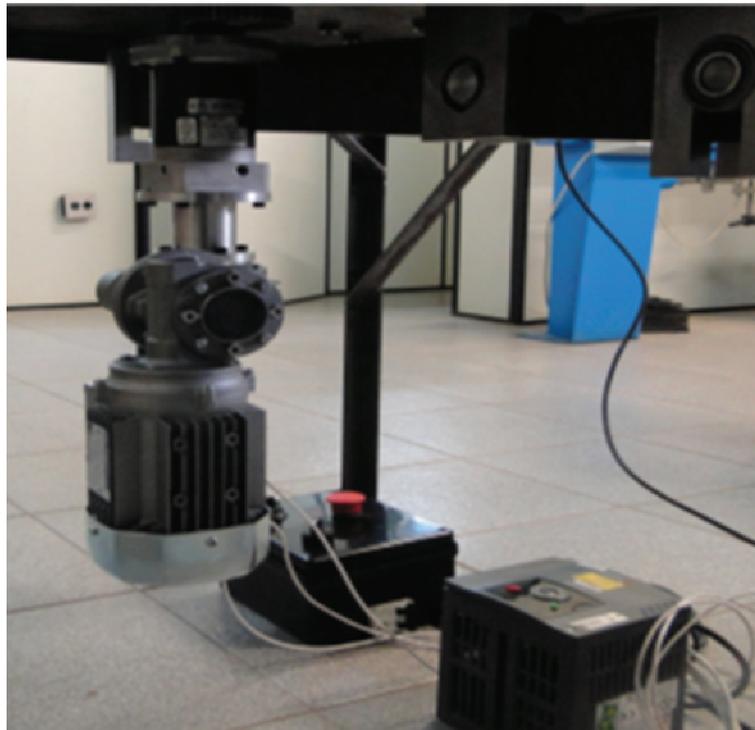


Figura 49. Aspecto geral do sistema elétrico do equipamento desenvolvido.

3.1.7 Calibração e análise de estabilidade dos sensores

A calibração dos sensores de medição foi realizada com o auxílio de rotinas básicas também desenvolvidas em linguagem VEE®. Estas rotinas têm a função de coletar os sinais na sua forma bruta, que posteriormente foram correlacionados com as suas respectivas calibrações. A calibração dos transdutores lineares foi executada com auxílio de micrômetro, e as células de carga com auxílio de pesos padrão.

Neste equipamento, foram utilizados quatro transdutores lineares, sendo um par para determinação da deformação da amostra e outro par para o controle da abertura entre os anéis

de confinamento. Nos dois casos, os sensores são do tipo régua resistiva, modelo PY2-F-050, fabricados pela GEFTRAN, com 50 mm de curso e precisão de 0,05%.

As três células de carga utilizadas, fabricadas pela HBM®, possuem capacidade de 50 kg. A célula de carga 01 foi utilizada para medir o atrito vertical lateral da célula da amostra, e as células de carga 02 e 03 foram usadas para medição do torque.

As correlações encontradas para os sensores são apresentadas no Apêndice C. Observa-se que em geral todos os sensores submetidos à calibração apresentaram ajustes lineares satisfatórios. Estas correlações apresentaram valores de R^2 próximos de 1, indicando que as constantes são confiáveis para posterior interpretação dos dados coletados nos ensaios *ring shear*.

3.1.8 Validação do equipamento

A última etapa para a conclusão de um equipamento engloba a validação, onde são realizados testes para a confirmação do seu funcionamento. Neste contexto, foram realizados ensaios em um material granular, com o objetivo de aferir a compatibilidade dos resultados obtidos com aqueles encontrados no equipamento descrito por Bishop *et al.* (1971).

Para tanto, foi executado ensaio *ring shear* em uma amostra de areia, proveniente de uma jazida localizada no município de Osório, sul do Brasil. Optou-se pela utilização desse material, uma vez que seu comportamento já é bem conhecido através de diversos estudos realizados (CASAGRANDE, 2005; DONATO, 2007; FESTUGATO, 2007; CRUZ, 2008; entre outros), sendo que apresenta um comportamento mecânico bem definido e estável. Dessa maneira, compararam-se os resultados obtidos no equipamento projetado com os resultados encontrados por Heineck (2002) e Casagrande (2005). Os resultados do processo de validação do equipamento são apresentados no Capítulo 4.

3.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.2.1 Materiais utilizados

3.2.1.1 Areia

A areia utilizada nesta pesquisa é oriunda de uma jazida localizada no município de Osório/RS, situada na região sul do Brasil, conforme demonstrado na Figura 50.

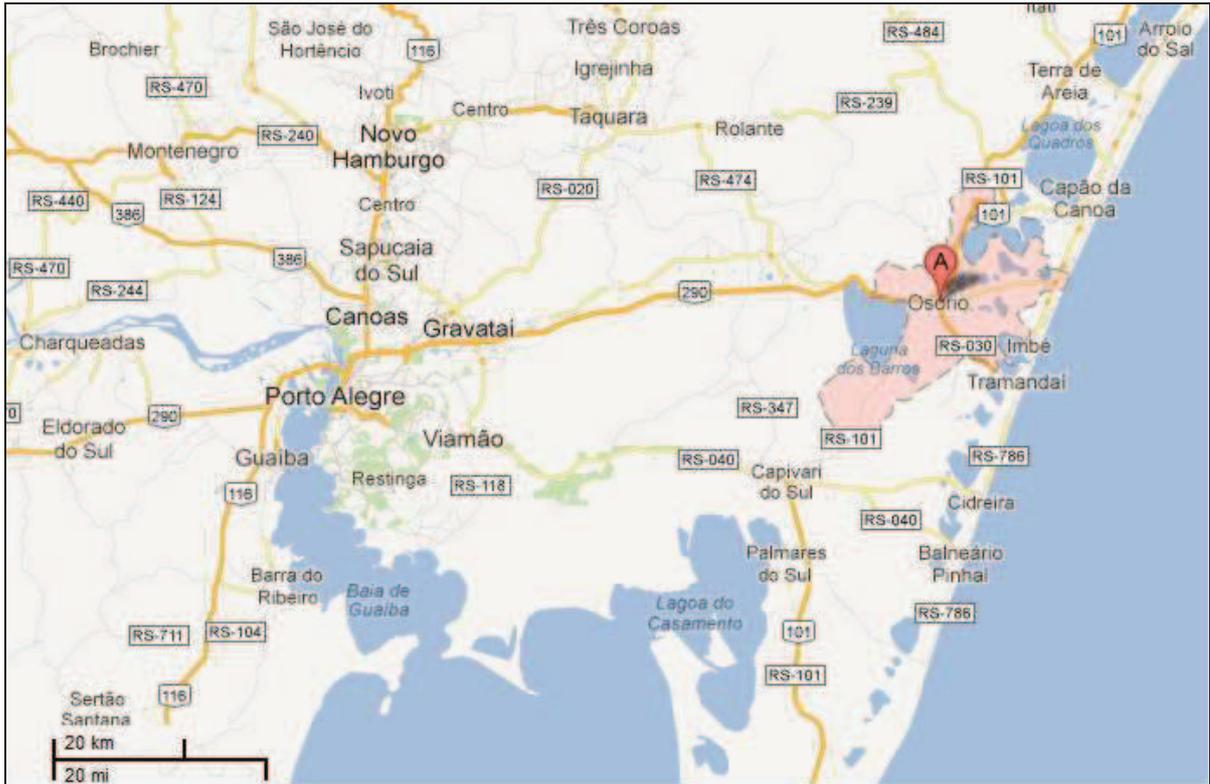


Figura 50. Localização da jazida de areia (GOOGLE MAPAS, 2012).

Esta areia caracteriza-se por apresentar uma granulometria fina e uniforme (NBR 6502 – ABNT, 1995; ASTM D 2487, 1993), ausente de impurezas ou matéria orgânica. Segundo Spinelli (1999) apud Casagrande (2005), este material tem o quartzo como principal componente, correspondente a 99% da sua composição mineralógica, sendo o restante composto por glauconita, ilmenita, turmalina e magnetita. A distribuição granulométrica bem como, os índices físicos deste material, são expostos na Figura 51 e na Tabela 3.

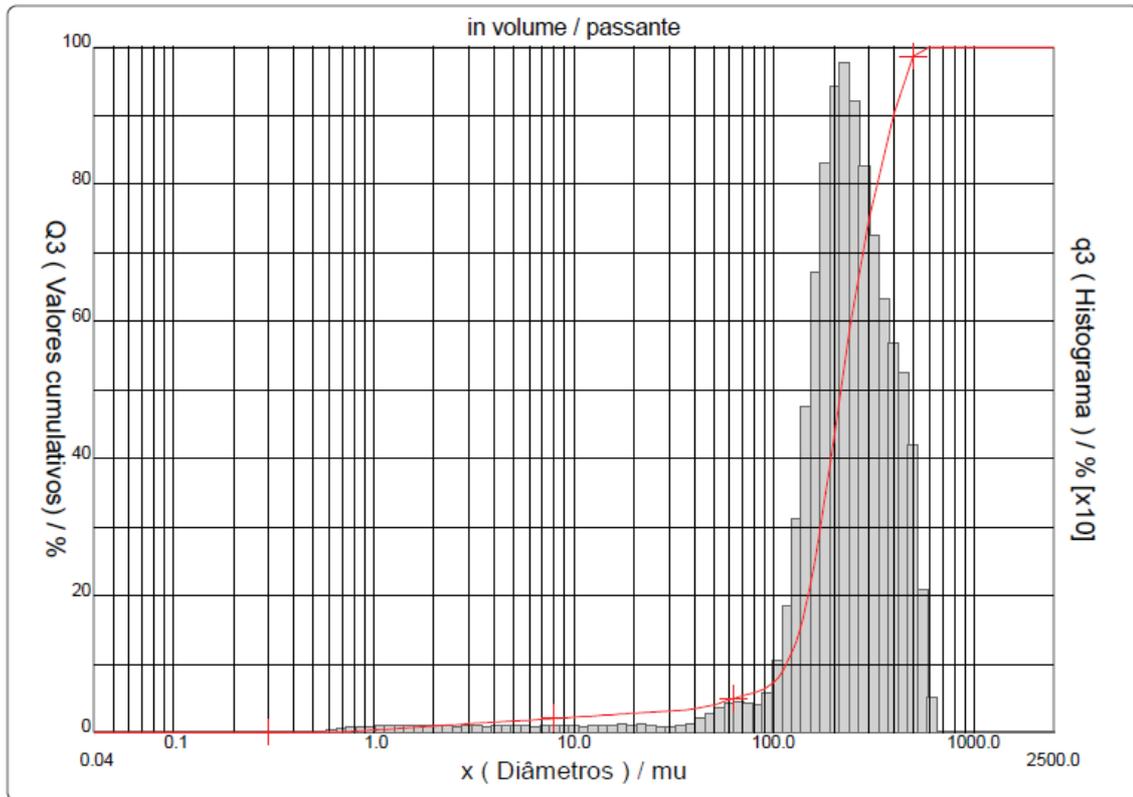


Figura 51. Curva granulométrica da areia de Osório, obtida por difração a *laser*.

Tabela 3. Propriedades físicas da areia de Osório

Índices Físicos	Areia de Osório
Massa específica real dos grãos (γ_s)	26,3 kN/m ³
Coefficiente de uniformidade, C_u	2,1
Coefficiente de curvatura, C_c	1,0
Diâmetro efetivo, D_{10}	0,09 mm
Diâmetro médio, D_{50}	0,16 mm
Índice de vazios, $e_{mínimo}$	0,6
Índice de vazios, $e_{máximo}$	0,9

Fonte: CASAGRANDE (2005); DALLA ROSA (2009).

Nas Figuras 52 (a) e (b) são apresentadas as imagens em escala da areia de Osório, ampliada em 40 e 500 vezes, respectivamente. Através das imagens observa-se que a areia empregada no estudo é composta por grãos pouco arredondados e de tamanho uniforme.

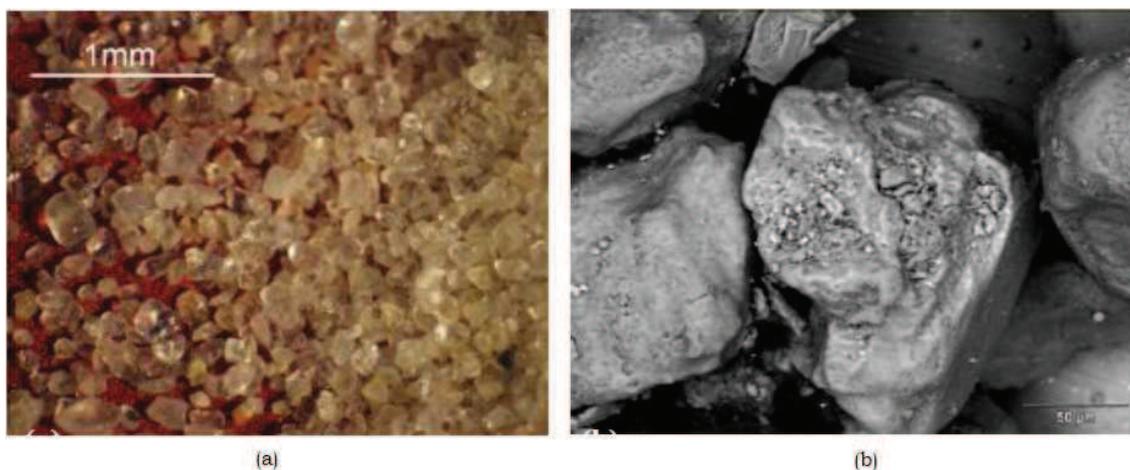


Figura 52. Microscopia eletrônica de varredura, imagem da areia de Osório ampliada em (a) 40 vezes e (b) 500 vezes (DALLA ROSA, 2009).

3.2.1.2 Água

Para a moldagem do corpo-de-prova foi utilizada água destilada.

3.2.2 Método de ensaio *ring shear*

3.2.2.1 Preparação das amostras

O solo utilizado no estudo, após coletado ou adquirido, foi armazenado em um recipiente plástico com capacidade de 90 litros. A preparação, secagem ao ar, peneiramento e determinação da umidade higroscópica da amostra seguiram os procedimentos estabelecidos na norma NBR 6457 (ABNT, 1986). A amostra preparada foi acondicionada em um saco plástico hermeticamente fechado e identificado, até o momento de sua utilização.

3.2.2.2 Moldagem

Os parâmetros de moldagem da amostra foram os mesmos utilizados por Casagrande (2005) para ensaios *ring shear*, sendo o teor de umidade de 10% e a densidade relativa de 50%.

Após a homogeneização dos materiais, a amostra de areia foi pesada e moldada diretamente nos anéis de confinamento da célula do equipamento, em apenas uma camada. A compactação foi feita manualmente, de forma estática, uma vez que o material era carregado

axialmente com o auxílio do anel de carregamento superior, até que atingisse a densidade e altura desejadas.

O controle dos parâmetros desejados era realizado a partir do peso de material e da altura final da amostra (20 mm). A Figura 53 mostra a moldagem da amostra de solo na célula do equipamento.

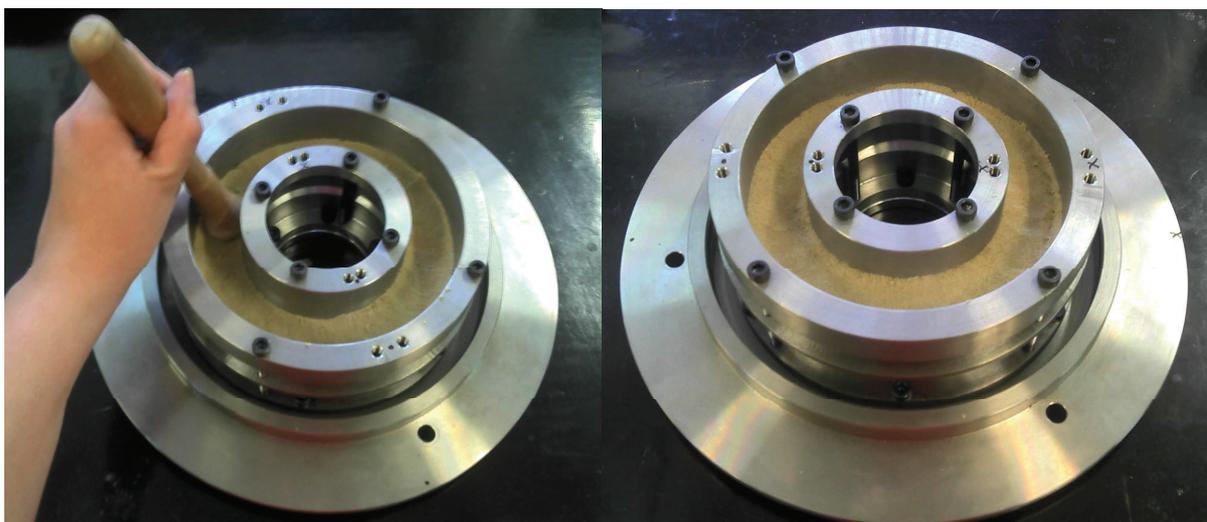


Figura 53. Detalhe da moldagem da amostra de solo no equipamento *ring shear*.

3.2.2.3 Procedimento de ensaio

Após a moldagem da amostra de solo nos anéis de confinamento, a célula era acoplada à mesa rotativa e, então, o recipiente acrílico era colocado no equipamento. O braço de torque era alinhado à amostra através de quatro parafusos inseridos no mecanismo de levantamento do anel superior (blocos de carregamento). Logo após, o sistema de controle de abertura dos anéis de confinamento superiores era inserido no conjunto.

O controle da abertura entre os anéis de confinamento era monitorado por meio dos transdutores lineares e por uma célula de carga, responsável pela medição do atrito vertical lateral. A amostra de solo era então inundada e após 24 horas, carregada axialmente.

Finalizado o estágio de pré-cisalhamento, quando as deformações causadas pelo adensamento eram desprezíveis, os parafusos que uniam os anéis de confinamento e o anel de alinhamento eram removidos e, aplicava-se uma rotação mínima, suficiente para que as

células de carga conectadas ao braço de torque atingissem os apoios fixados as colunas rígidas.

Em seguida, o espaço entre os anéis de confinamento era aberto (cerca de 0,30 a 0,35 mm), e selecionava-se uma velocidade de cisalhamento, a qual gerava uma taxa constante de deformação, permitindo a dissipação adequada do excesso de poro-pressão, e iniciando assim, o processo de cisalhamento da amostra de solo.

Para a execução do ensaio *ring shear*, optou-se por utilizar os mesmos parâmetros definidos por Casagrande (2005), assim, para uma tensão normal de 100 kPa foi adotada uma taxa de velocidade de 0,69 mm/min.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos durante o processo de validação do equipamento desenvolvido, bem como os problemas encontrados durante a execução do ensaio.

4.1 PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

Os resultados obtidos através do ensaio *ring shear* realizado com areia estão apresentados no espaço tensão cisalhante (τ) *versus* deslocamento horizontal (Δh), e tensão cisalhante (τ) *versus* deformação cisalhante (γ), onde $\gamma = \Delta h/H_0$, sendo H_0 a altura inicial da amostra antes da etapa de cisalhamento. A envoltória de resistência é apresentada no espaço tensão cisalhante (τ) *versus* tensão normal efetiva (σ'_n).

As Figuras 54, 55, 56 e 57 apresentam os resultados para ensaio em areia com tensão normal de 100 kPa, comparando os resultados obtidos por Heineck (2002) e Casagrande (2005), para o mesmo solo, em ensaios realizados no equipamento *ring shear* de Bishop *et al.* (1971).

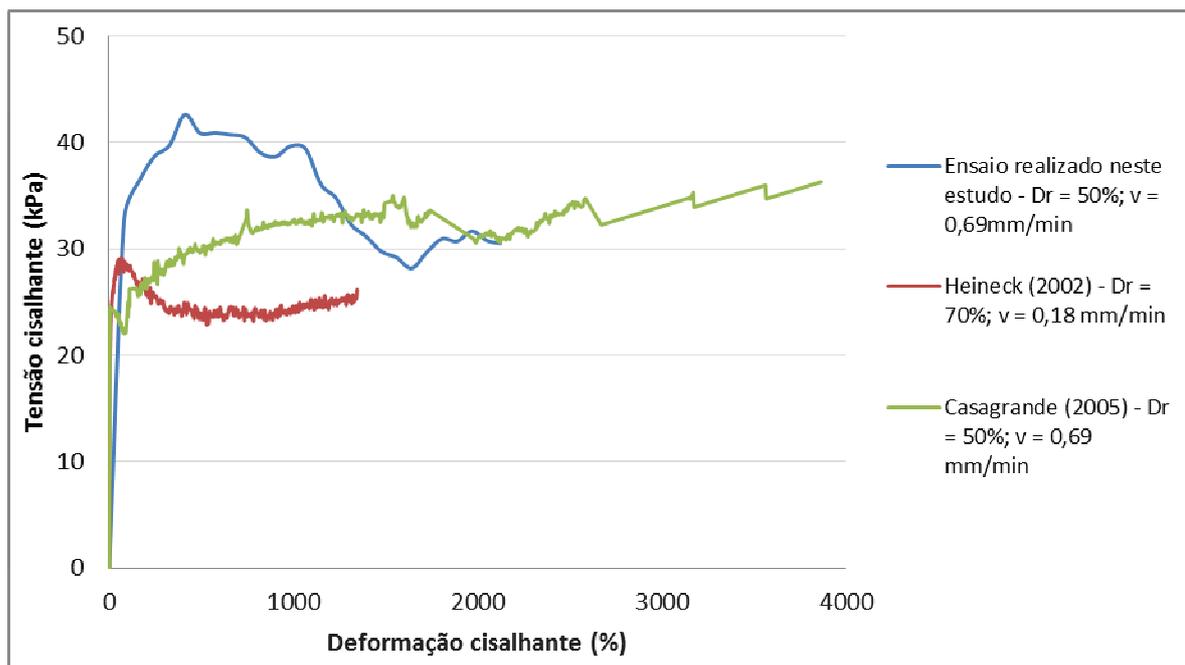


Figura 54. Curva tensão cisalhante *versus* deformação cisalhante

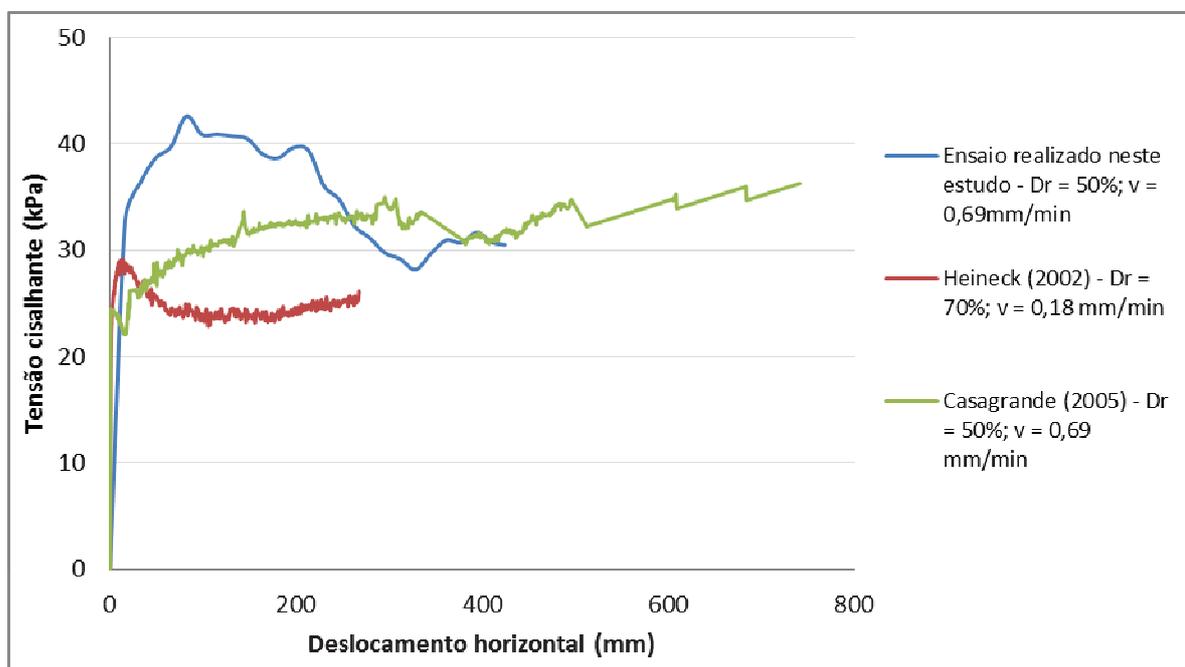


Figura 55. Curva tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal

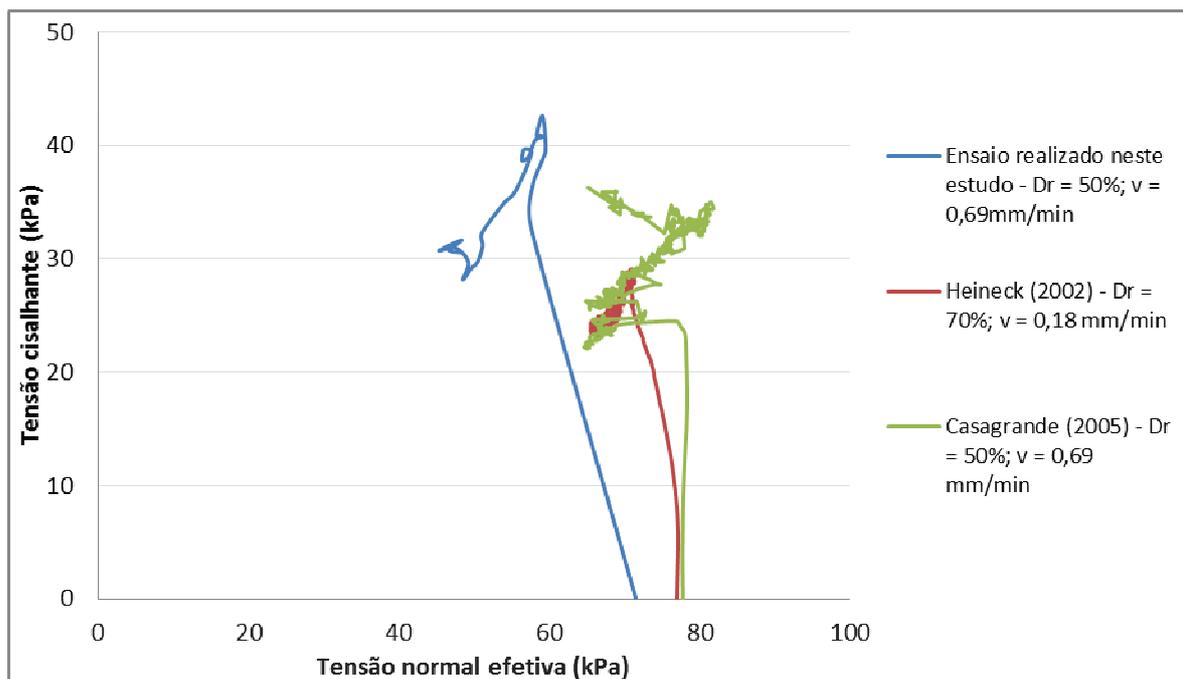


Figura 56. Curva tensão cisalhante *versus* tensão normal efetiva.

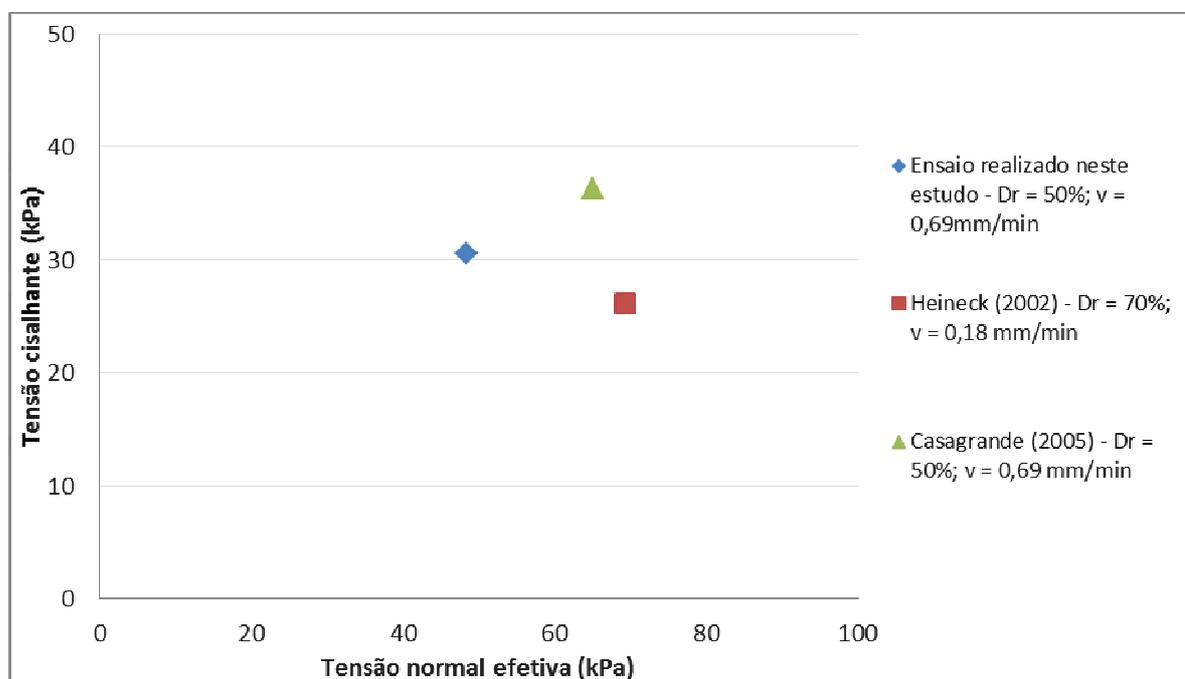


Figura 57. Envoltória de resistência ao cisalhamento residual.

Para tensão normal adotada, é possível verificar nas figuras acima, que para finalidade do equipamento, a qual é a determinação da resistência ao cisalhamento residual, o mesmo se mostra satisfatório visto que, para a mesma densidade relativa e velocidade de cisalhamento, a condição residual obtida no ensaio realizado neste estudo é próxima à encontrada por Casagrande (2005).

Pode-se observar também que Heineck (2002) adotando uma velocidade de 0,18 mm/min obteve a condição residual da areia investigada para deslocamentos horizontais próximos de 270 mm. Casagrande (2005), para velocidade de 0,69 mm/min também alcançou a condição residual do solo com deslocamento horizontal em torno de 300 mm. Neste trabalho, a velocidade de cisalhamento adotada variou entre 0,65 a 0,69 mm/min, e assim como as autoras mencionadas, os parâmetros de resistência ao cisalhamento residual foram obtidos para deslocamentos na ordem de 300 mm.

Quanto à envoltória de resistência, para o ensaio realizado obteve-se um ângulo de atrito interno residual de 32°, sendo próximo do valor de 29° encontrado por Casagrande (2005), e acima do valor de 20° obtido por Heineck (2002).

Além disso, através dos resultados obtidos, nota-se uma superestimação da condição inicial do ensaio, a qual pode ser explicada por dois problemas encontrados durante sua execução: (1) leitura das células de carga responsáveis pela medição do torque; (2) controle da abertura entre os anéis de confinamento. Quanto à primeira hipótese, durante a análise dos dados obtidos, foi observado que em alguns momentos do ensaio, apenas uma das células de carga estava medindo a reação do braço de torque. Logo, uma vez que o torque é calculado com base nas leituras realizadas, a determinação desta variável é prejudicada e, conseqüentemente, provoca variação na determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento residual do solo.

A segunda hipótese decorre da oscilação nas leituras durante a rotina VEE® de verificação de abertura entre os anéis de confinamento. Foi possível notar que a leitura obtida durante a execução da rotina não correspondeu aos dados de saída dos transdutores lineares, assim o espaçamento entre os anéis de confinamento estava três vezes maior do que o desejado. Dessa maneira, houve uma perda considerável da amostra durante a etapa de cisalhamento, como apresentado na Figura 58.

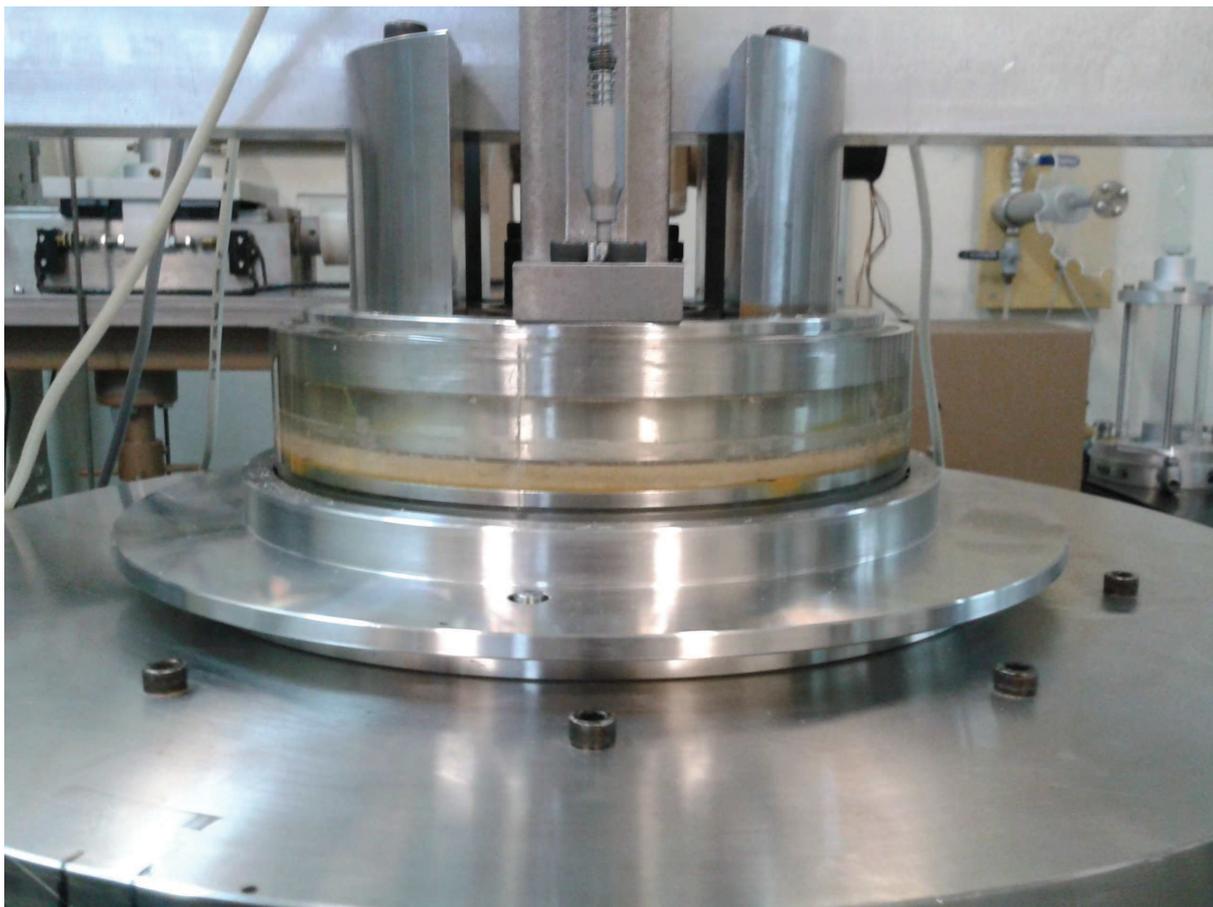


Figura 58. Aspecto da célula da amostra durante a etapa de cisalhamento.

4.2 PROBLEMAS ENCONTRADOS NO EQUIPAMENTO

Durante a execução dos ensaios para a validação do equipamento, algumas dificuldades foram encontradas:

- ✓ A mesa rotativa do equipamento desenvolvido possui uma posição inicial de ensaio definida, uma vez que braço de torque fica paralelo ao dispositivo de controle de abertura entre os anéis de confinamento. Assim, uma vez que o equipamento foi projetado para trabalhar a baixas velocidades, colocar a célula da amostra na posição correta de ensaio demanda muito tempo;

- ✓ O ajuste fino para o equilíbrio do sistema (alavanca, braço de torque e eixo principal interno) é de difícil manipulação, visto que o braço de alavanca e o contrapeso ficaram muito pesados;

- ✓ As rotinas dos ensaios realizadas em linguagem VEE® apresentaram algumas instabilidades, principalmente na interface de verificação do controle de abertura entre os anéis de confinamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos no capítulo anterior é possível chegar às seguintes conclusões:

- ✓ O equipamento desenvolvido foi satisfatório na determinação da resistência ao cisalhamento residual do solo estudado, visto que para as mesmas condições de ensaio, os valores encontrados foram próximos aos obtidos por Casagrande (2005);
- ✓ Problemas relacionados à instabilidade de leitura das células de carga responsáveis pela medição do torque bem como, à extrusão de solo durante a etapa de cisalhamento, influenciam na condição inicial do ensaio;
- ✓ Devido às velocidades de cisalhamento ser consideradas mecanicamente baixas, o equipamento necessita de um dispositivo que permita o movimento independente da mesa rotativa a fim de colocar a célula da amostra na posição correta de ensaio. Este dispositivo pode ser uma embreagem magnética;
- ✓ O uso do *software* HP-VEE® mostrou-se inadequado para automação do equipamento, em consequência das instabilidades encontradas nas rotinas durante a execução do ensaio. Nesse sentido, deve-se buscar um *software* mais apropriado, como por exemplo, o LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), o qual é bastante utilizado na realização de medições e automação de equipamentos;
- ✓ O equilíbrio do sistema é de difícil manipulação, sendo necessário vaziar o interior do braço de alavanca para reduzir o diâmetro e a massa do contrapeso, facilitando o ajuste

fino e aumentando assim, o espaçamento entre o braço de alavanca e a mesa de apoio do equipamento.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.2.1 Quanto ao equipamento

- ✓ Recomenda-se fazer referências na mesa rotativa, como por exemplo, a marcação de graus, a fim de facilitar a verificação da posição inicial de ensaio;
- ✓ Os anéis de confinamento podem ser modificados, tornando-os em forma de encaixe, com o objetivo de retirar o anel de alinhamento da célula da amostra, reduzindo desta maneira, o tempo de montagem da amostra;
- ✓ A tensão normal máxima aplicada na amostra pode ser elevada, reduzindo a distância entre o eixo do apoio do braço de alavanca e a manilha de carregamento (eixo de aplicação da carga na amostra), aumentando assim, a relação do braço de alavanca e, conseqüentemente, diminuindo a massa da carga aplicada na haste de carregamento;
- ✓ Segundo consta na NR 12 - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos (TEM, 2010), todo equipamento, seja ele mecânico ou elétrico, deve possuir sistema de proteção contra acidentes. Nesse sentido, propõe-se que a parte inferior da base do equipamento desenvolvido seja protegida com acrílico transparente, uma vez que neste local ficará o sistema de controle e proteção do motor de indução. Além disso, uma proteção de acrílico também deverá proteger a base da mesa rotativa acionada pela engrenagem motriz;

5.2.2 Quanto aos ensaios *ring shear*

- ✓ Realizar repetições do ensaio realizado a fim de confirmar a validade do equipamento desenvolvido;
- ✓ Realizar ensaios com outros tipos de materiais;

- ✓ Realizar ensaios solo-interface;
- ✓ Verificar os fatores de afetam a determinação da resistência ao cisalhamento residual;
- ✓ Identificar o mecanismo de mobilização da resistência ao cisalhamento residual através de ensaios microestruturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, V.N. (2006). **Influência do teor de mica na resistência ao cisalhamento residual em taludes de solos saprolíticos de gnaiss.** In: 58ª Reunião Anual da SPBC. Anais... Florianópolis-SC, 2006.

ALMEIDA, M.S.S.; VASCONCELOS, M.F.C.; LACERDA, W.A. (1992). **Novas técnicas e equipamentos para determinação da resistência residual de solos.** In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1., 1992, Rio de Janeiro – RJ. Anais ... Rio de Janeiro: ABMS, 1992. 2v, v.2, p. 399-418.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard classification of soils for engineering purposes: D 2487. Philadelphia, p. 11, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Torsional ring shear test to determine drained residual shear strength of cohesive soils:** D6467, USA, 1999, 6 p.

ANAYI, J.T.; BOYCE, J.R.; ROGER, C.D.F. (1989). **Modified Bromhead ring shear apparatus.** Geotechnical Testing Journal, vol. 12, nº 2, p. 171-173.

ANDERSON, W. F.; HAMMOUD, F. (1988). **Effect of Testing Procedure in Ring Shear Tests.** Geotechnical Testing Journal, vol. 11, nº 3, p. 204-207.

ANSON, R.W.W.; HAWKINS, A.B. (1998). **The effect of calcium ions in pore water on the residual shear strength of kaolinite and sodium montmorillonite.** Géotechnique, v.48, n.6, p. 787-800.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização:** NBR 6457. Rio de Janeiro, 1986. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas e solos:** NBR 6502, Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

BERNARDES, J.A. (2003). **Investigação sobre a resistência ao cisalhamento de um solo residual de gnaiss.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2003.

BHANDARY, N.P.; YATABE, R. (2007). **Ring shear tests on clays of fracture zone landslides and Clay mineralogical aspects.** In: Progress in landslide science, Parte II, p. 183-192.

BIANCHINI, M.R. (2000). **Estudo da instabilidade de um talude rodoviário em São Jerônimo/RS.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2000.

BISHOP, A.W.; GREEN, G.E.; GARGA, V.K.; ANDRESEN, A.; BROWN, J.D. (1971). **A new ring shear apparatus and its application to the measurement of residual strength.** *Géotechnique*, v, 21, n 4, p. 273-328.

BOROWICKA, H. (1965). **The influence of the colloidal content on the shear strength of clay.** In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 6., 1965, Montreal, Canada. Proceedings ... Canada: University of Toronto, 1965, 3v. v.1, p.175-178.

BOSDET, B.W. (1980). **The UBC ring shear device.** Thesis (Department of Civil Engineering), University of British Columbia.

BOWLES, J.E. (1988). **Foundation analysis and design.** McGraw-Hill International Edition, Singapore.

BOYCE, J.R. (1985). **Some observations on the residual strength of tropical soils.** In: International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, 1., 1985, Brasília, Brazil. Proceedings ... Brasilia: ABMS – Brazilian Society for Soil Mechanics, 1985. 4v. v.1, p. 229-237.

BRESSANI, L.A.; BICA, A.V.D.; PINHEIRO, R.J.B.; RIGO, M.L. (2001). **Residual shear strength of some tropical soils from Rio Grande do Sul.** *Solos e Rochas*, vol. 24, n° 2, p. 103-113.

BROMHEAD, E.N. (1979). **A simple ring shear apparatus.** *Ground Engineering*, vol. 12, n° 5, p. 40-44.

BROMHEAD, E.N.; DIXON, N. (1986). **The field residual strength of London Clay and its correlation with laboratory measurements, especially ring shear tests.** *Géotechnique*, v.36, n.3, p. 449-452.

BSI, (1990). **British Standard Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes – Part 7. Shear strength tests (total stress),** BS 1377: Part 7: 1990, British Standards Institution, London.

BUENO, B.D.; VILAR, O.M. (2003). **Apostila de Mecânica dos Solos**, v2. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/UPSP).

CASAGRANDE, M.D.T. (2005). **Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2005.

CASAGRANDE, M.D.T.; CONSOLI, N.C. (2004). **Comportamento a grandes deformações cisalhantes de uma areia reforçada com fibras.** In: *Geosul, Anais...* 2004.

CHANDLER, R.J. (1966). **The measurement of residual strength in triaxial compression.** *Géotechnique*, v.16, n.3, p. 181-186.

CHANDLER, R.J. (1969). **The effect of weathering on the shear strength properties of Keuper Marl.** *Géotechnique*, v.19, n.3, p. 321-334.

CHANDLER, R.J.; HARDIE, T.N. (1989). **Thin-sample technique of residual strength measurement.** *Géotechnique*, v.39, n. 3, p. 527-531.

CHATTOPADHYAY, P.K. (1972). **Residual shear strength of some pure clay minerals.** Thesis (Department of Civil Engineering), University of Alberta, Edmonton – Alberta, 1972.

COLLOTA, T.; CANTONI, R.; PAVESI, U.; RUBERL, E.; MORETTI, P.C. (1989). **A correlation between residual friction angle, gradation and the index properties of cohesive soils.** *Géotechnique*, v. 39, n. 2, p. 343-346.

COOLING, L.F.; SMITH, D.B. (1935). **The shearing resistance of soils.** *Journal Instn Civi Engineering*, v.3, p. 333-343.

COOPER, M.R.; BROMHEAD, E.N.; PETLEY, D.J.; GRANT, D.I. (1998). **The Selborne cutting stability experiment.** *Géotechnique*, v. 48, n. 1, p. 83-101.

CRAIG, R.F. (2007). **Craig's Soil Mechanics.** 7th ed, Spon Press, USA, 2004. 458 p.

CRUZ, R.C. (2008). **Influência de parâmetros fundamentais na rigidez, resistência e dilatância de uma areia artificialmente cimentada.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2008.

DALLA ROSA, F. (2009). **Efeito do estado de tensões de cura no comportamento de uma areia artificialmente cimentada.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2009.

DAS, B.M. (2008). **Fundamentos da Engenharia Geotécnica.** Ed. Thomson Learning, 6^a edição, São Paulo – SP.

DAS, S.K.; BASUDHAR, P.K. (2008). **Prediction of residual friction angle of clays using artificial neural network.** *Engineering Geology*, n° 100, p.142-145.

DEWOOLKAR, M.M.; HUZJAK, R.J. (2005). **Drained residual shear strength of some claystone from Front Range, Colorado.** *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 131, n° 12, p. 1543-1551.

DI MAIO, C. (1996). **Exposure of bentonite to salt solution: osmotic and mechanical effects.** *Géotechnique*, v. 26, n. 4, p. 695-707.

DI MAIO, C.; FENELLI, G.B.; (1994). **Residual strength of kaolin and bentonite: the influence of their constituent pore fluid.** *Géotechnique*, v. 44, n. 4, p. 217-226.

DONATO, M. (2007). **Medidas diretas de tensão em solo reforçado com fibras de polipropileno.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2007.

DUARTE, J.M.G. (1986). **Um estudo geotécnico sobre o solo da Formação Guabirota, com ênfase na determinação da resistência residual.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 1986. 168 p.

EID, H.T. (1996). **Drained shear strength of stiff clays for slope stability analyses.** Thesis (Civil Engineering) – Graduate College, University of Illinois, Urbana - Illinois, 1996.

ESSER, A.J. (1996). **Case study of a landslide in heavily overconsolidated lacustrine clay.** In: Internacional Symposium on Landslides, 7., 1996, Trondheim, Norway. Proceedings ... Rotterdam: A. A. Balkema, 1996, 3v. v. 2, p. 707-714.

FESTUGATO, L. (2008). **Análise do comportamento mecânico de um solo micro-reforçado com fibras de distintos índice aspecto.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2008.

GRUNER, H.E.; HAEFELI, R. (1934). **Beitrag zur Untersuchung des physikalischen und statischen Verhaltens Röhrearter Böden** (Contribution to the investigation of the physical and static behaviour of cohesive soils). Schweis. Bauztg, v. 103, pag. 171-174, 185-188.

HAEFELI, R. (1951). **Investigation and measurements of the shear strength of saturated cohesive soils.** Géotechnique, v. 1, n.3, p. 139-147.

HAWKINS, A.B.; PRIVETT, K.D. (1985). **Measurement and use of residual shear strength of cohesive soils.** Ground Engineering, v. 18, n. 8, p. 22-29.

HEIDEMANN, M. **Caracterização geotécnica de um solo residual de granulito envolvido em uma ruptura de talude em Gaspar – SC.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2011.

HEINECK, K.S. (2002). **Estudo do comportamento hidráulico e mecânico de materiais geotécnicos para barreiras horizontais impermeáveis.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2002.

HUTCHINSON, J.N.; BROMHEAD, E.N.; LUPINI, J.F. (1980). **Additional observations on the Folkstone Warren landslides.** Q. J. Eng. Geology, London, v. 13, p. 1-31.

HUVAJ-SARIHAN, N. (2009). **Movement of reactivated landslides.** Dissertation (Civil Engineering) – Graduate College, University of Illinois, Urbana - Illinois, 2009.

HVORSLEV, M.J. (1937). **Über die festigkeitseigenschaften gestorter bindiger boden.** Copenhagen: Danmarks Naturvidenskabelige Samfund Ingeniorvidenskabelige Skrifter, 1937. A-Nr. 45. Translated in June, 1969 under the title “Physical properties of remolded cohesive soils” by the U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi.

HVORSLEV, M. J. (1939). **Torsion shear tests and their place in the determination of the shearing resistance of soils.** Annual Meeting, 42., Atlantic City, N. J. Proceedings. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 1939, vol. 39, p. 999-1022.

HVORSLEV, M.J. (1960). **Physical components of shear strength of saturated clays.** In: Conference of Shear Strength Cohesive Soils, Boulder, Proc., ASCE, p. 169-273.

IOWA STATE UNIVERSITY (2012). **Ring shear devices.** Disponível em: <<http://www.ge-at.iastate.edu/iverson-rsd/>> Acessado em novembro de 2012.

KANJI, M.A. (1974). **The relationship between drained friction angles and Atterberg limits of natural soils.** Géotechnique, v. 24, n.4, p. 671-674.

KANJI, M.A. (1974a). **Unconventional laboratory tests for the determination of the shear strength of soil-rock contacts.** In: 3rd International Congress on Rock Mechanics, 1974, Denver, Colorado. Proceedings... Denver: ISRM, 1974. v. 3. p. 241-247.

KANJI, M.A.; WOLLE, C.M. (1977). **Residual strength – new testing and microstructure.** In: 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1977, Tokyo, Japan. Proceedings... Tokyo: The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineer, 1977. 3v. vol.1, p. 153-154.

KANJI, M.A. (1998). **Determinação de σ_{res} de solos argilosos por ensaios de cisalhamento direto de interface lisa.** In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11.. Brasília. Anais... Brasília: ABMS, 1998. 3v, v. 2, p.713-719.

KENNEY, T.C. (1967). **The influence of mineral composition on the residual strength of natural soils.** In: Geotechnical Conference on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks, 1967, Oslo, Norway. Proceedings... Oslo: Norwegian Geotechnical Institute, 1967. 2v. vol. 1, p. 123-129.

KENNEY, T.C. (1977). **Residual strengths of mineral mixtures.** In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 9., 1977, Tokio, Japan. Proceedings... 3v, v.1, p. 155-160.

LACERDA, W.A.; SILVEIRA, G.C. (1992). **Características de resistência ao cisalhamento e de compressibilidade dos solos residuais e coluvionares da encosta do Soberbo, RJ.** In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1., 1992, Rio de Janeiro – RJ, Anais... Rio de Janeiro: ABMS, 1992. 2v., v.2, p. 445-461.

LA GATTA, D. P. (1970). **Residual strength of clays and clay-shales by rotation shear tests**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University. Harvard Soil Mechanics Series, nº 86.

LEMONS, L.J.L. (1986) **The effect rate of rate on the residual strength od soil**. PhD **Theses**, University of London.

LINHARES, R.M. (2011). **Análises de estabilidade de um talude rodoviário em solo residual**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

LITTLETON, I. (1976). **An experimental study of the adhesion between clay and steel**. J. Terramech, v. 13, n. 3, p. 141-152.

LODI, P.C. (2007). **Resistência ao cisalhamento de solos**, 1 ed. Ilha Solteira, v.1, 34p.

LUPINI, J.K.; SKINNER, A.E.; VAUGHAN, P.R. (1981). **The drained residual strength of cohesive soils**. Géotechnique, v. 31, n. 2, p. 181-213.

MAKSIMOVIC, M. (1989). **On the residual shering strength of clays**. Géotechnique, v.39, n.2, p. 347-351.

MARTINELLO, I.; RIGO, M.L.; SILVEIRA, R.M.; BICA, A.V.D.; et al. (2004). **Ensaio ring shear: comparação de procedimentos normalizados**. In: Geosul, Anais... 2004.

MITCHELL, J.K. (1993). **Fundamentals of soil behavior**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1993. 437p.

MOORE, R. (1988). **The clay mineralogy, weathering and mudslide behavior of coastal cliffs**. PhD Thesis - University of London.

MOORE, R. (1991). **The chemical and mineralogical controls upon the residual strength of pure and natural clays**. Géotechnique, v. 41, n. 1, p. 35-47.

PERAZZOLO, L. (2003). **Estudo geotécnico de dois taludes da Formação Serra Geral, RS**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2003.

PINHEIRO, R.J.B.; BRESSANI, L.A.; BICA, A.V.D. (1997). **A study on the residual shear strength of two unstable slopes in the state of Rio Grande do Sul**. In: 2nd Pan-American Symposium on Landslides, 2nd Brazilian Conference on Slope Stability, Rio de Janeiro, Anais... 2v. v.1, p. 443-452.

PINHEIRO, R.J.B.; BRESSANI, L.A.; BICA, A.V.D.; et al. (1998). **Resistência ao cisalhamento residual de alguns solos do estado do Rio Grande do Sul**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11., Brasília, Anais... Brasília: ABMS, 1998. 3v. v.1, p. 35-42.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 2^o ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2000.

PINTO, C.S.; GOBARA, W.; PERES, J.E.E.; NADER, J.J. (1994). **Propriedades dos solos residuais, Solos do Interior de São Paulo**. ABMS, São Paulo, p. 95-142.

RAMIAH, B.K.; DAYALU, N.M.; PURUSHOTHAMARAJ, P. (1970). **Influence of chemicals on residual strength of silty clays**. Soils Foundation, v. 10, p. 10-36.

RIGO, M.L. (2000). **Resistência ao cisalhamento residual de alguns solos saprolíticos de basalto do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2000.

RIGO, M.L. (2005). **Mineralogia, intemperismo e comportamento geotécnico de solos saprolíticos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2005.

RIGO, M.L.; PERAZZOLO, L; PINHEIRO, R.J.B.; BICA, A.V.D.; et al. (2004). **Resistência ao cisalhamento residual de alguns solos da Formação Serra Geral (RS)**. Solos e Rochas, v. 27, n.3, p. 295-300.

RIGO, M.L.; PINHEIRO, R.J.B.; BRESSANI, L.A.; BICA, A.V.D.; et al. (2006). **The residual shear strength of tropical soils**. Canadian Geotechnical Journal, v.43, p. 431-447.

SÁ, G. (2010). **Caracterização litoestrutural e parametrização geomecânica das superfícies de ruptura em taludes da mina de N4E. Carajás – PA**. Dissertação (Núcleo de Geotecnia), Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

SADREKARIMI, A.; OLSON, S.M. (2009). **A new ring shear device to measure the large displacement shearing behavior of sands**. Geotechnical Testing Journal, v. 32, n.3, p. 1-12.

SILVEIRA, R.M.; FEUERHARMEL, C.; BICA, A.V.D.; BRESSANI, L.A.; et al. (2004). **Resistência ao cisalhamento saturada e não saturada de solos coluvionares do gasoduto Bolívia- Brasil**. In: Geosul, Anais... 2004.

SKEMPTON, A.W. (1985). **Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory**. Géotechnique, vol, 35, n^o 1, p. 3-18.

SKEMPTON, A.W. (1964). **Long-term stability of clay slopes**. Géotechnique, v.14, n.2, p. 77-102.

SKEMPTON, A.W.; PETLEY, D.J.(1967). **The strength along structural discontinuities in stiff clays**. In: Geotechnical Conference on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rock, 1967, Oslo, Norway. Proceedings... Oslo: Norwegian Geotechnical Institute, 1967, 2v. v. 2, p. 29-46.

SPINELLI, L.F. (1999). **Comportamento de fundações superficiais em solos cimentados**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 1999.

STARK, T.D.; EID, H.T. (1992). **Comparison of field and laboratory residual strength**. ASCE Geotechnical Special Publication n. 31, Stability and Performance of Slopes and Embankments – II, v.1, p. 876-889.

STARK, T.D.; EID, H.T. (1993). **Modified Bromhead ring shear apparatus**. Geotechnical Testing Journal, vol. 16, n° 1, p. 100-107.

STARK, T.D.; EID, H.T. (1994). **Drained residual strength of cohesive of soils**. Journal of Geotechnical Engineering, vol. 120, n° 5, p. 856-871.

STARK, T.D.; VETTEL, J.J. (1992). **Bromhead ring shear test procedure**. Geotechnical Testing Journal, v.15, n.1, p. 24-32.

SUZUKI, S. (2004). **Propriedades geomecânicas de alguns solos residuais e coluviais ao longo do oleoduto Curitiba-Paranaguá**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

TERZAGHI, K.; PECK, R.B., MESRI, G. (1996). **Soil mechanics in engineering practice**, 3rd edition. Wiley, New York. 549 p.

THE UNIVERSITY OF SYDNEY (2012). **Studies of interface behaviour between soils and particulate materials and solids**. Disponível em: <http://sydney.edu.au/engineering/civil/cgr/project_interface_behaviour.shtml> Acessado em novembro de 2012.

TIEDEMANN, B. (1937). **Über die Schubfestigkeit bindiger Böden**. Bautechnik, v.15, n. 30 and 33, p. 400-403, 433-435.

TIKA, T.E.; VAUGHAN, P.R.; LEMOS, L.J.L.J. (1996). **Fats shearing of pre-existing shear zones in soil**. Géotechnique, v.46, n.2, p. 197-233.

TIWARI, B.; BRANDON, T.L.; MARUI, H.; TULADHAR, G.R. (2005). **Comparison of residual shear strengths from back analysis and ring shear tests on undisturbed and remolded specimens**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 131, n° 9, p. 1071-1079.

TIWARI, B.; MAURI, H. (2004). **Objective-oriented multistage ring shear test for the shear strength of landslide soil**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 130, n° 2, p. 217-222.

TOWNSEND, F.C.; GILBERT, P.A. (1973). **Tests to measure residual strengths of some clay shales**. Géotechnique, v.23, n.2, p. 267-271.

TOYOTA, H.; NAKAMURA, K.; SUGIMOTO, M.; SAKAI, N. (2009). **Ring shear tests to evaluate strength parameters in various remolded soils.** *Géotechnique*, vol. 59, n° 8, p. 649-659.

TSIAMBAOS, G. (1991). **Correlation of mineralogy and index properties with residual strength of Iraklion marls.** *Engineering Geology*, v.30, p.357-369.

VASCONCELOS, M.F.C. (1992). **A resistência residual de solos determinada através do ensaio de cisalhamento por torção.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 1992.

VAUGHAN, P.R.; WALBANCKE, H.J. (1975). **The stability of cut and fill slopes in Boulder Clay.** In: *Symposium Engng Properties of Glacial Materials. Proceeding...* Birmingham.

VIECILI, C. (2003). **Determinação dos parâmetros de Resistencia do solo de Ijuí a partir do ensaio de cisalhamento direto.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2003.

VOIGHT, B. (1973). **Correlation between Atterberg plasticity limits and residual shear strength of natural soils.** *Géotechnique*, vol. 23, n° 2, p. 265-267.

WANG, G.; SASSA, K.; FUKUOKA, H; TADA, T. (2007). **Experimental study on the shearing behavior of datured silty soils based on ring shear tests.** *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering*. March, p. 319-333.

WATRY, S.M.; LADE, P.V. (2000). **Residual shear strengths of bentonites on Palos Verdes Peninsula, California.** *Slope Stability*.

WEN, B.P.; AYDIN, A.; DUZGOREN-AYDIN, N.S.; LI, Y.R.; CHEN, H.Y.; XIAO, S.D. (2007). **Residual strength of slip zones of large landslides in the Three Gorges area, China.** *Engineering Geology*, n° 93, p. 82-98.

WESLEY, L.D. (1977). **Shear strength properties of halloysite and allophane clays in Java, Indonesia.** *Géotechnique*, v.27, n.2, p. 125-136.

YAGI, N.; YATABE, R.; ENOKI, M. (1992). **Stability analyses for landslides using ring shear result.** In: *International Symposium on Landslides, 6., 1992, New Zealand. Proceedings...* Rotterdam: A. A. Balkema, 1991. 3v, v.1, p. 607-612.

YANG, H.; XIAO, J.; WANG, S. ZUO, W. (2009). **Study on the determination of residual shear strength for expansive soil.** In: *GeoHunan International Conference*.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Célula da amostra

Peça 01 – Base da célula

Peça 02 – Anel de confinamento superior externo

Peça 03 – Anel de confinamento inferior externo

Peça 04 – Anel de confinamento superior interno

Peça 05 – Anel de confinamento inferior interno

Peça 06 – Anel de alinhamento

Peça 07 – Anel de carregamento superior

Peça 08 – Anel de carregamento inferior

Peça 09 – Pedra porosa

Peça 10 – Acrílico

Sistema de aplicação da carga

Peça 11 – Braço de alavanca

Peça 12 – Fuso do contrapeso

Peça 13 – Braço de contrapeso

Peça 14 – Buchas do braço de contrapeso

Peça 15 – Porca do contrapeso

Peça 16 – Contrapeso

Peça 17 – Manípulo do contrapeso

Peça 18 – Apoio do braço de alavanca

Peça 19 – Eixo do apoio do braço de alavanca

Peça 20 – Manilha de carregamento

Peça 21 – Eixo da manilha de carregamento

Peça 22 – Eixo côncavo superior

Peça 23 – Eixo côncavo inferior

Peça 24 – Torque-livre

Peça 25 – Tampa da peça de torque-livre

Peça 26 – Eixo principal externo

Peça 27 – Eixo principal interno

Peça 28 – Porca do eixo principal interno

Peça 29 – Braço de torque

Peça 30 – Blocos de carregamento

Peça 31 – Hangar de carregamento (a) suporte, (b) haste, (c) base

Peça 32 – Peso 250g

Peça 33 – Peso 500g

Peça 34 – Peso 1kg

Peça 35 – Peso 2kg

Peça 36 – Peso 5kg

Peça 37 – Peso 10kg

Peça 38 – Peso 20kg

Sistema de controle de aberturas dos anéis de confinamento

Peça 39 – Dispositivo de ligação (a) base (b) corpo (c) cabeçote

Peça 40 – Pórtico

Peça 41 – Parafuso diferencial e porca

Peça 42 – Braçadeira transdutores

Sistema de medição do torque

Peça 43 – Coluna rígida

Peça 44 – Porca da coluna rígida

Peça 45 – Apoio deslizante da célula de carga 01

Peça 46 – Pino deslizante da célula de carga 01

Sistema de cisalhamento

Peça 47 – Mesa base do equipamento

Peça 48 – Mesa rotativa

Peça 49 – Apoio da mesa rotativa

Peça 50 – Engrenagem de diâmetro de 400 mm

Peça 51 – Engrenagem de diâmetro de 40mm

Peça 52 – Mancal do eixo da engrenagem de 40mm

Peça 53 – Tampa do mancal do eixo da engrenagem de 40mm

Peça 54 – Eixo da engrenagem de 40mm

Peça 55 – Flange da engrenagem de 40mm

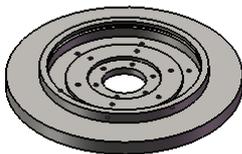
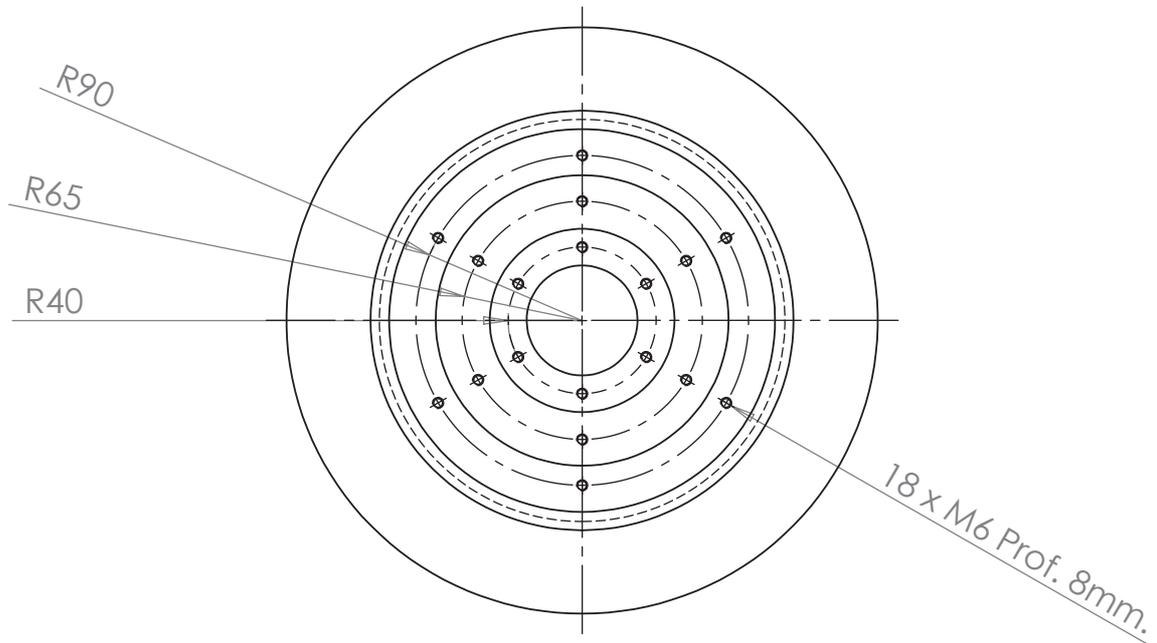
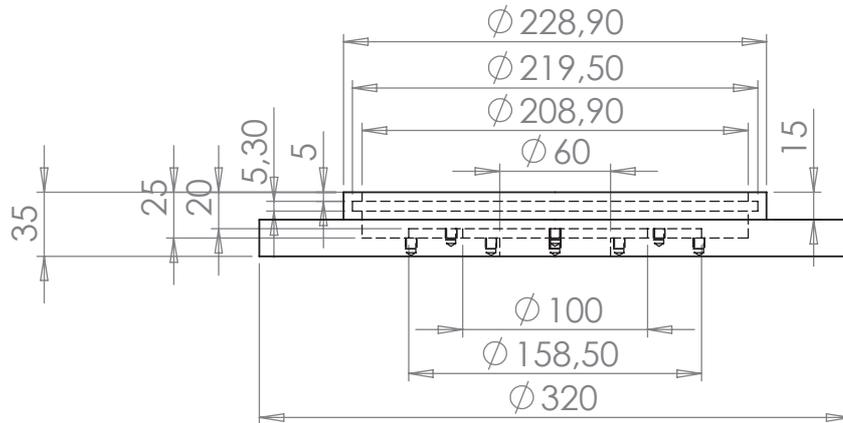
Peça 56 – Engrenagem 80 mm

Peça 57 – Flange redutor-redutor

Peça 58 – Eixo do redutor-redutor

Peça 59 – Flange redutor-motor

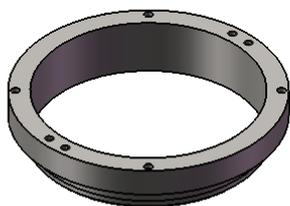
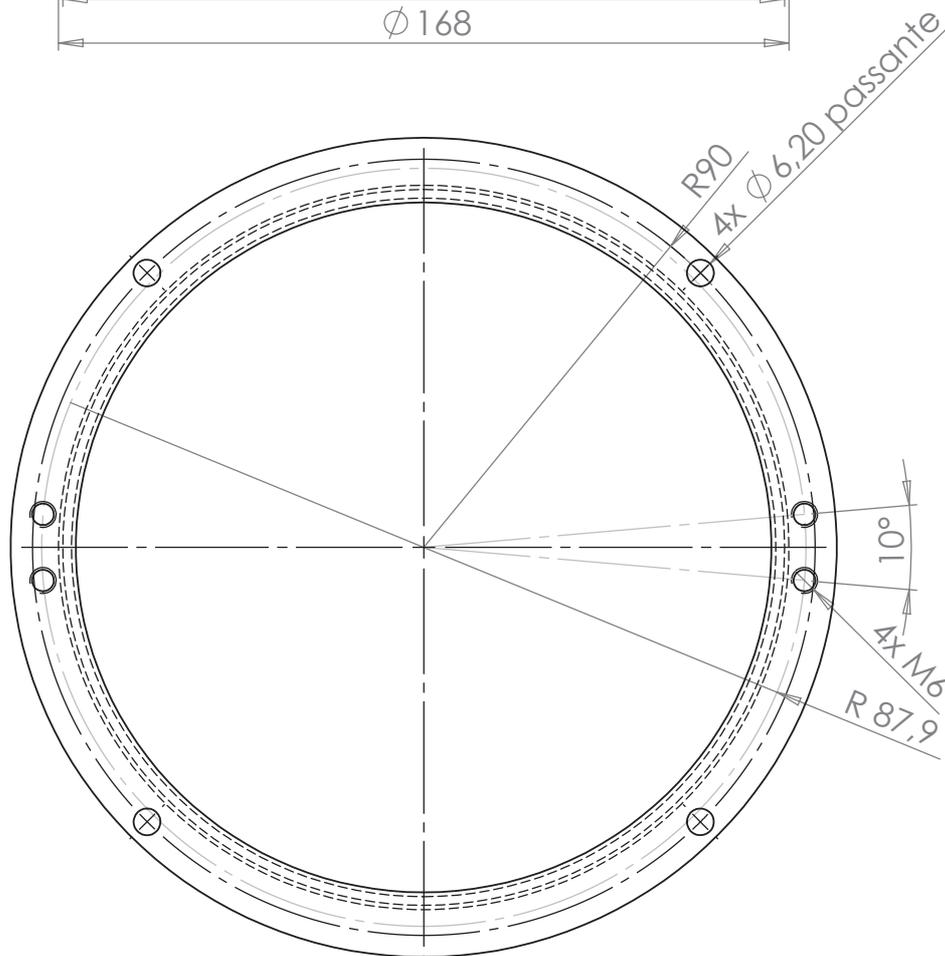
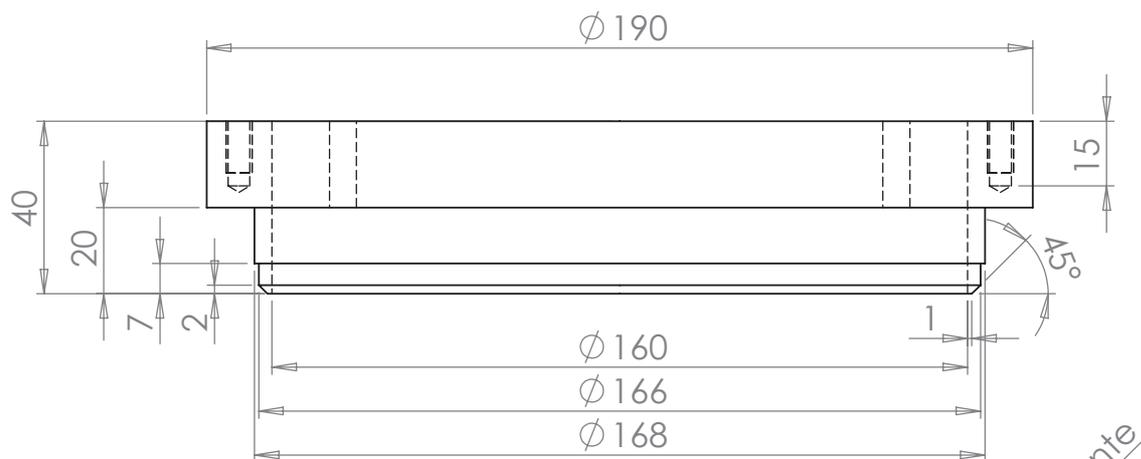
Peça 60 – Eixo do redutor-motor



Mat. Inox 304.
Quant. 01 Oç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

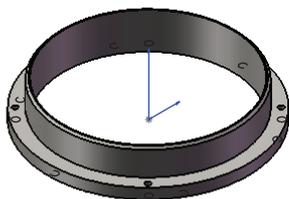
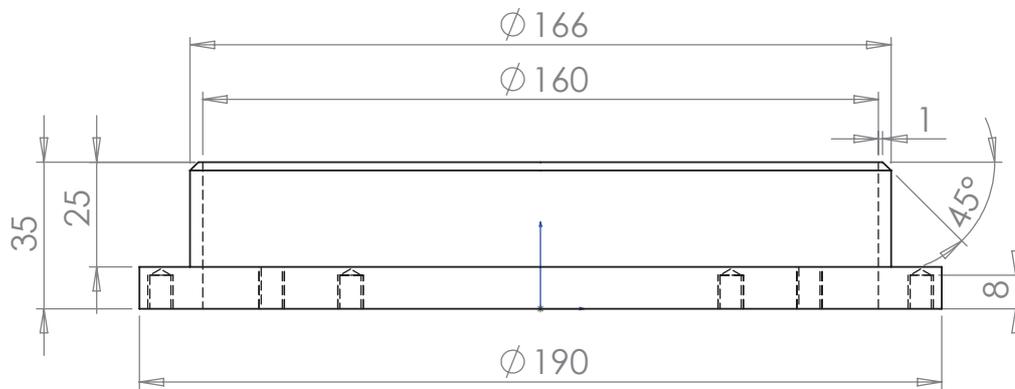
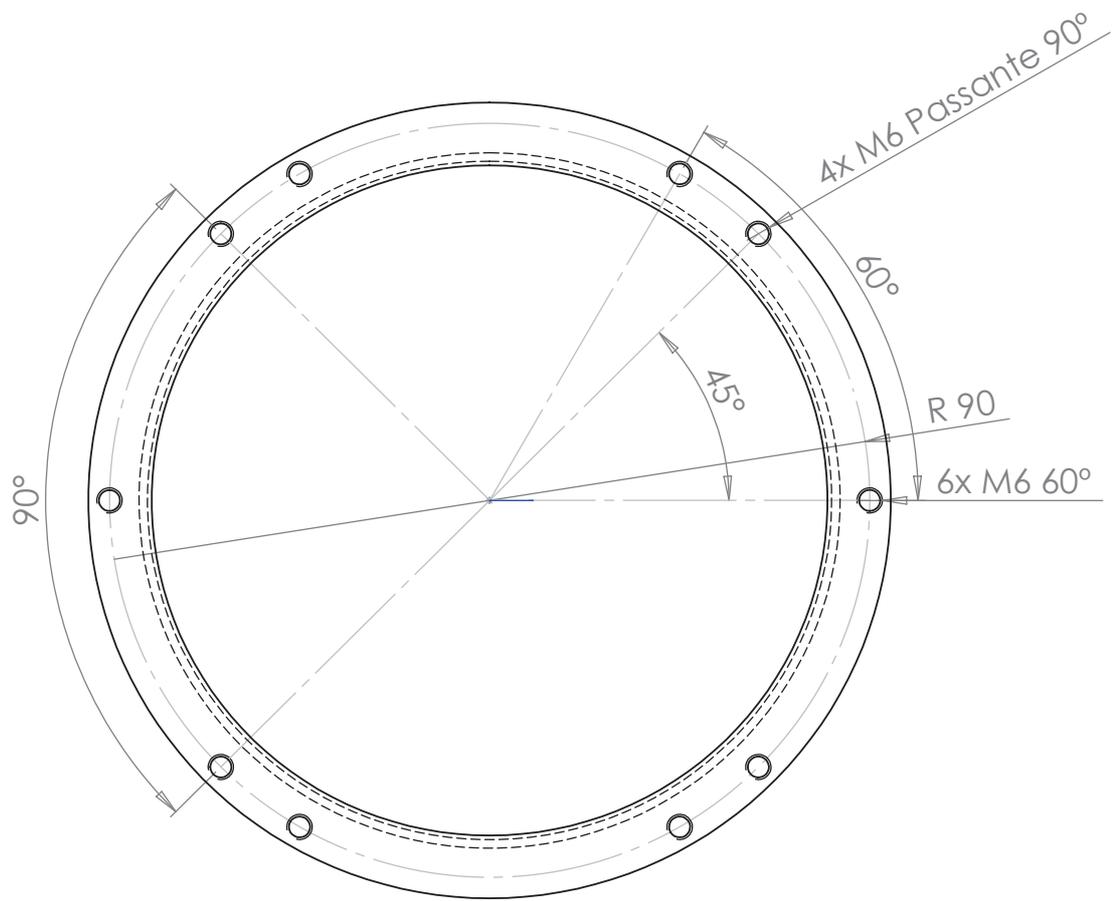
		DIMENSÕES EM MILIMETROS		NOME		DATA	
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO			
		FRACIONAL \pm		VERIFICADO			
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		APROV. ENG.			
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.			
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		QUALIDADE:			
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:			
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO					
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.					
				TAM	DES. Nº	REV.	
				A	Peça 01		
				ESCALA:1:10	PESO:	FOLHA 1 DE 1	



Mat.: INOX 304
 Quant.: 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
 AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

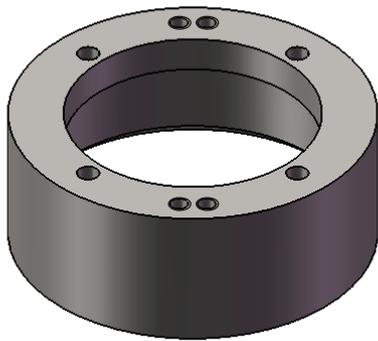
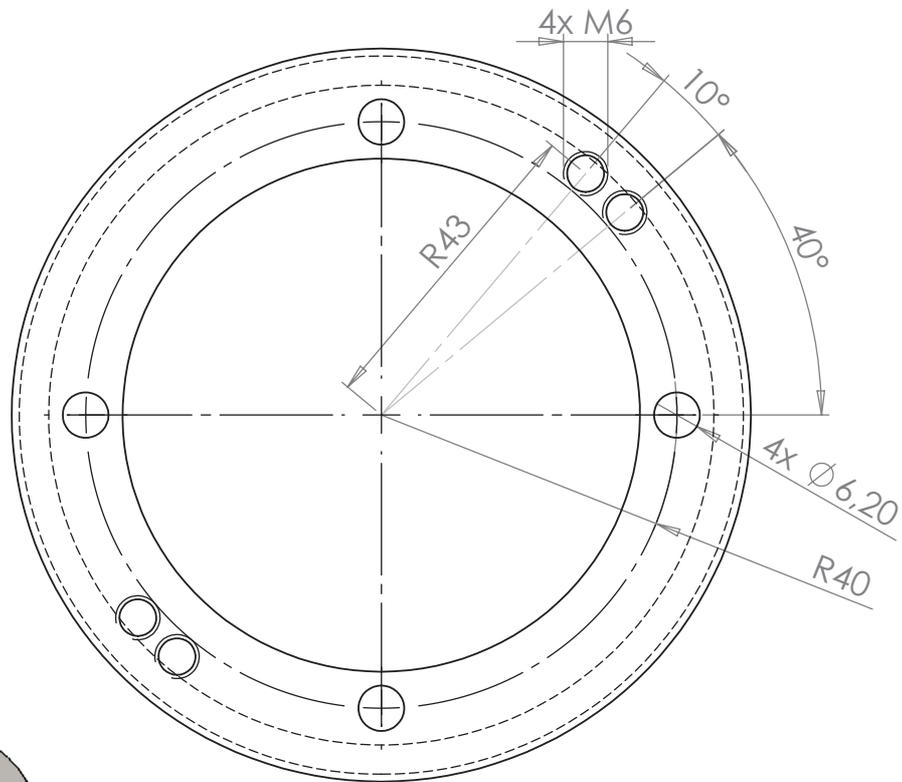
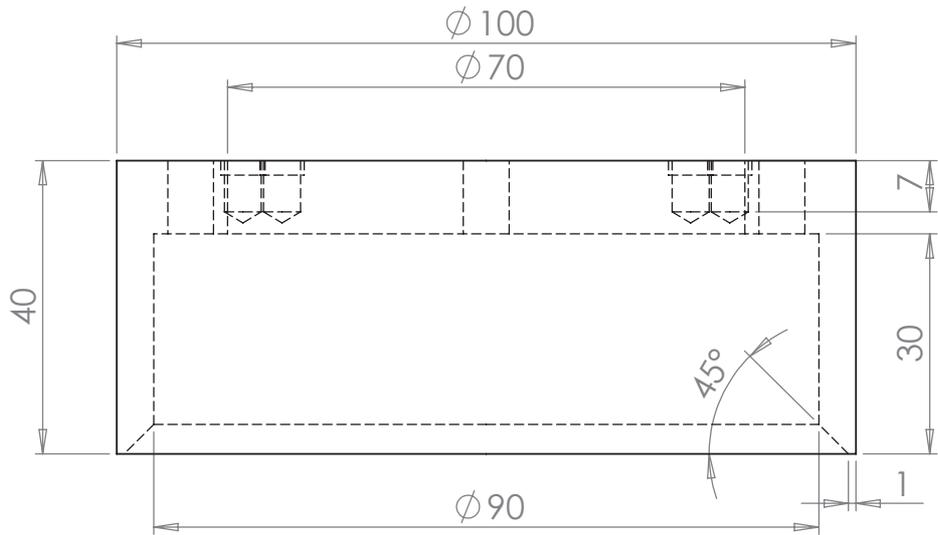
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL ±	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS ±	APR. MANUF.		
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±	QUALIDADE:		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. Nº	REV.
			A	Peça 02	
			ESCALA:1:5	PESO:	FOLHA 1 DE 1



Mat.: INOX 305
Quant.: 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

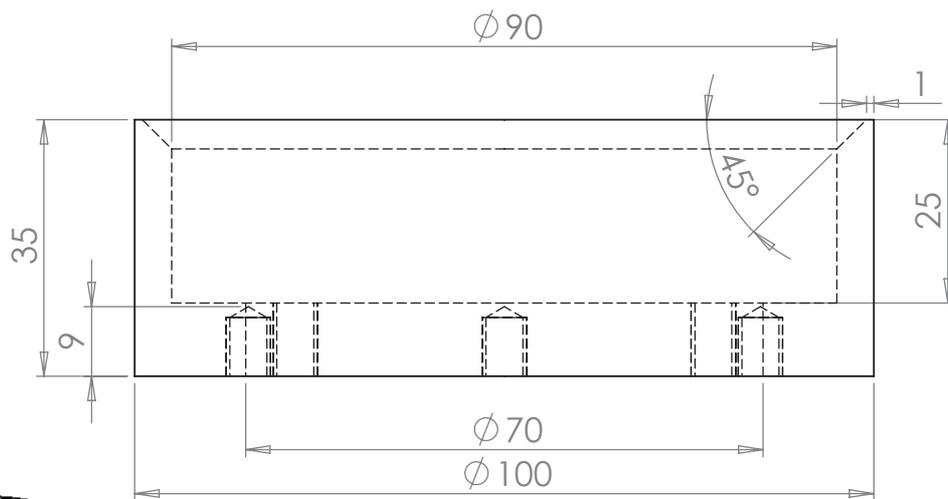
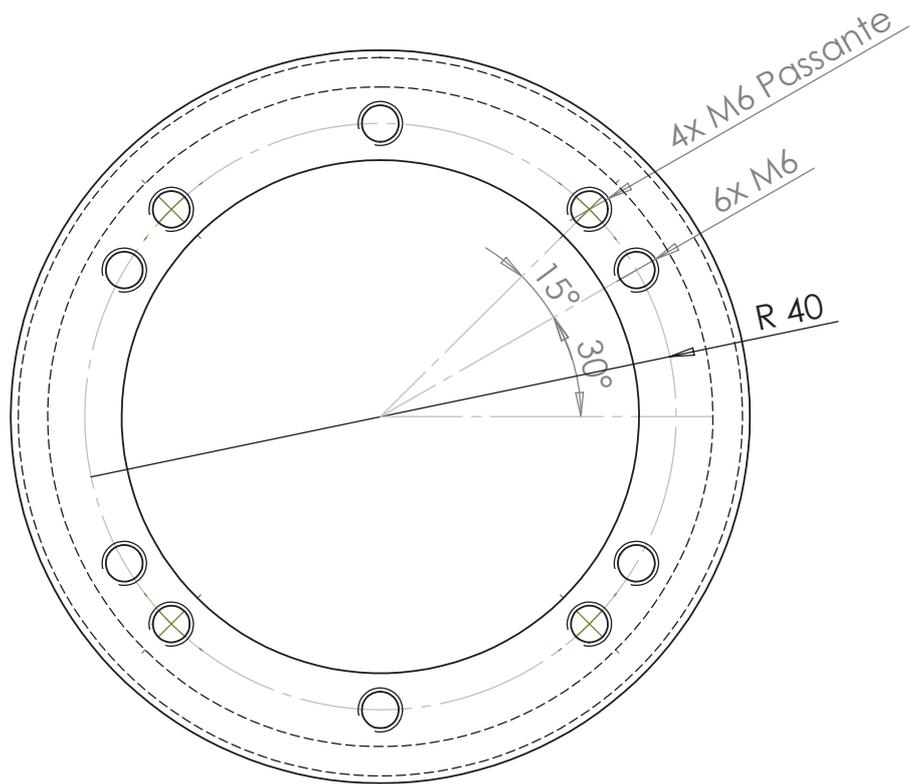
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. N°
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 03
				ESCALA: 1:5	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	



Mat.: INOX 304
Quant.: 01Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

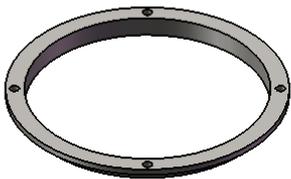
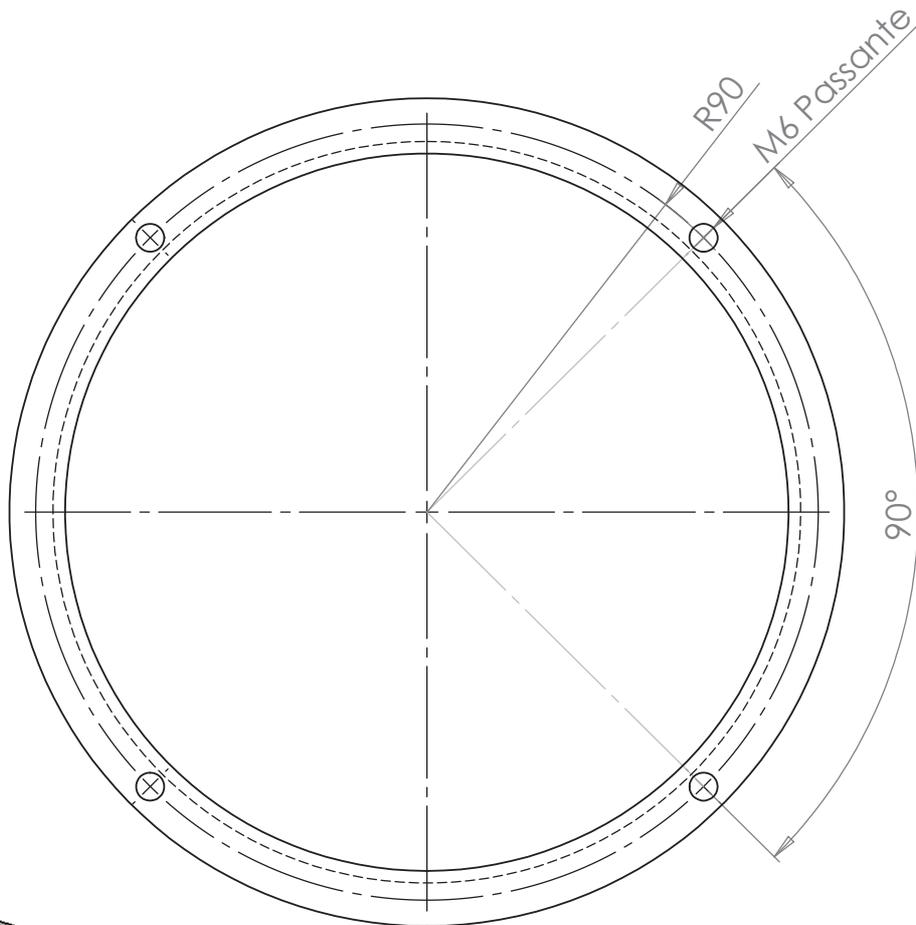
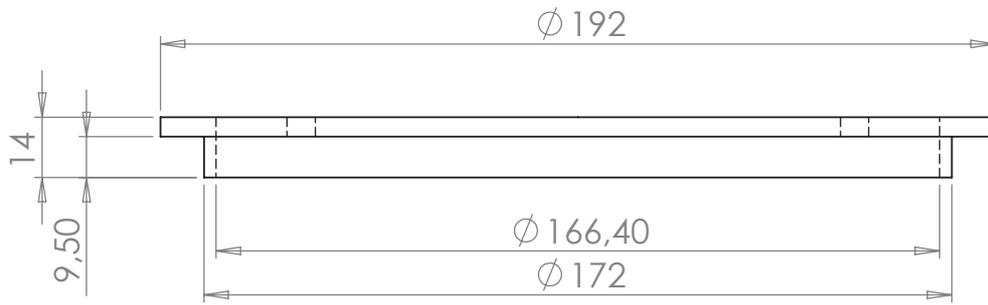
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS TOLERÂNCIAS: FRACIONAL ± ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ± DUAS CASAS DECIMAIS ± TRÊS CASAS DECIMAIS ±		NOME	DATA
		MATERIAL	DESENHO		
		ACABAMENTO	VERIFICADO		
PRÓX. MONT.	USADO EM		APROV. ENG.		
			APR. MANUF.		
			QUALIDADE		
			COMENTÁRIOS:		
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. Nº	REV.
			A	Peça 04	
			ESCALA:1:2	PESO:	FOLHA 1 DE 1



Mat.: INOX 304
Quant.: 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL ±	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS ±	APR. MANUF.		
		TRES CASAS DECIMAIS ±	QUALIDADE:		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. Nº	REV.
			A	Peça 05	
			ESCALA:1:2	PESO:	FOLHA 1 DE 1

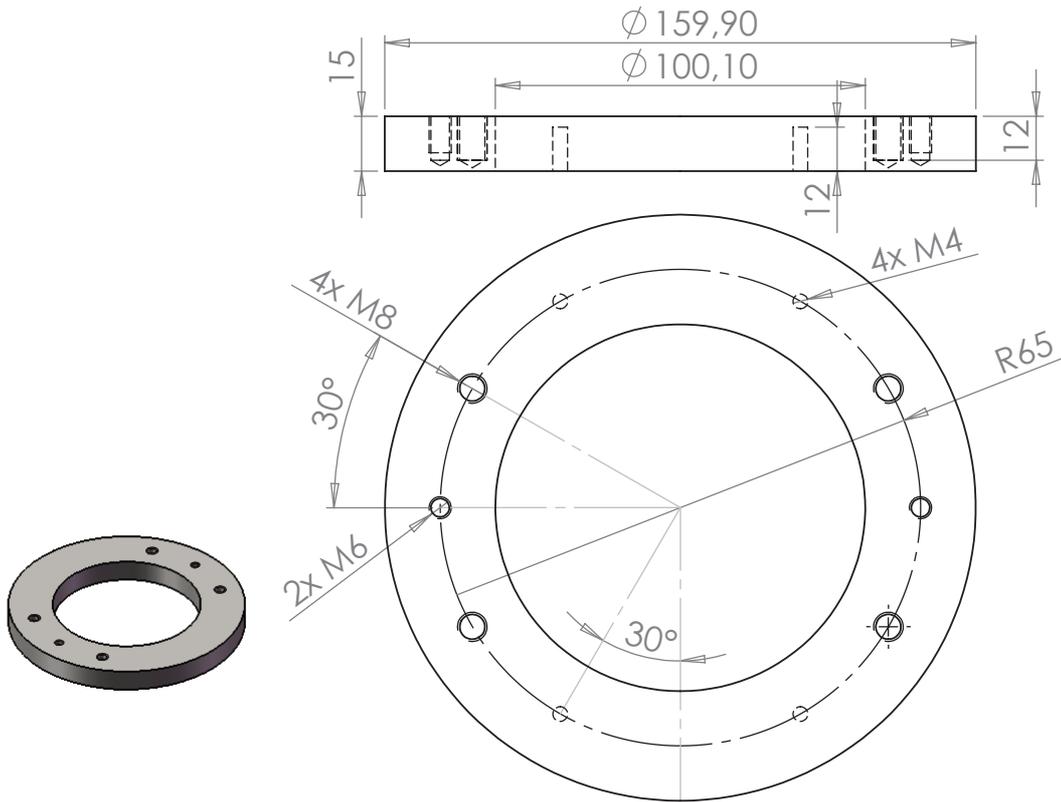


Mat.: INOX 304
Quant.: 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

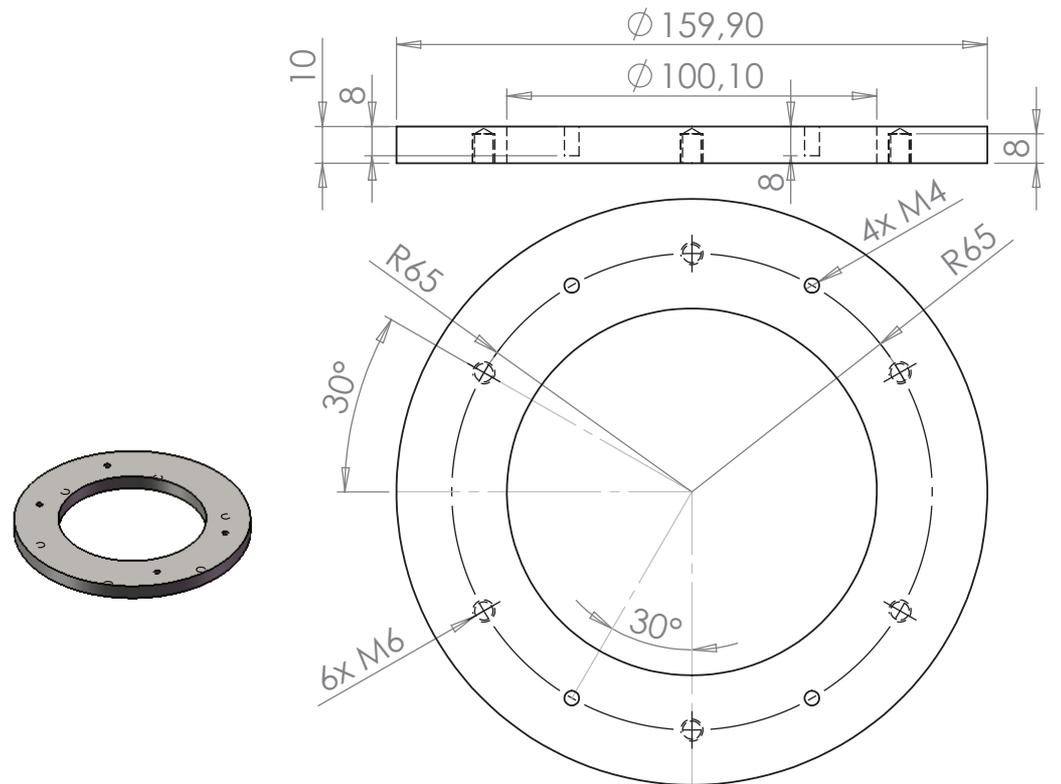
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME		DATA	
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO			
		FRACIONAL ±		VERIFICADO			
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.			
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.			
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE:			
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:			
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO				TAM	DES. Nº
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.				A	Peça 06
APLICATIVO						ESCALA:1:5	PESO:
						REV.	
						FOLHA 1 DE 1	

Peça 07



Mat.: INOX 304
Quant.: 01Pç.

Peça 08

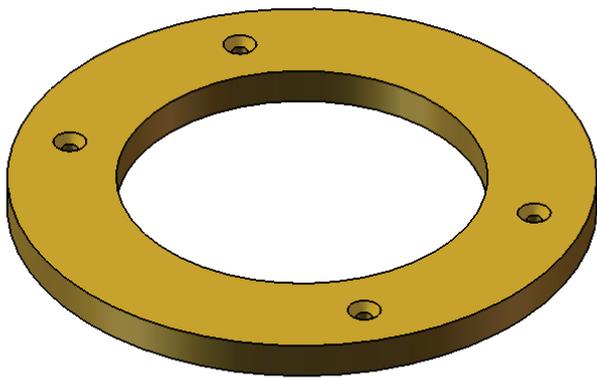
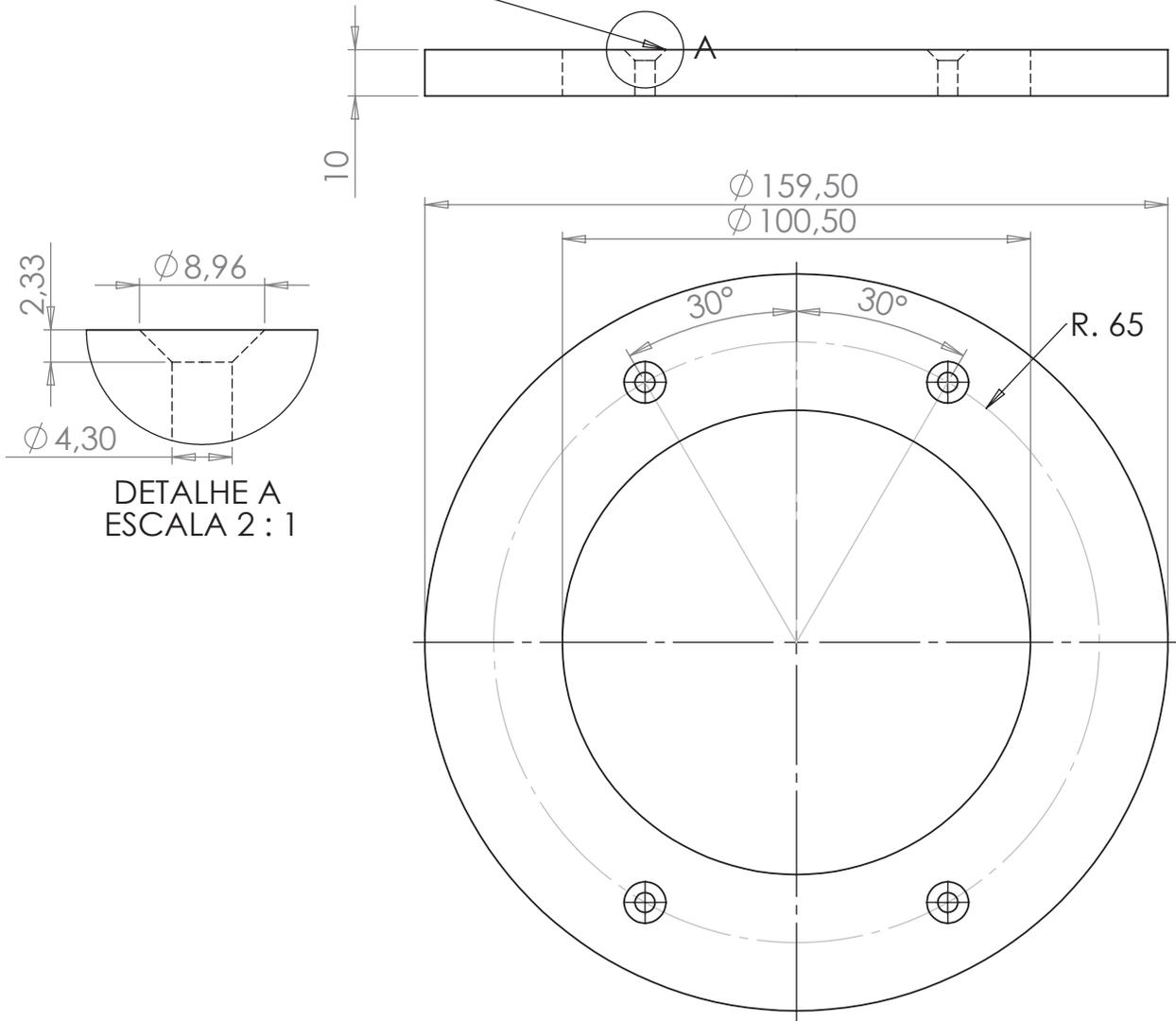


Mat.: INOX 304
Quant.: 01Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS TOLERÂNCIAS: FRACIONAL ± ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ± DUAS CASAS DECIMAIS ± TRÊS CASAS DECIMAIS ±	DESENHO	NOME	DATA
		MATERIAL	VERIFICADO		
		ACABAMENTO	APROV. ENG.		
PRÓX. MONT.	USADO EM		APR. MANUF.		
			QUALIDADE		
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.	COMENTÁRIOS:		
			TAM	DES. N°	REV.
			A	Peça 07 e 08	
			ESCALA:1:5	PESO:	FOLHA 1 DE 1

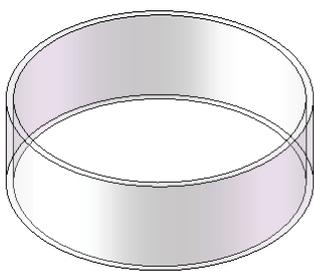
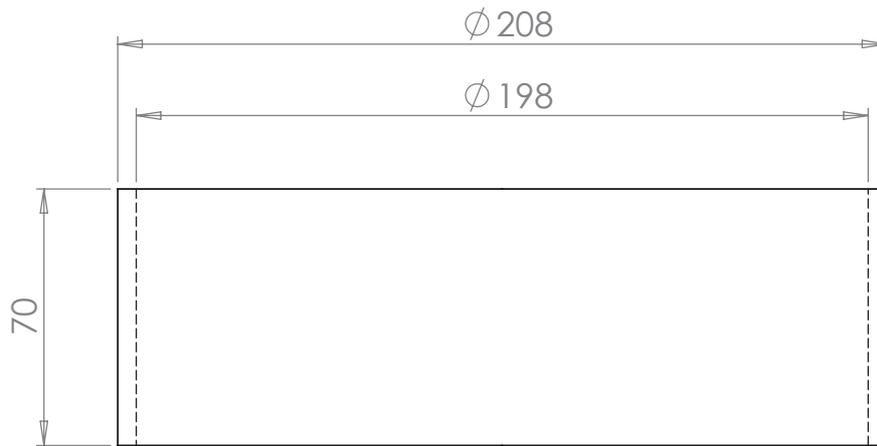
Rebaixe parafuso M4 cab. escareada



Quant. 02 Peças.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME		DATA	
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO			
		FRACIONAL \pm		VERIFICADO			
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		APROV. ENG.			
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.			
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		QUALIDADE:			
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:			
		ACABAMENTO					
PRÓX. MONT.	USADO EM	NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		TAM		DES. N°	
APLICATIVO				A		Peça 09	
				ESCALA: 1:5		PESO:	
						REV.	
						FOLHA 1 DE 1	

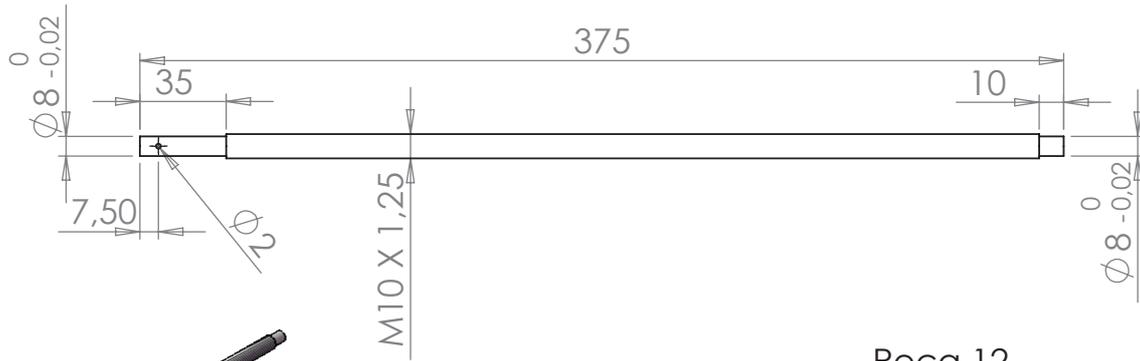
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
 AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.



Mat. Acrílico.
Quant. 01 Pç.

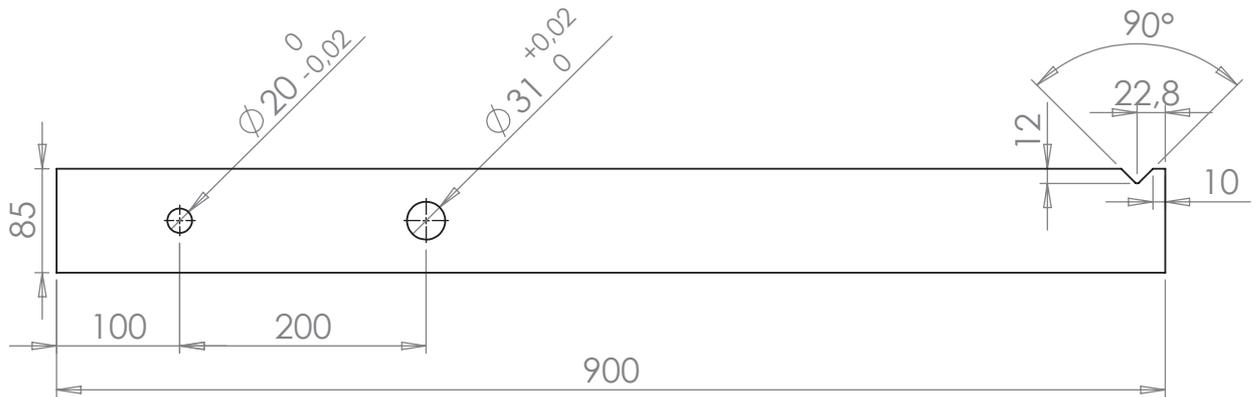
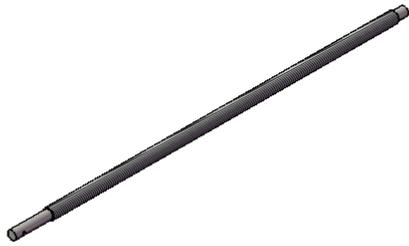
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL \pm		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		QUALIDADE	
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		APLICATIVO	NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		
TAM	DES. Nº	Peça 10			REV.
A		ESCALA: 1:5	PESO:	FOLHA 1 DE 1	



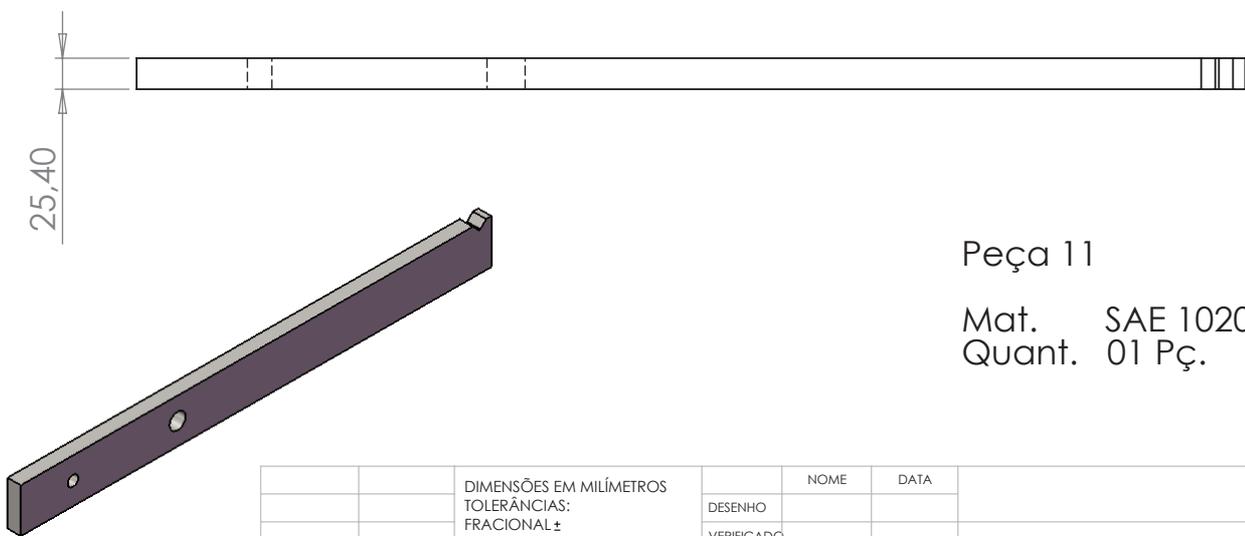
Peça 12.

Mat. SAE 1020
Quant. 01 Pç.



Peça 11

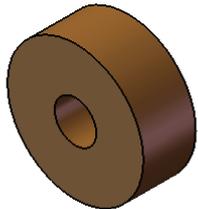
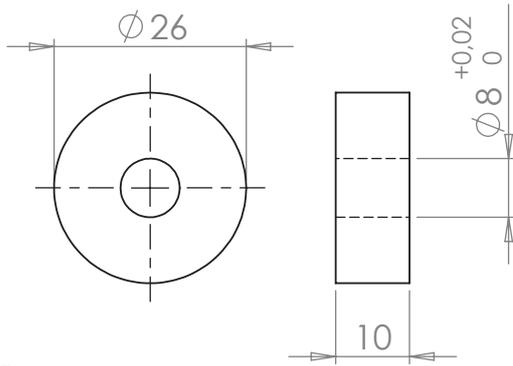
Mat. SAE 1020
Quant. 01 Pç.



25,40

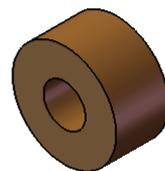
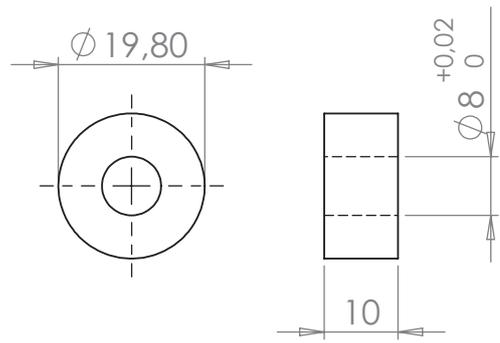
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL ±	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS ±	APR. MANUF.		
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±	QUALIDADE		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
APLICATIVO			TAM	DES. Nº	REV.
			A	Peça 11 e 12	
			ESCALA:1:10	PESO:	FOLHA 1 DE 1



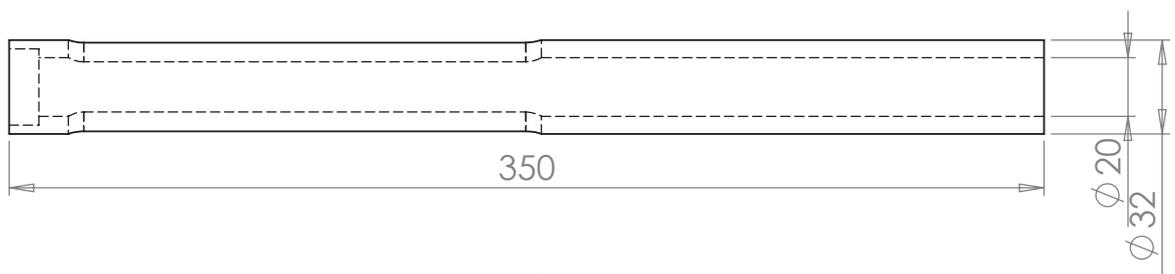
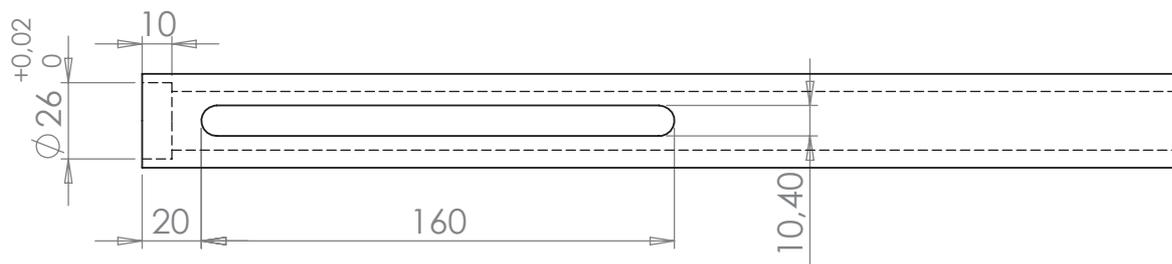
Peça 14b

Mat.: Bronze TM23
Qunat.: 01 Pç.



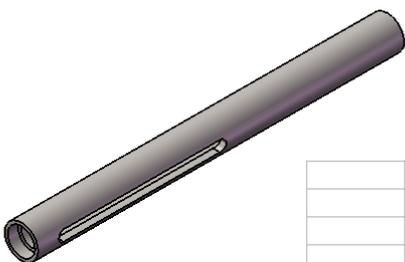
Peça 14a

Mat.: Bronze TM23
Qunat.: 01 Pç.



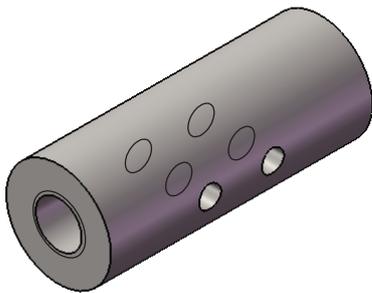
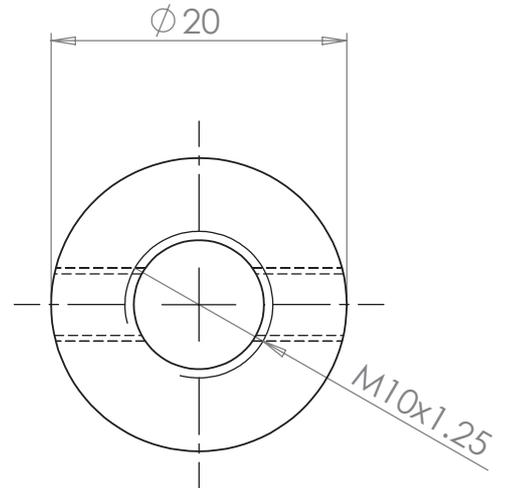
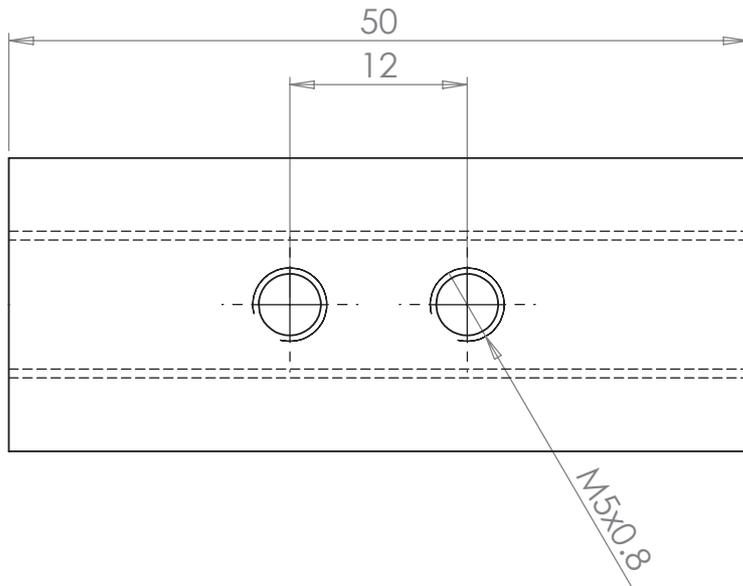
Peça 13

Mat.: Tubo mecânico
Qunat.: 01 Pç.



INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

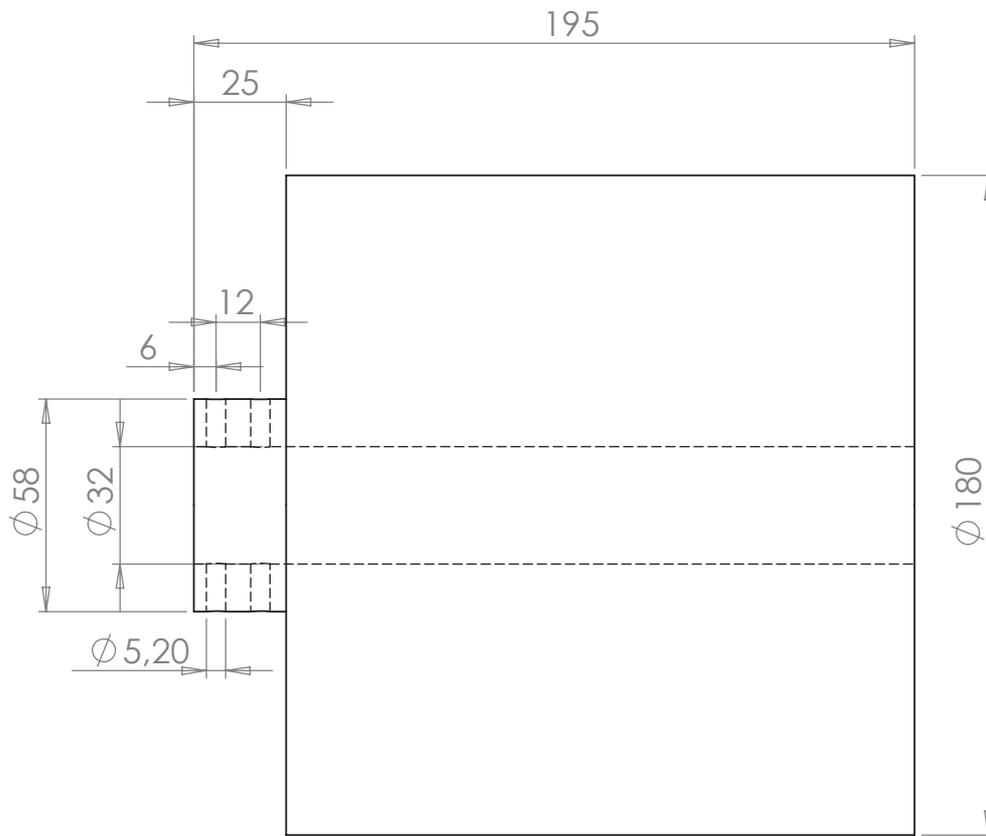
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL ±	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS ±	APR. MANUF.		
		TRES CASAS DECIMAIS ±	QUALIDADE:		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. Nº	REV.
			A	Peças 13 e 14	
			ESCALA:1:5	PESO:	FOLHA 1 DE 1



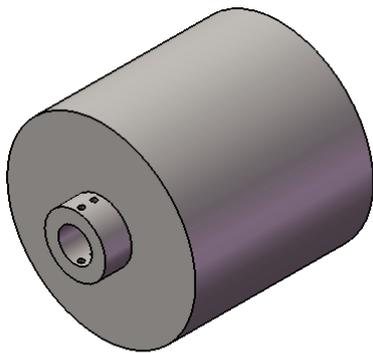
Mat. 1045
Quant. 01 Pç.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:			
		FRACIONAL \pm		DESENHO	
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		VERIFICADO	
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APROV. ENG.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.	
		MATERIAL		QUALIDADE	
		ACABAMENTO		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM			TAM	DES. N°
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 15
				ESCALA:1:1	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.



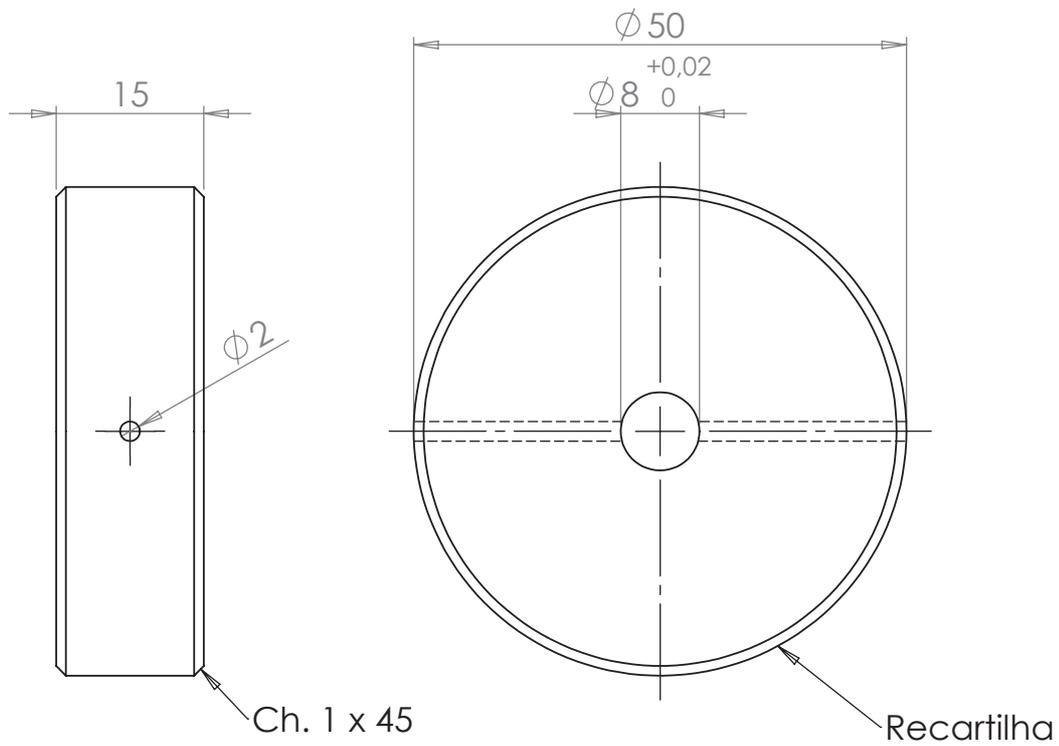
Peso 33,449 Kg.



Mat. SAE 1045
Quant. 01 Pç.

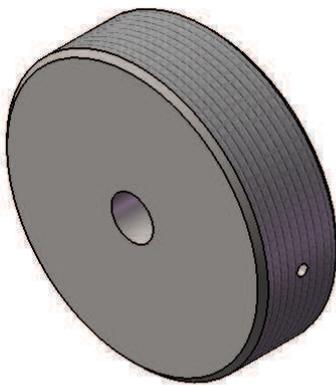
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
TAM	DES. Nº	Peça 16			REV.
A		ESCALA:1:5			PESO:
					FOLHA 1 DE 1



Ch. 1 x 45

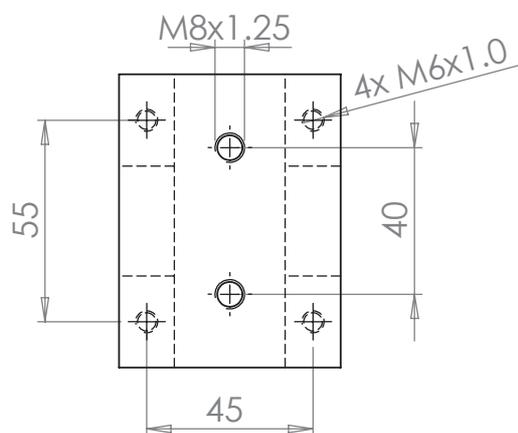
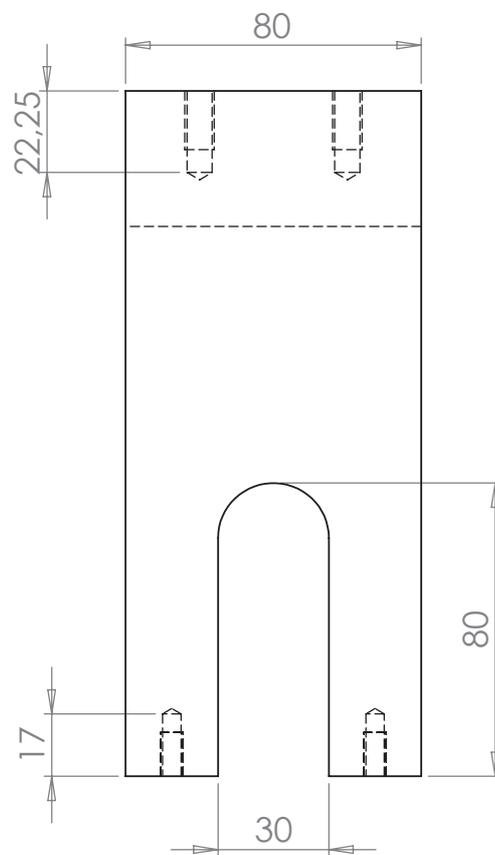
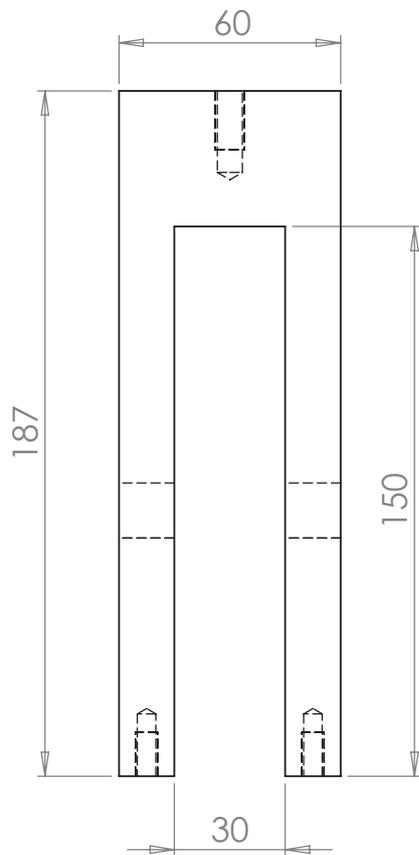
Recartilha



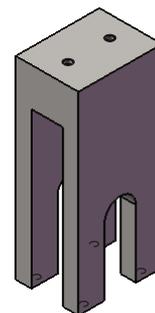
Mat.: SAE 1045
Qunat.: 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL \pm	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm	APR. MANUF.		
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm	QUALIDADE		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. N°	REV.
			A	Peça 17	
			ESCALA:1:1	PESO:	FOLHA 1 DE 1

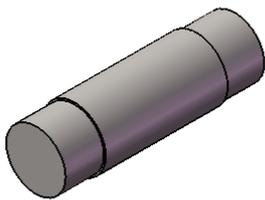
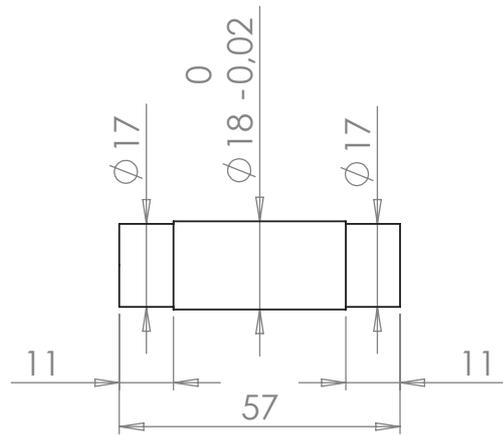


Mat; 1020
Quant. 01 Pç.



		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. Nº
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 18
				ESCALA:1:2	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

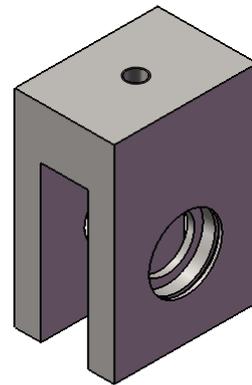
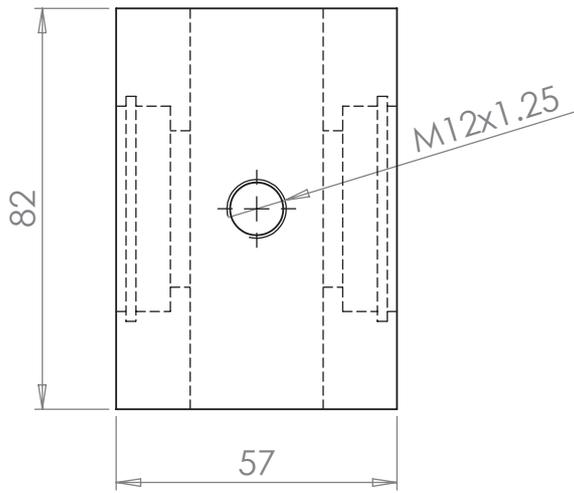
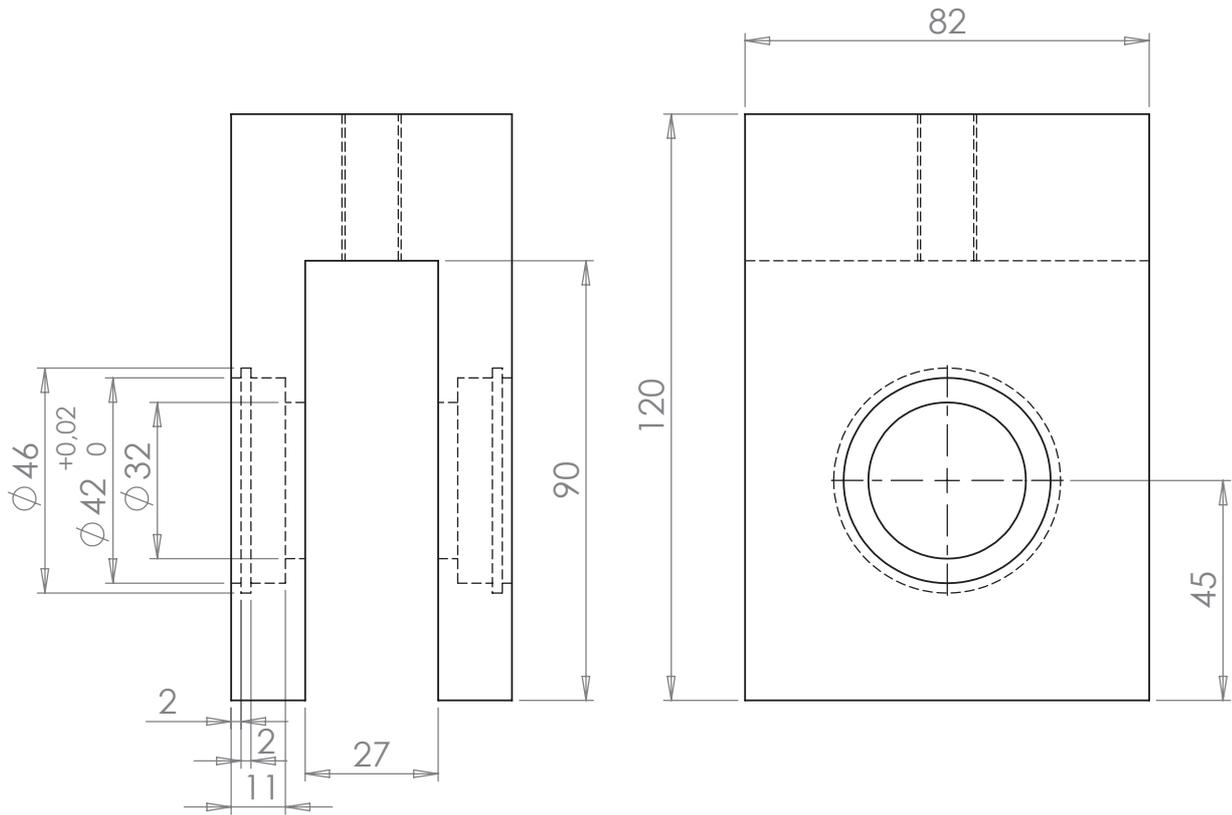
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.



Mat.: SAE 4140
Qunat.: 01 Pç.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:			
		FRACIONAL \pm		DESENHO	
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		VERIFICADO	
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APROV. ENG.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.	
		MATERIAL		QUALIDADE	
		ACABAMENTO		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM			TAM	DES. Nº
				A	Peça 19
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		ESCALA:1:1	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

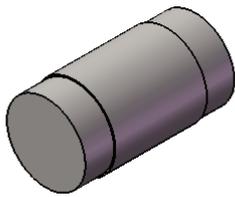
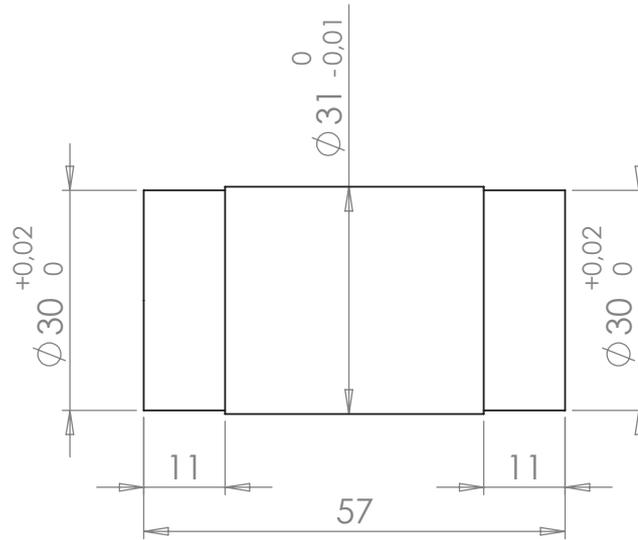
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.



Mat. 1020
Quant. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

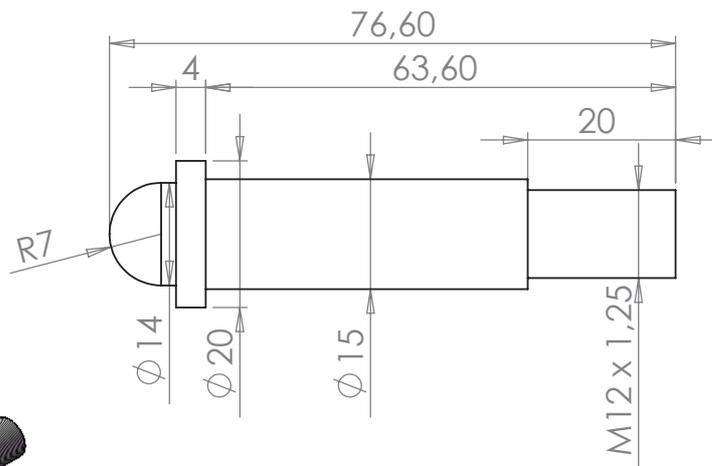
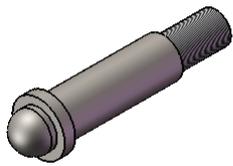
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS TOLERÂNCIAS: FRACIONAL ± ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ± DUAS CASAS DECIMAIS ± TRÊS CASAS DECIMAIS ±		NOME	DATA
			DESENHO		
			VERIFICADO		
			APROV. ENG.		
			APR. MANUF.		
			QUALIDADE		
			COMENTÁRIOS:		
		MATERIAL			
		ACABAMENTO			
PRÓX. MONT.	USADO EM				
		APLICATIVO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. Nº	REV.
			A	Peça 20	
			ESCALA:1:2	PESO:	FOLHA 1 DE 1



Mat. 4140
Quant. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

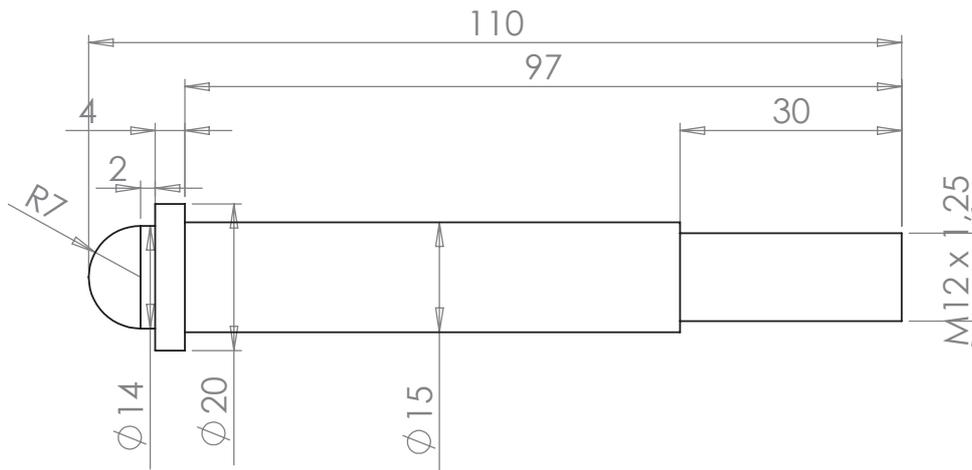
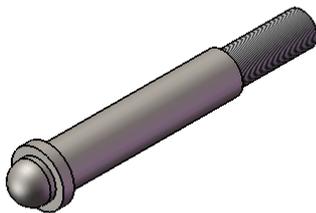
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL \pm		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
TAM	DES. Nº	Peça 21			REV.
A		ESCALA:1:1 PESO:			FOLHA 1 DE 1



Peça 22

Mat. 4340
Quant. 01 Pç.

Temperar!



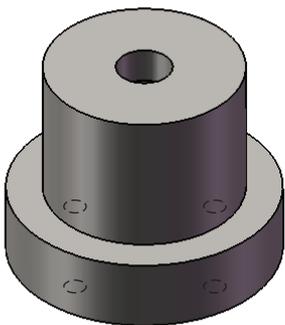
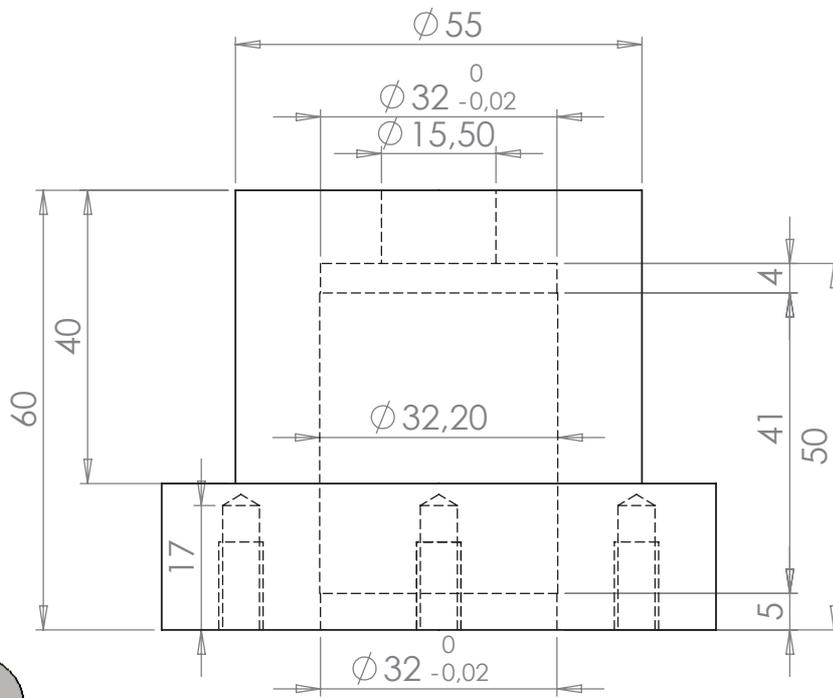
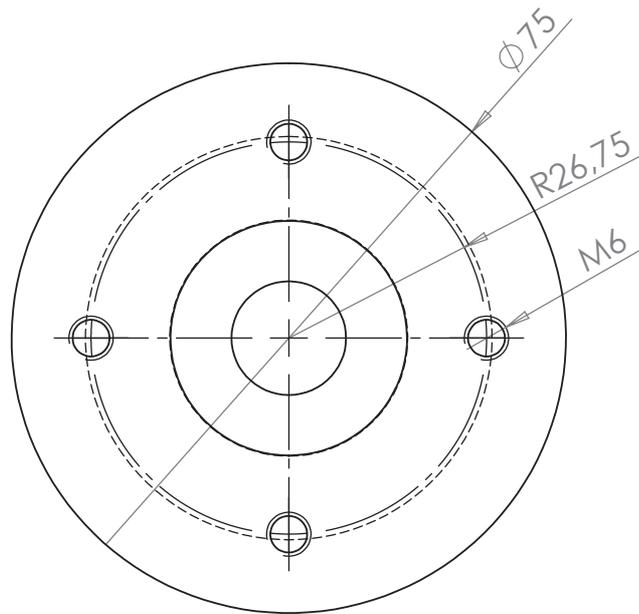
Peça 23

Mat. 4340
Quant. 01 Pç.

Temperar!

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL ±	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS ±	APR. MANUF.		
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±	QUALIDADE		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. Nº	REV.
			A	Peça 22 e 23	
			ESCALA:1:1	PESO:	FOLHA 1 DE 1

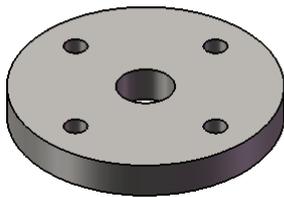
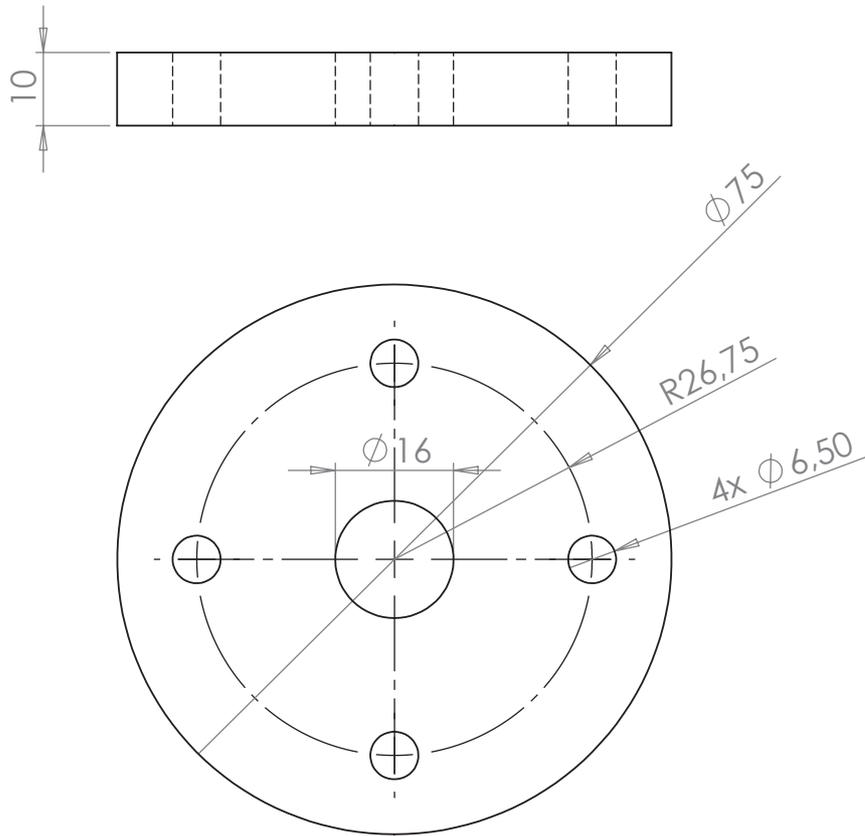


Rolamemnto Padrão:
 $\varnothing 32\text{mm.} \times \varnothing 15\text{mm.} \times 13\text{mm.}$

Mat.: SAE 1045
 Qunat.: 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
 AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

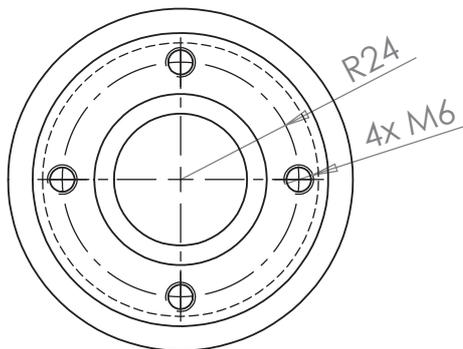
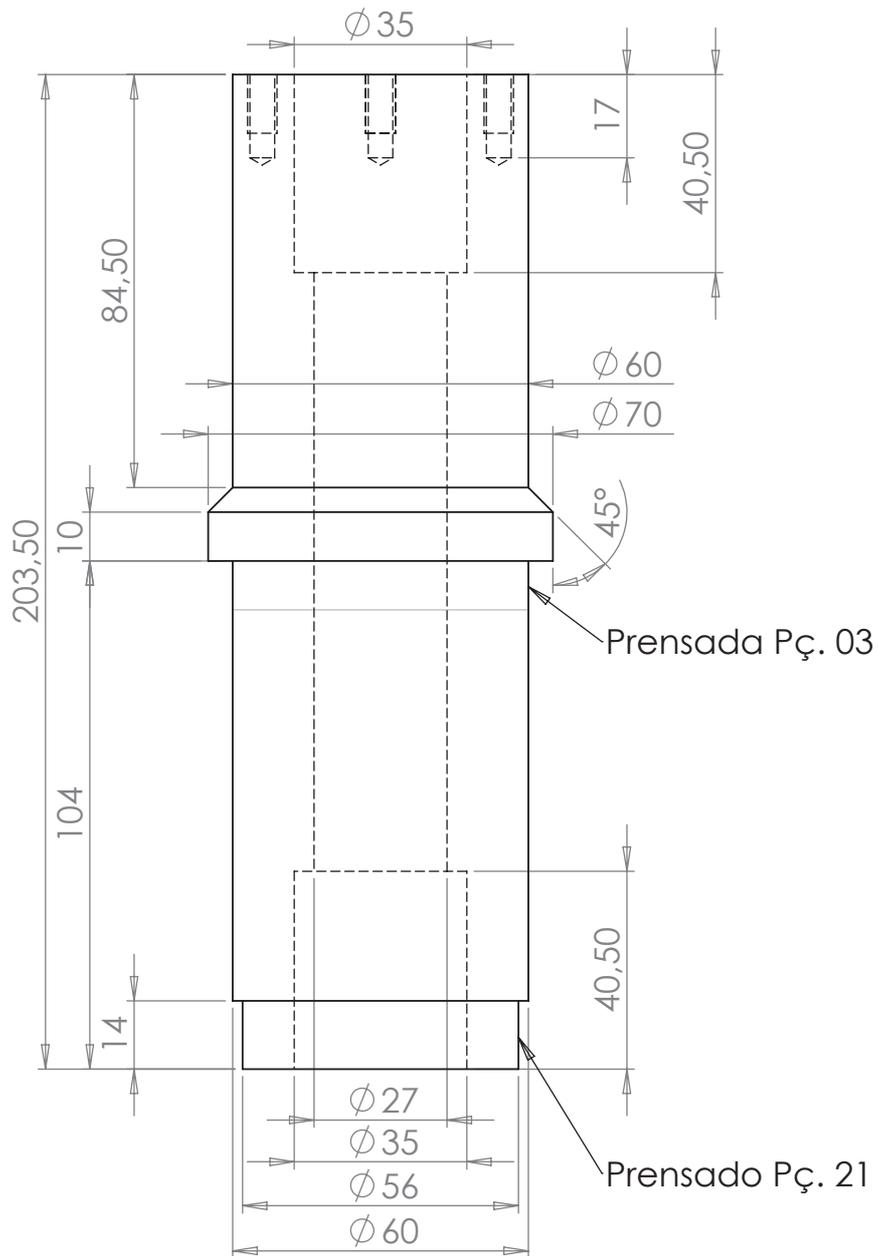
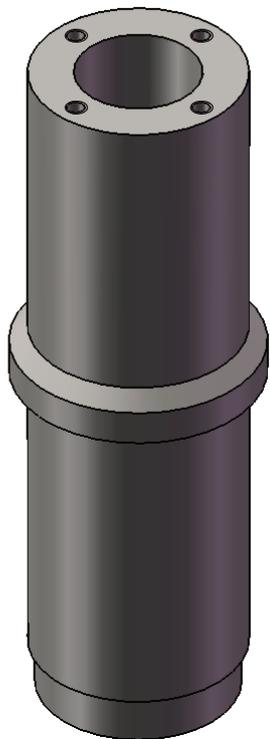
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL \pm		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
TAM	DES. Nº	Peça 24			REV.
A		ESCALA:1:2			PESO:
					FOLHA 1 DE 1



Mat.: SAE 1045
Quant. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

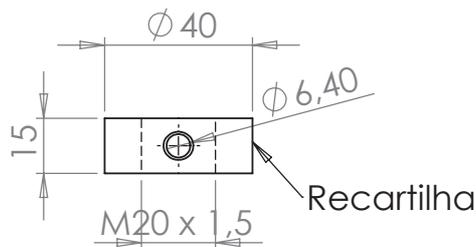
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
TAM	DES. N°	Peça 25			REV.
A		ESCALA:1:2			PESO:
					FOLHA 1 DE 1



Mat.: INOX 304
Quant.: 01Pç.

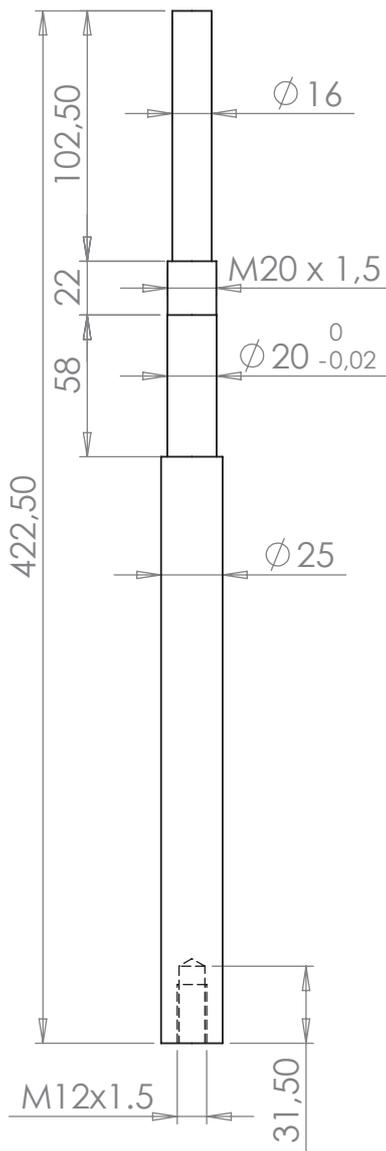
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
TAM	DES. Nº	Peça 26			REV.
A		ESCALA:1:5			PESO:
					FOLHA 1 DE 1



Peça 28

Mat. 1045
Quant. 01 Pç.

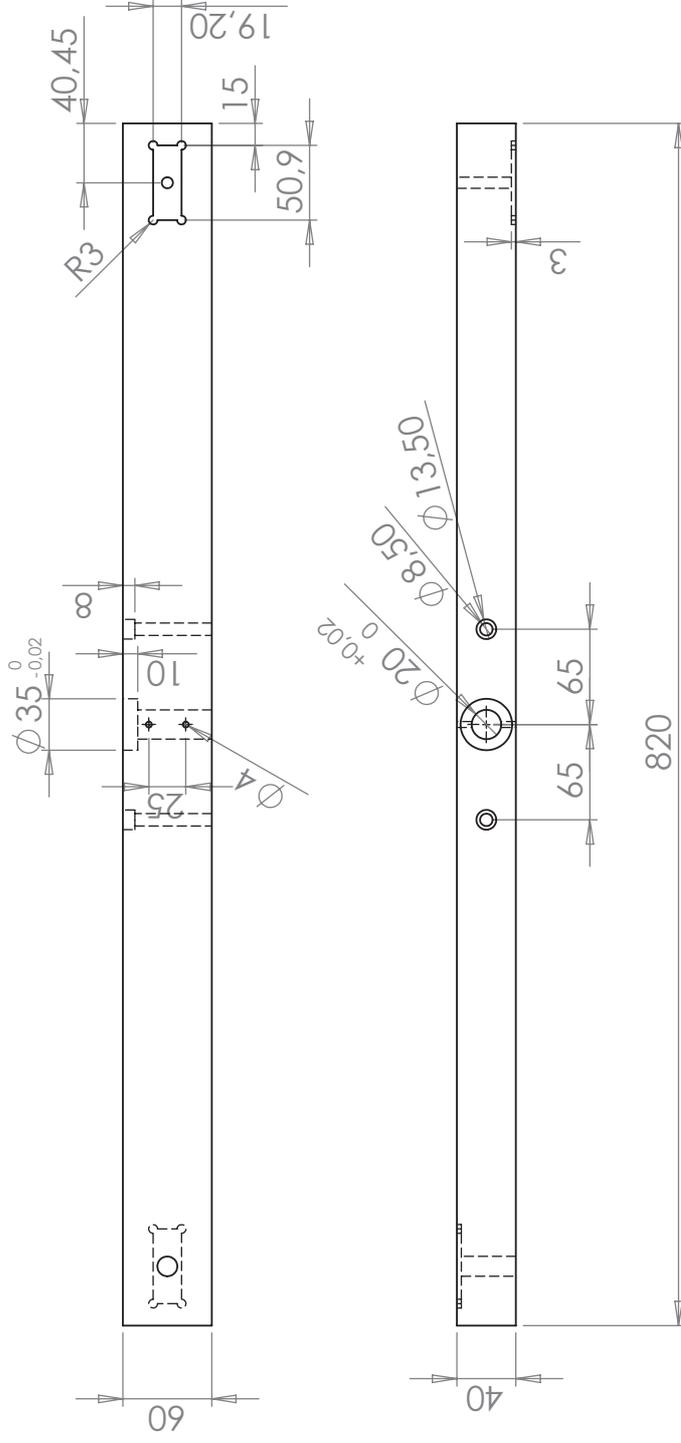


Peça 27

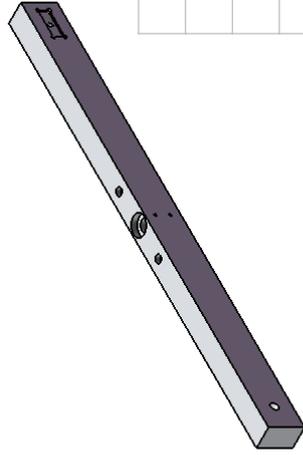
Mat. 4140
Quant. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
		TAM DES. Nº			REV.
		A Peça 27 e 28			
		ESCALA:1:5	PESO:	FOLHA 1 DE 1	



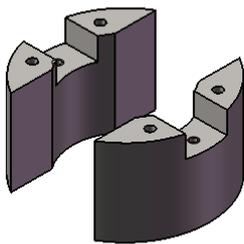
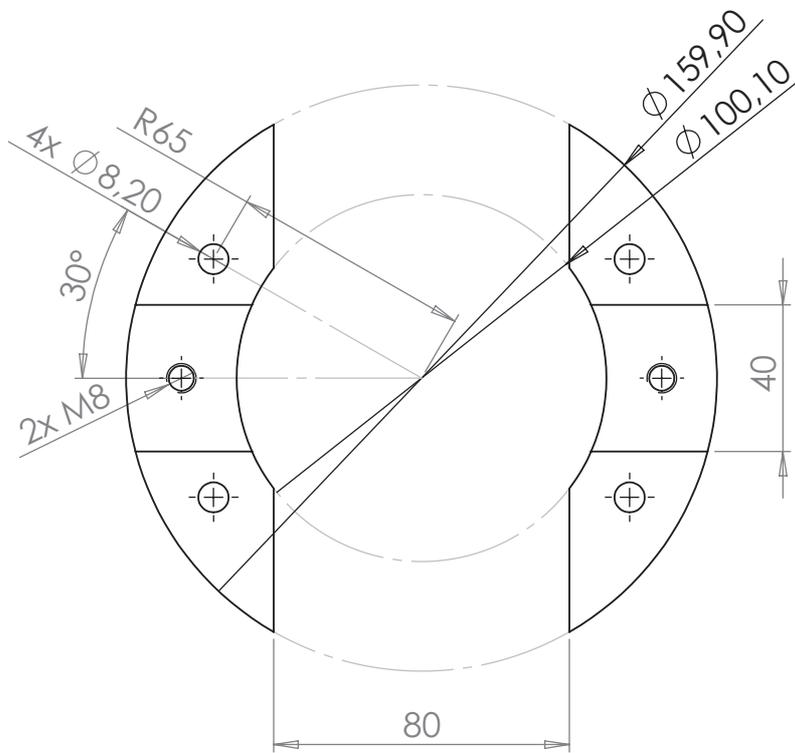
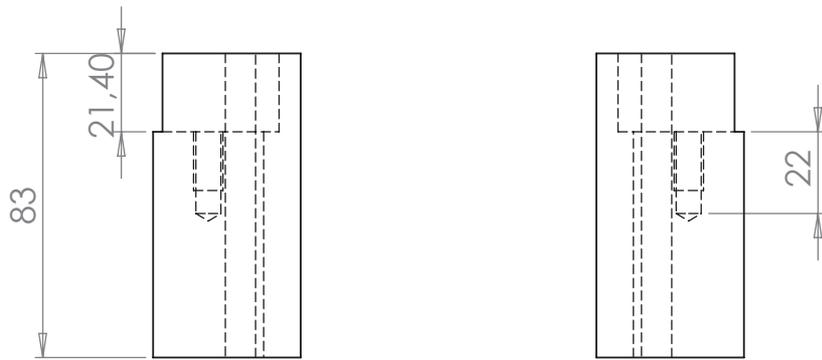
Mat. Alumínio
Quant. 01 Pç.



SE NÃO ESPECIFICADO:	DESENHO	NOME	DATA
DIMENSÕES EM MILÍMETROS	VERIFICADO		
TOLERÂNCIAS:	APROV. ENG.		
FRAÇÃO: ±	APR. MANUF.		
ANGULAR: CORRESP. ±	QUALIDADE		
DUAS CASAS DECIMAIS ±	COMENTÁRIOS:		
TRES CASAS DECIMAIS ±			
INTERPRETAR TOLERÂNCIA			
GEOMÉTRICA COM:			
MATERIAL			
ACABAMENTO			
PRÓX. MONTAGEM			
USADO EM			
APLICATIVO			
NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
 AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE
 DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA
 <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>
 A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL
 SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA
 <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>
 É PROIBIDA.

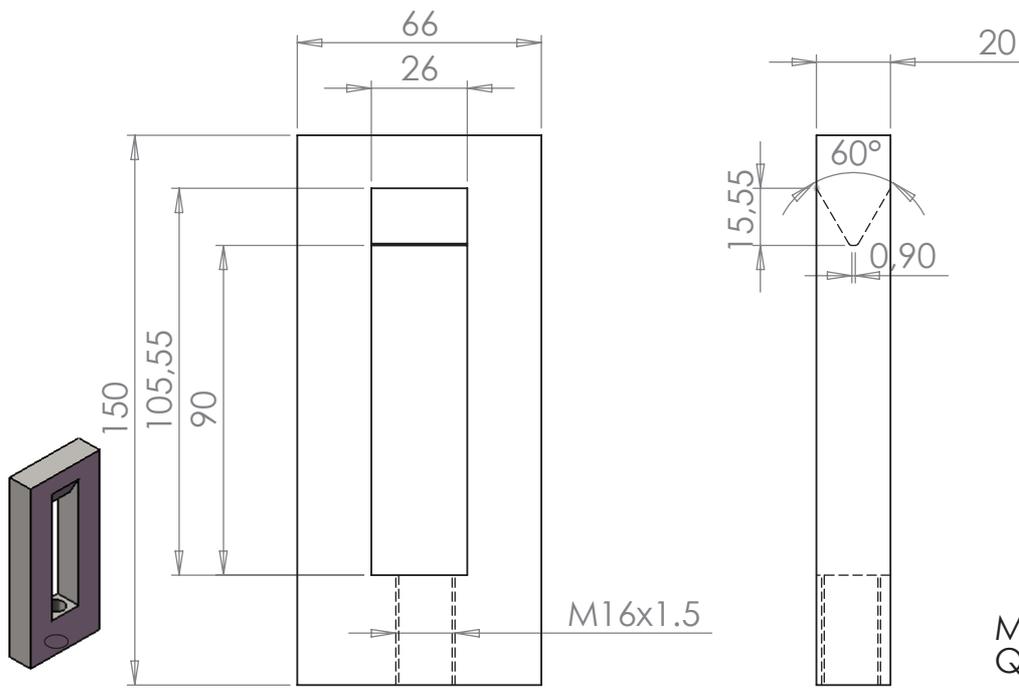
TAM DWG. NO. REV
A Peça 29
 ESCALA: PESO: FOLHA 1 DE 1
 1:10



Mat.: SAE 1020
Quant.: 01Pç.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE:	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. Nº
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 30
APLICATIVO				ESCALA:1:5	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

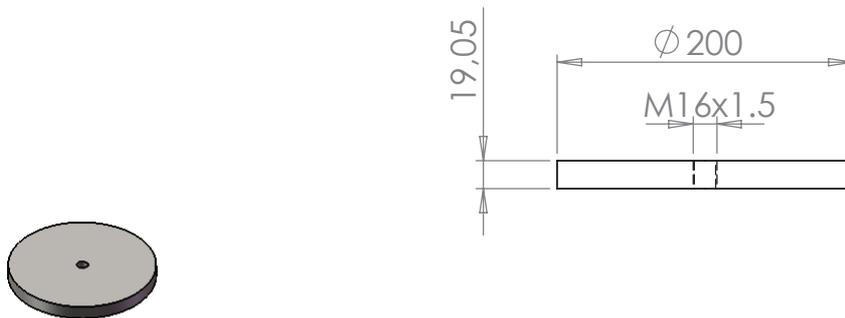
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.



Mat. SAE 1020
Quant. 01 Pç.



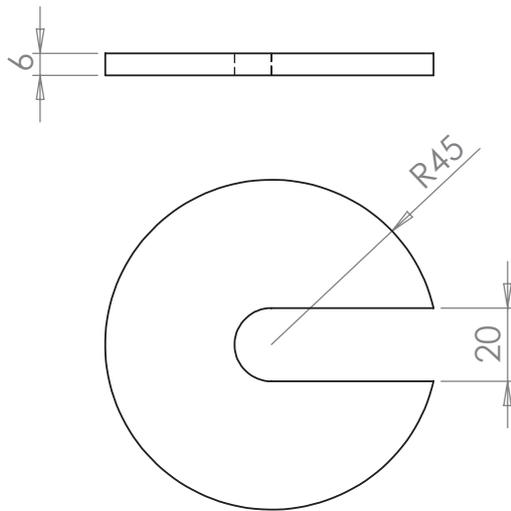
Mat. 4140
Quant. 01 Pç.



Mat. SAE 1020
Quant. 01 Pç.

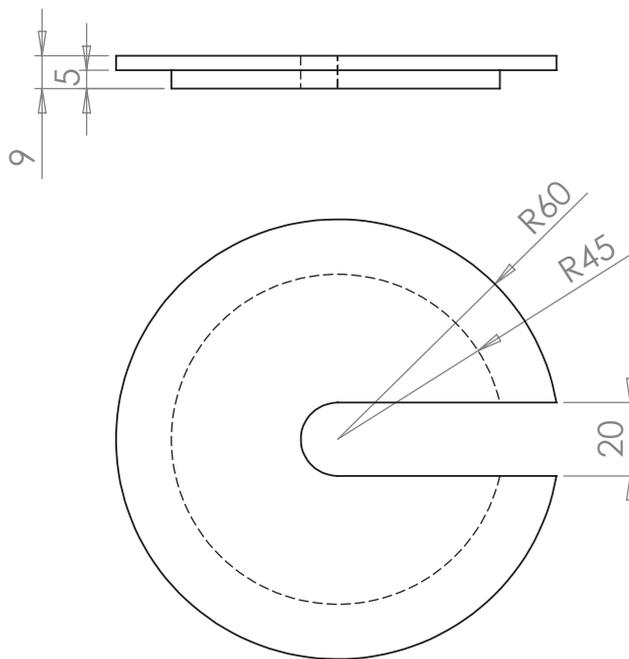
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS TOLERÂNCIAS: FRACIONAL ± ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ± DUAS CASAS DECIMAIS ± TRÊS CASAS DECIMAIS ±		NOME	DATA
		MATERIAL	DESENHO		
		ACABAMENTO	VERIFICADO		
PRÓX. MONT.	USADO EM		APROV. ENG.		
			APR. MANUF.		
			QUALIDADE		
			COMENTÁRIOS:		
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. N°	REV.
			A	Peça 31	
			ESCALA:1:2	PESO:	FOLHA 1 DE 1



Peça 32

Mat. 1020
Quant. 01 Pç.

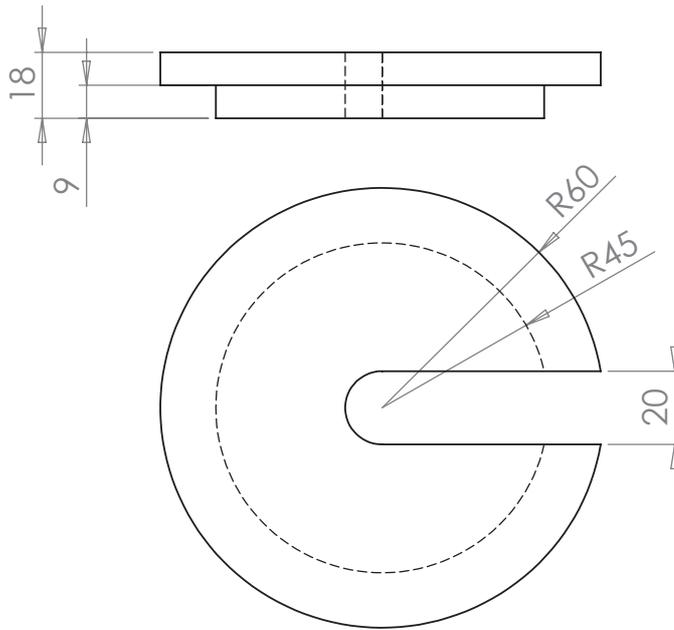
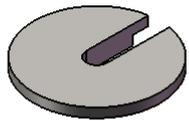


Peça 33

Mat. 1020
Quant. 01 Pç.

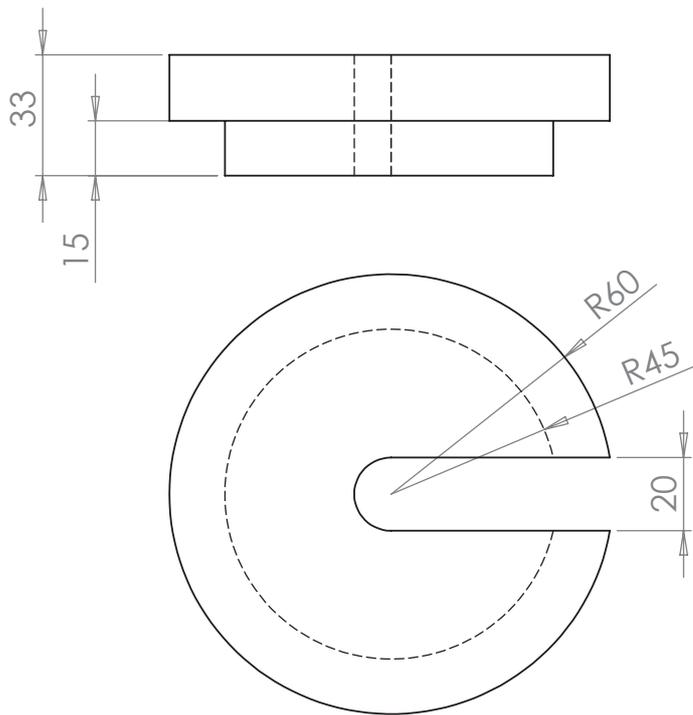
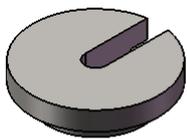
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:			
		FRACIONAL ±		DESENHO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		VERIFICADO	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APROV. ENG.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		MATERIAL		QUALIDADE	
		ACABAMENTO		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM			TAM	DES. Nº
				A	Peça 32 e 33
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		ESCALA: 1:2	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.



Peça 34

Mat. 1020
Quantp. 01 Pç.

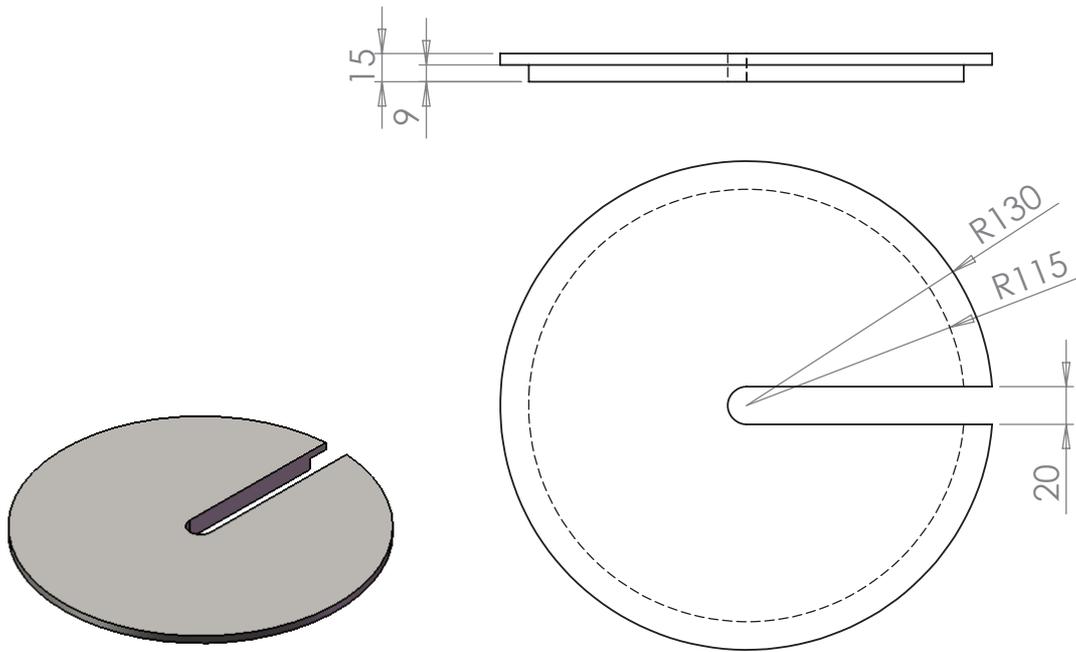


Peça 35

Mat. 1020
Quantp. 01 Pç.

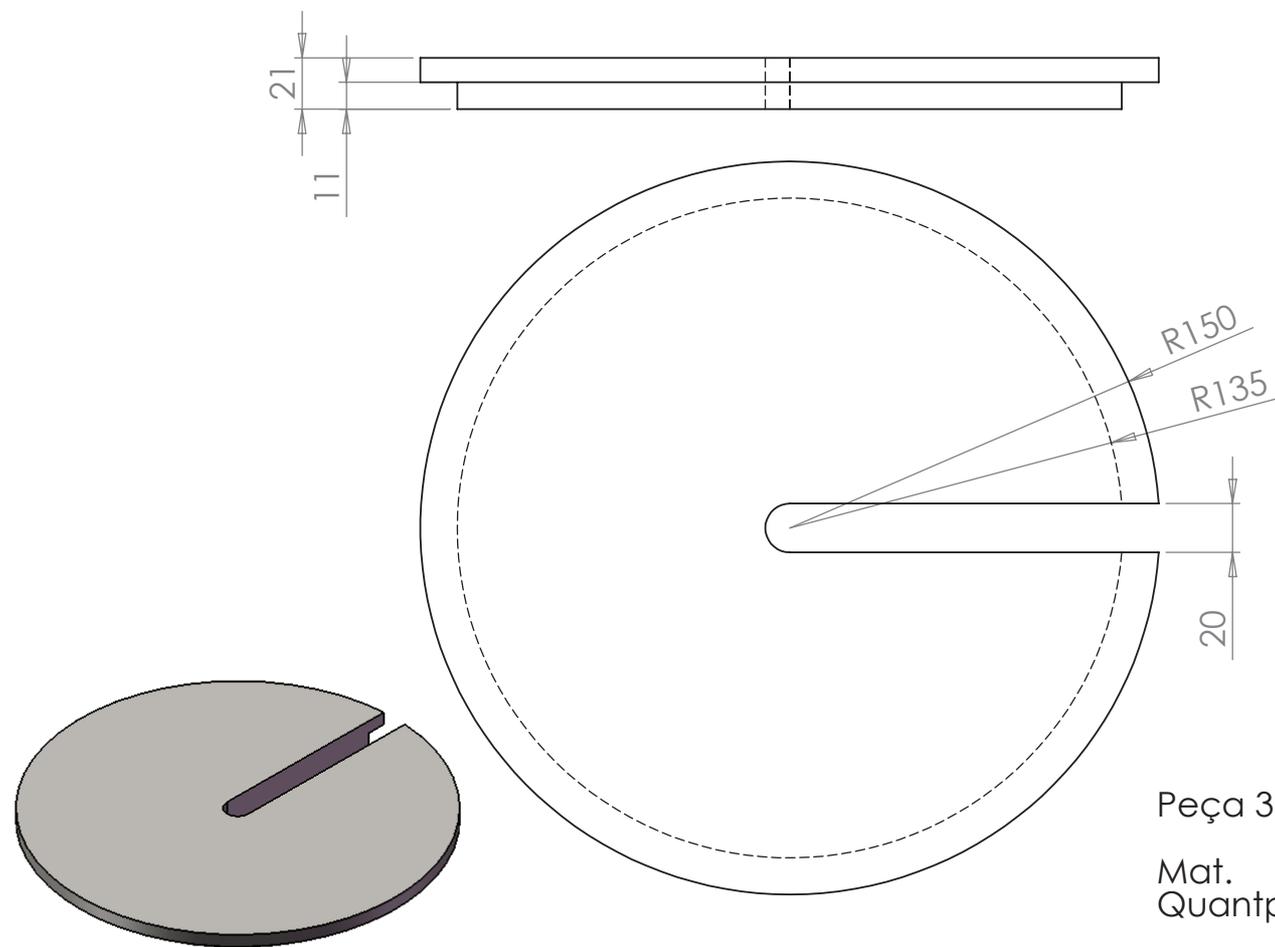
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME		DATA	
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO			
		FRACIONAL ±		VERIFICADO			
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.			
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.			
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE:			
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:			
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO					
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.					
				TAM DES. Nº		REV.	
				A		Peça 34 e 35	
				ESCALA:1:5		PESO:	
						FOLHA 1 DE 1	



Peça 36

Mat. 1020
Quantp. 01 Pç.

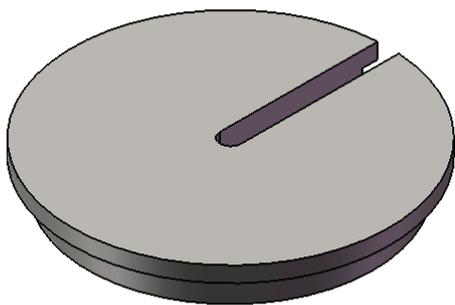
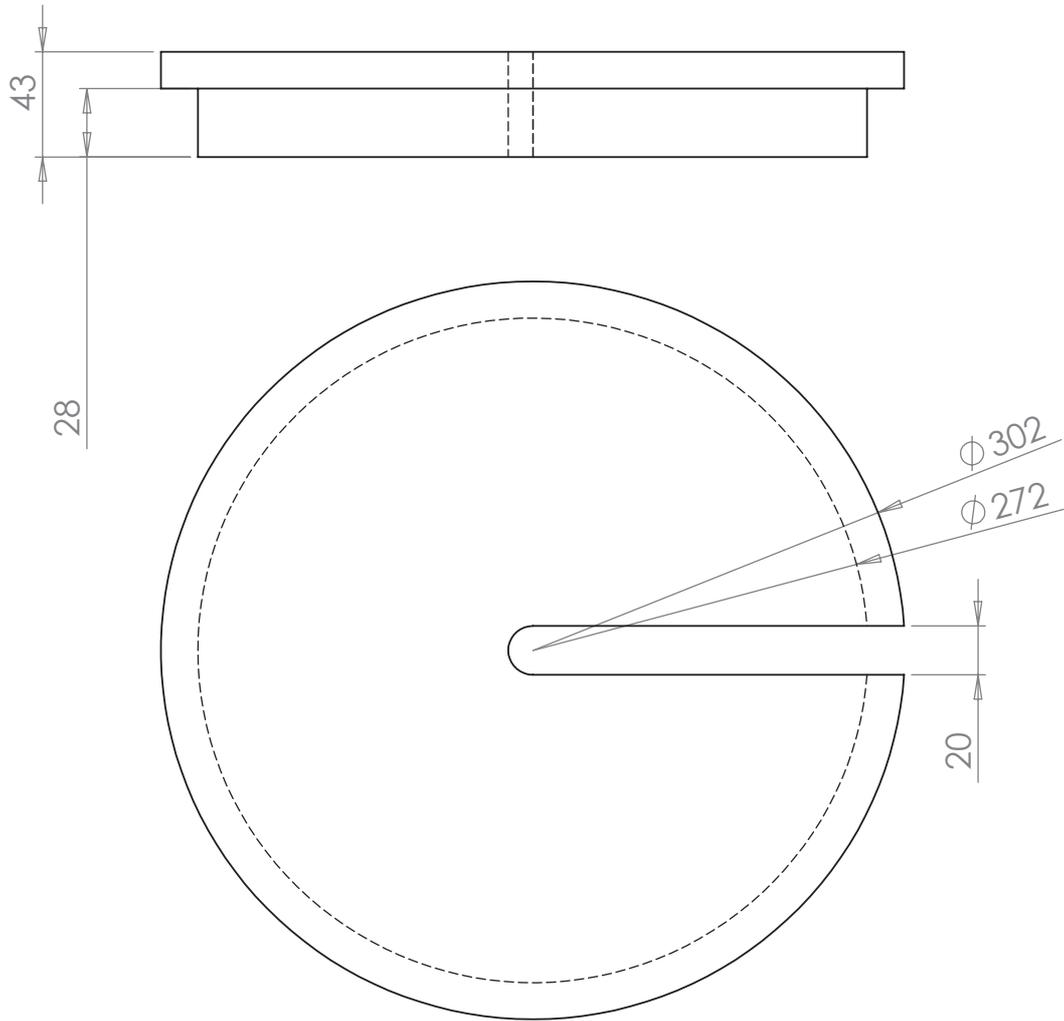


Peça 37

Mat. 1020
Quantp. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

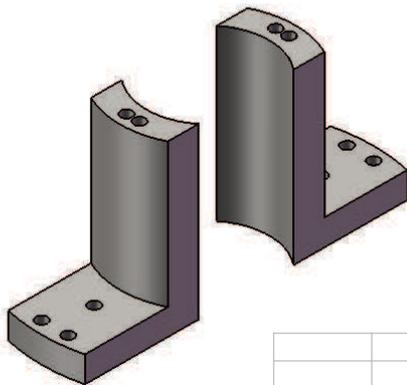
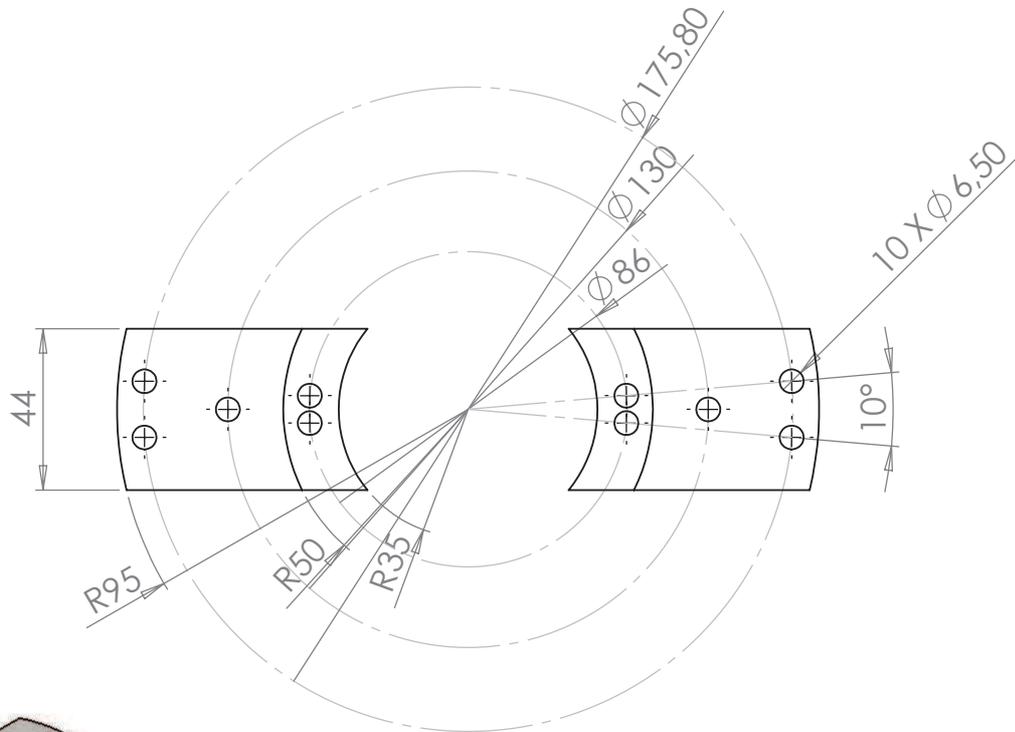
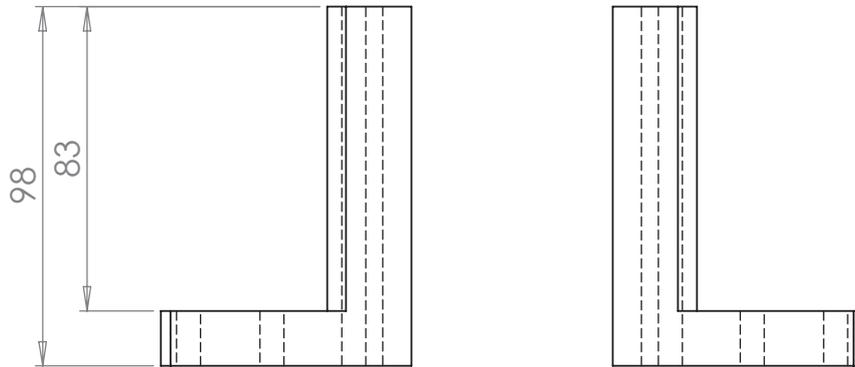
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL ±	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS ±	APR. MANUF.		
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±	QUALIDADE		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
APLICATIVO			TAM	DES. N°	REV.
			A	Peça 36 e 37	
			ESCALA:1:5	PESO:	FOLHA 1 DE 1



Peso: 20Kg.
 Mat. 1020
 Quantp. 02 Pçs.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
 AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE
 DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA
 DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>.
 A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL
 SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO
 DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>
 É PROIBIDA.

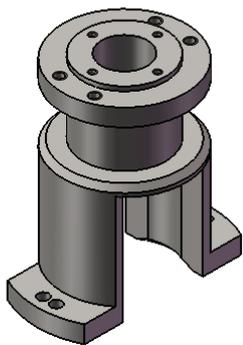
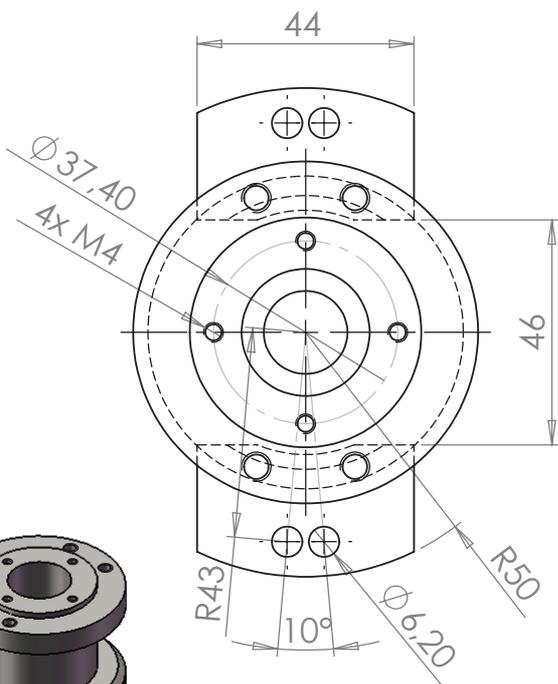
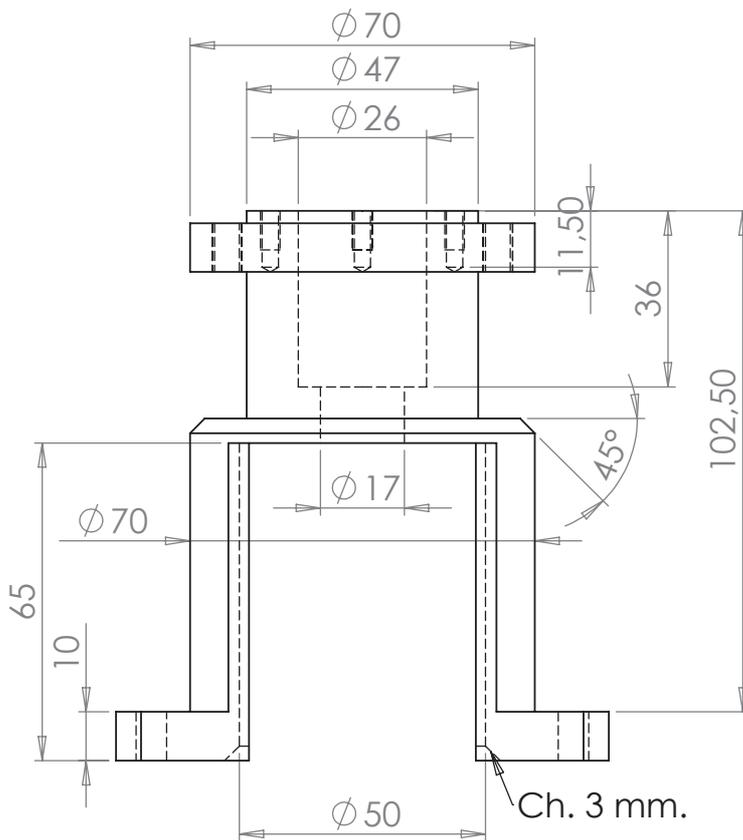
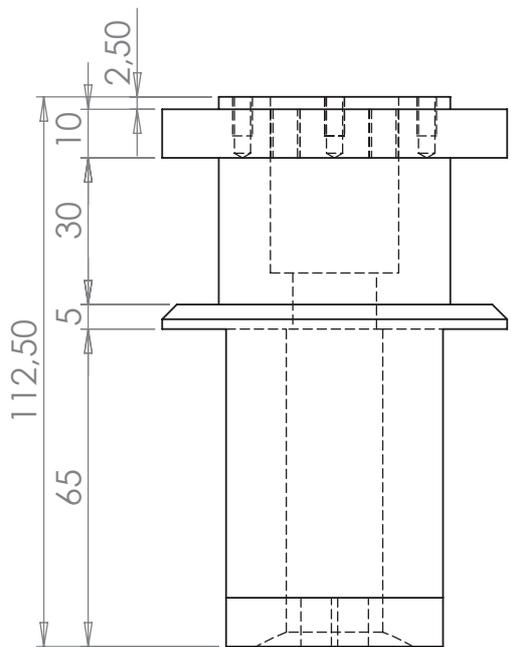
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
TAM	DES. Nº	Peça 38			REV.
A		ESCALA:1:10 PESO:			FOLHA 1 DE 1



Mat.: SAE 1020
Quant.: 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

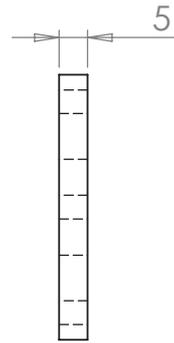
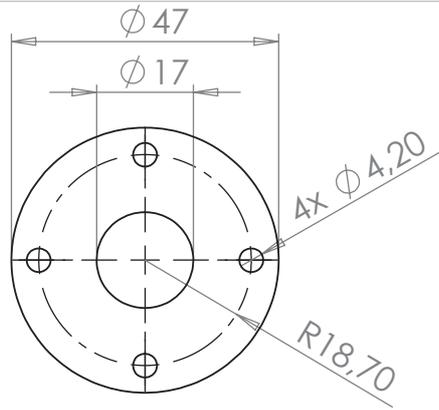
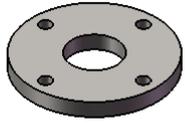
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE:	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. Nº
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 39a
				ESCALA:1:2	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	



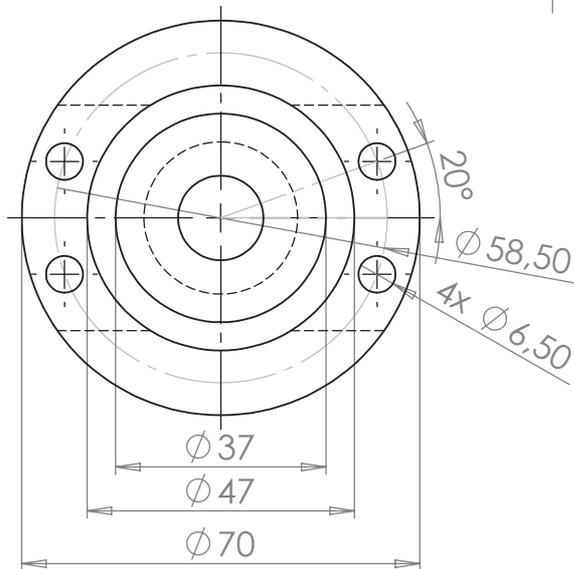
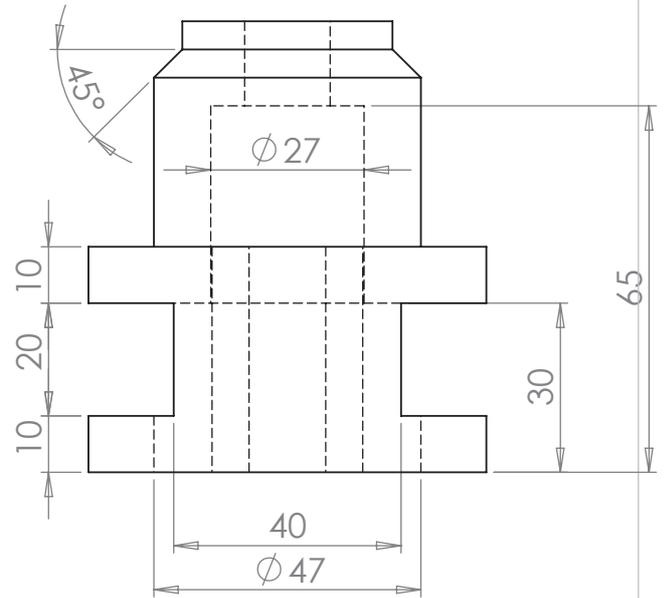
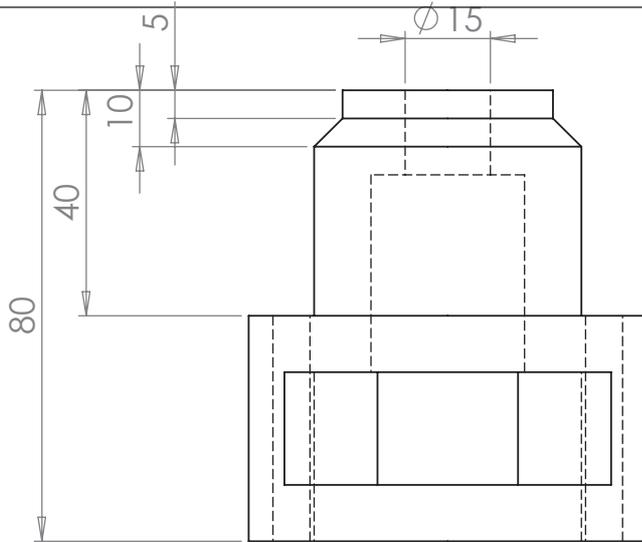
Mat.: SAE 1020
Quant.: 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

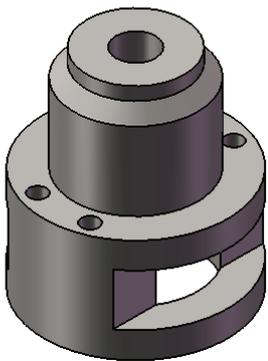
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS TOLERÂNCIAS: FRACIONAL ± ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ± DUAS CASAS DECIMAIS ± TRÊS CASAS DECIMAIS ±	DESENHO	NOME	DATA
		MATERIAL	VERIFICADO		
		ACABAMENTO	APROV. ENG.		
PRÓX. MONT.	USADO EM		APR. MANUF.		
			QUALIDADE		
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.	COMENTÁRIOS:		
			TAM	DES. Nº	REV.
			A	Peça 39b	
			ESCALA:1:2	PESO:	FOLHA 1 DE 1



Mat.: SAE 1045
Quant.: 01 Pç.

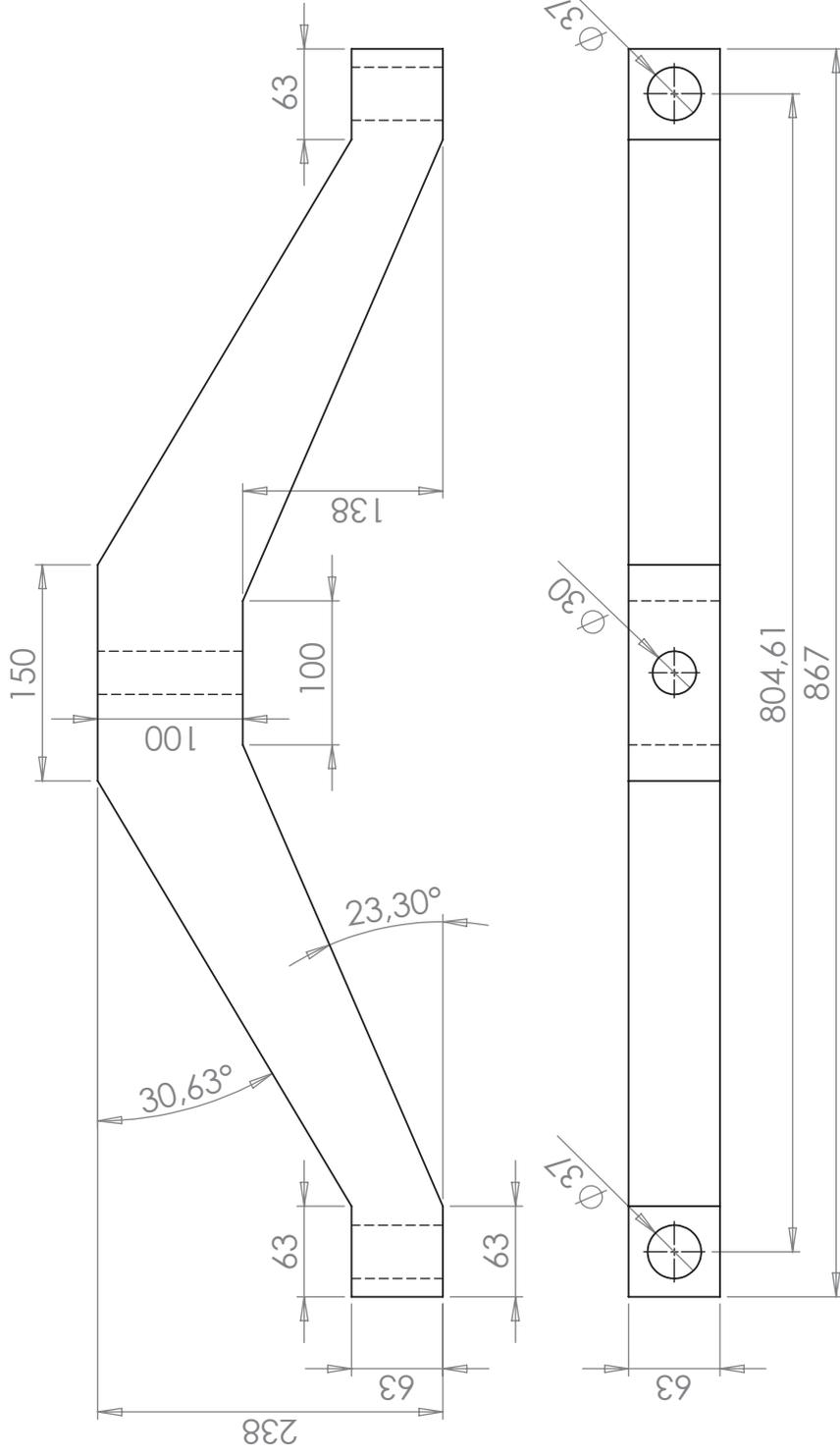


Mat.: SAE 1045
Quant.: 01 Pç.

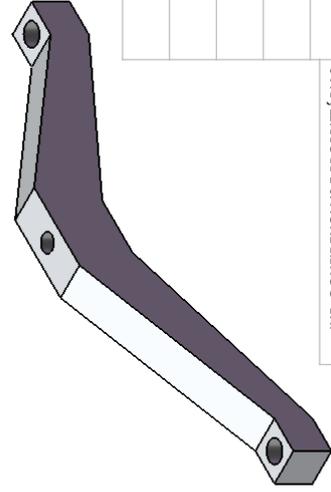


		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL \pm		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. N°
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 39c
APLICATIVO				ESCALA: 1:2	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.



Mat. Alumínio.
Quant. 01 Pç.

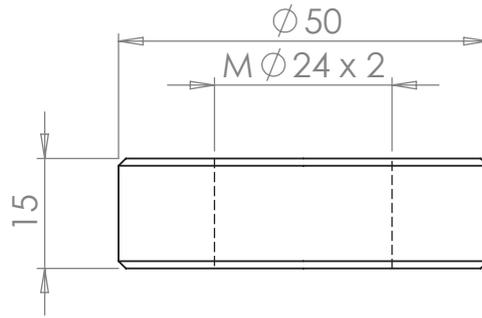
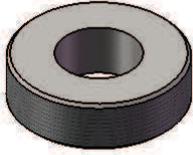


SE NÃO ESPECIFICADO:	DESENHO	NOME	DATA
DIMENSÕES EM MILÍMETROS	VERIFICADO		
TOLERÂNCIAS:	APROV. ENG.		
FRAÇÃO: \pm	APR. MANUF.		
ANGULAR: CORRESP. \pm BEND \pm	QUALIDADE		
DUAS CASAS DECIMAIS \pm	COMENTÁRIOS:		
TRES CASAS DECIMAIS \pm			
INTERPRETAR TOLERÂNCIA			
GEOMÉTRICA COM:			
MATERIAL			
ACABAMENTO			
PRÓX. MONTAGEM			
USADO EM			
APLICATIVO			
NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
 AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE
 DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA
 <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>
 A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL
 SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA
 <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>
 É PROIBIDA.

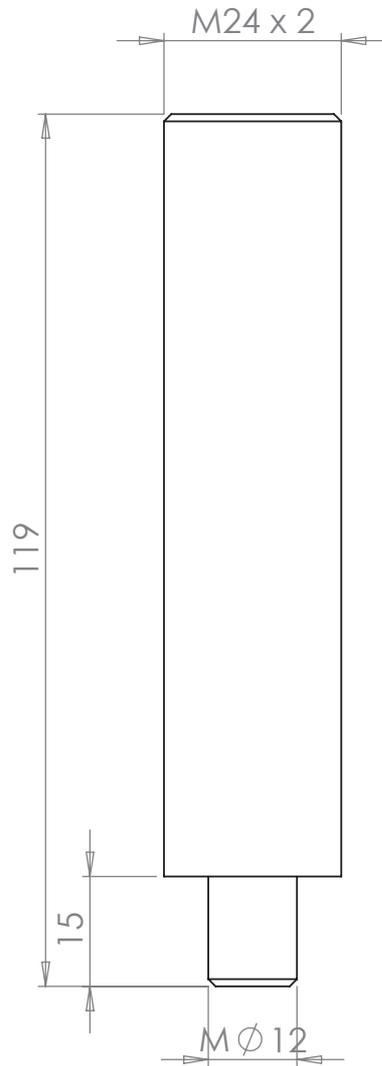
TAM DWG. NO. REV
A **Peça 40**

ESCALA: PESO: FOLHA 1 DE 1
 1:10



Peça 41a

Mat. 4140
Quant. 01 Pç.

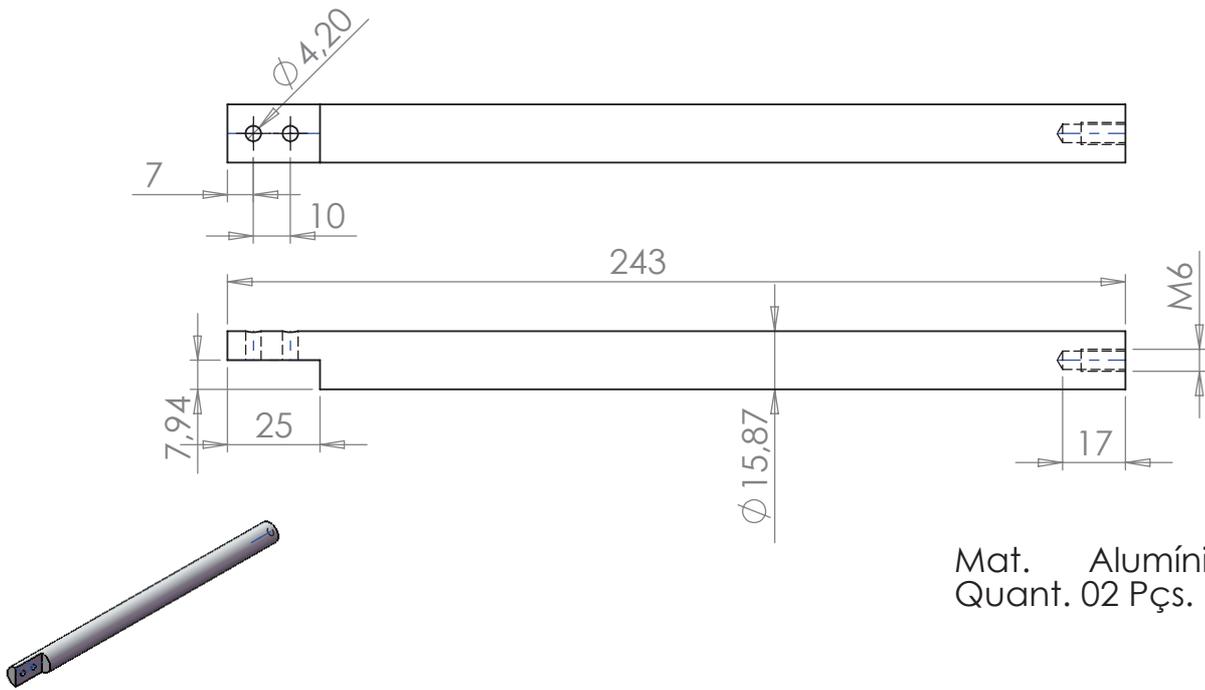


Peça 41b

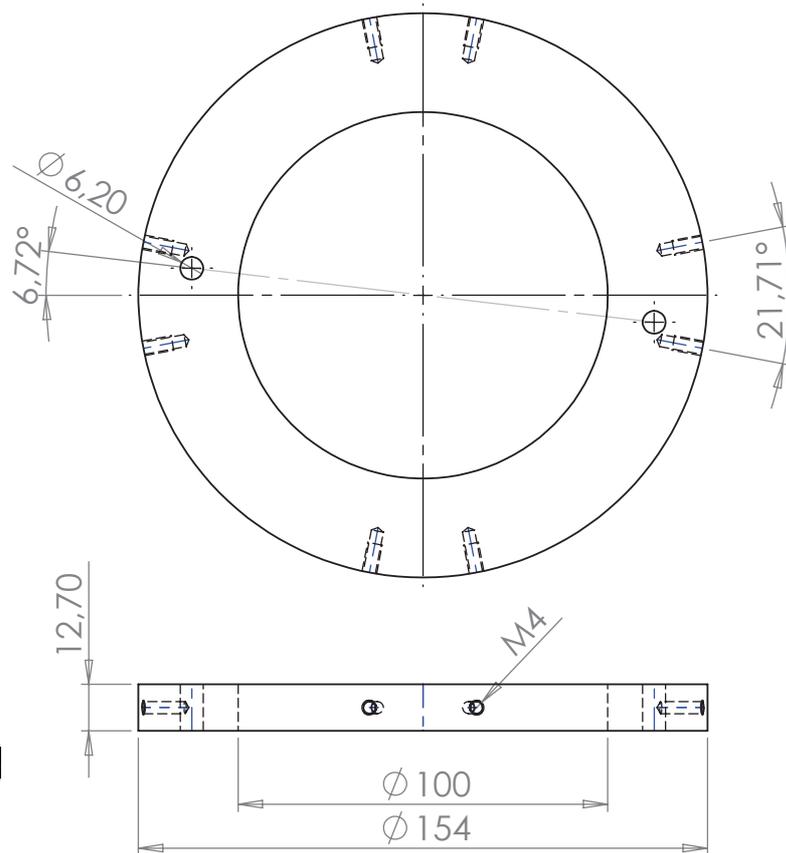
Mat. 4140
Quant. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL \pm	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm	APR. MANUF.		
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm	QUALIDADE		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. N°	REV.
			A	Peça 41	
			ESCALA:1:1	PESO:	FOLHA 1 DE 1



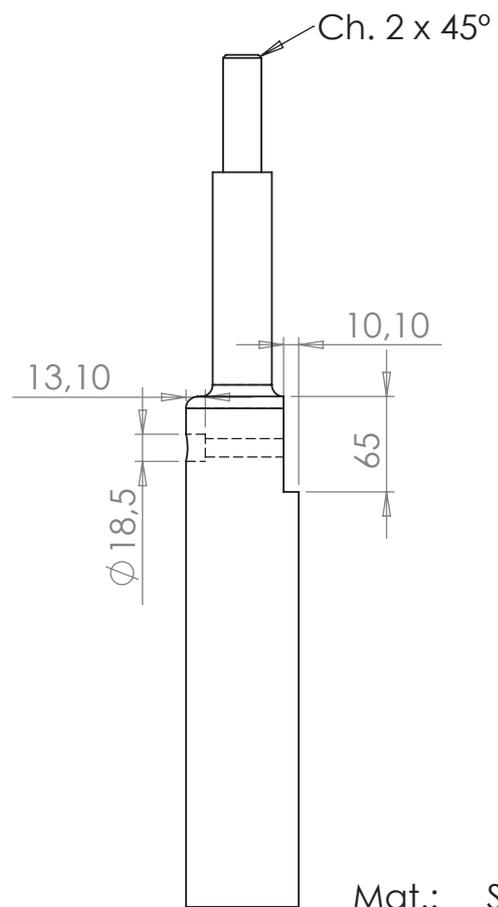
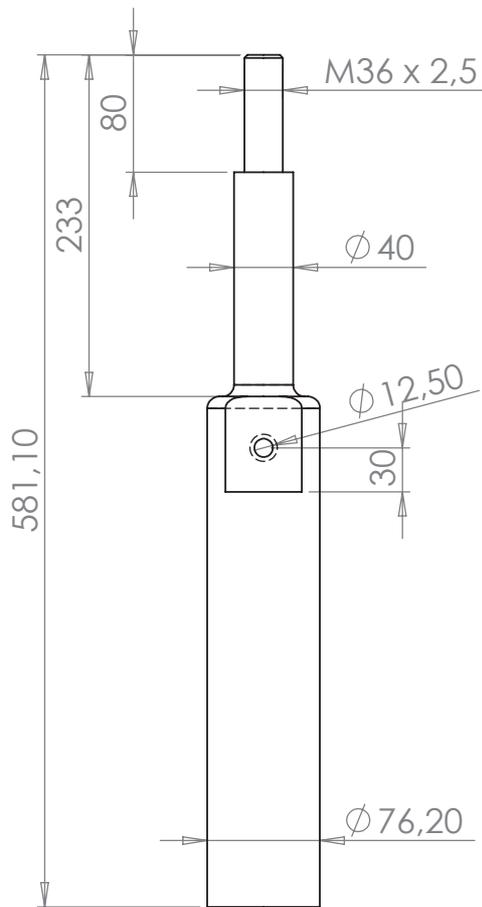
Mat. Alumínio
Quant. 02 Pçs.



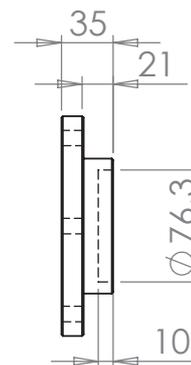
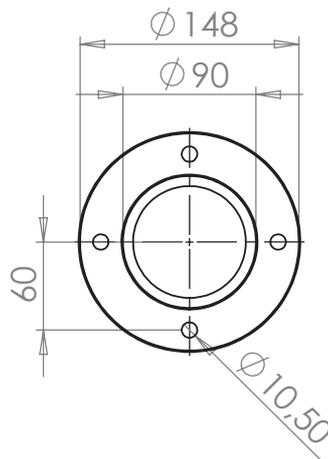
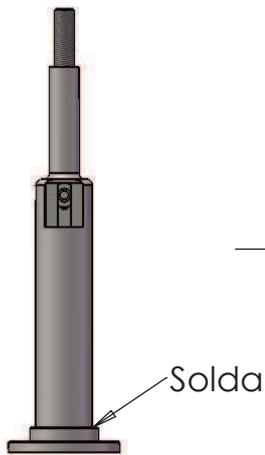
Mat. Alumínio
Quant. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
TAM	DES. Nº	Peça 42			REV.
A		ESCALA:1:5			PESO:
					FOLHA 1 DE 1



Mat.: SAE 1045
Quant.: 01 Pç.

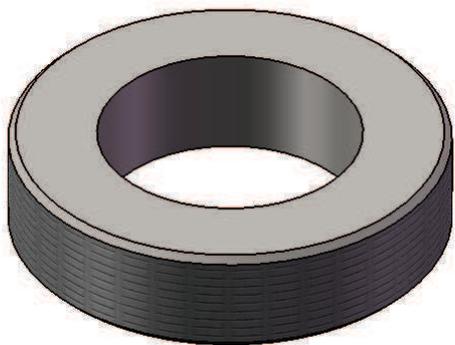
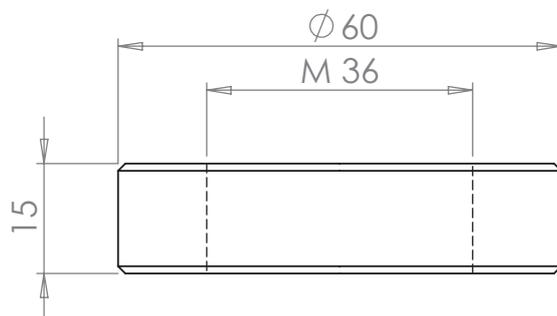


Mat.: SAE 1045
Quant.: 01 Pç.



INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

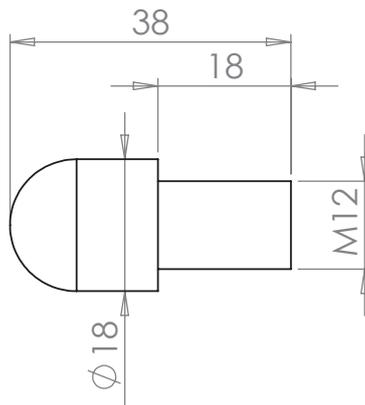
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS TOLERÂNCIAS: FRACIONAL ± ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ± DUAS CASAS DECIMAIS ± TRÊS CASAS DECIMAIS ±		NOME	DATA
		MATERIAL	DESENHO		
		ACABAMENTO	VERIFICADO		
PRÓX. MONT.	USADO EM		APROV. ENG.		
			APR. MANUF.		
			QUALIDADE		
			COMENTÁRIOS:		
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. Nº	REV.
			A	Peça 43a e 43b	
			ESCALA:1:5	PESO:	FOLHA 1 DE 1



Mat. 4140
Quant. 02 PçS.

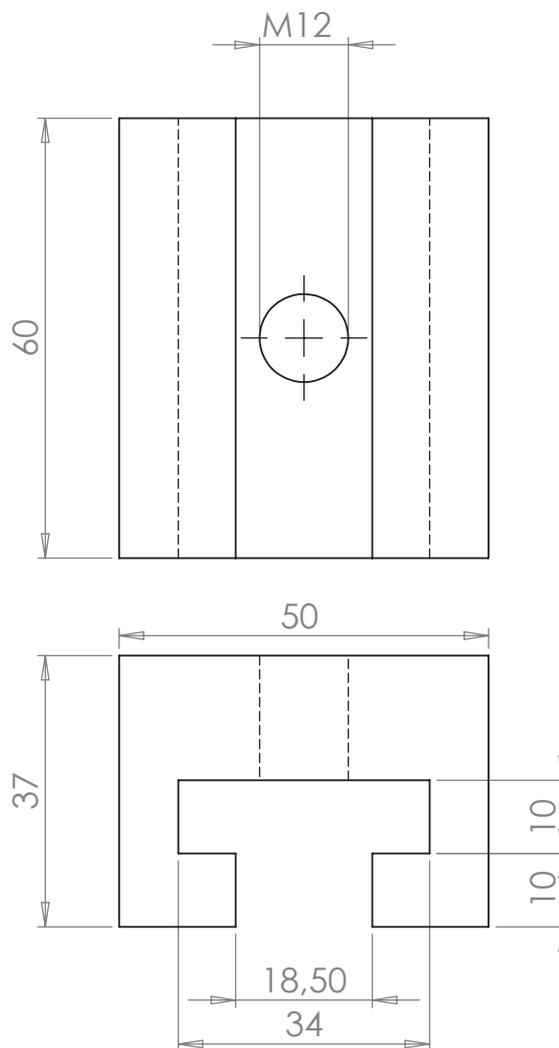
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL \pm		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		QUALIDADE	
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
TAM	DES. Nº	Peça 44			REV.
A					
ESCALA:1:1	PESO:				FOLHA 1 DE 1



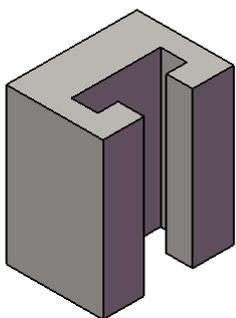
Peça 45

Mat. 1045
Quant. 02 Pçs.



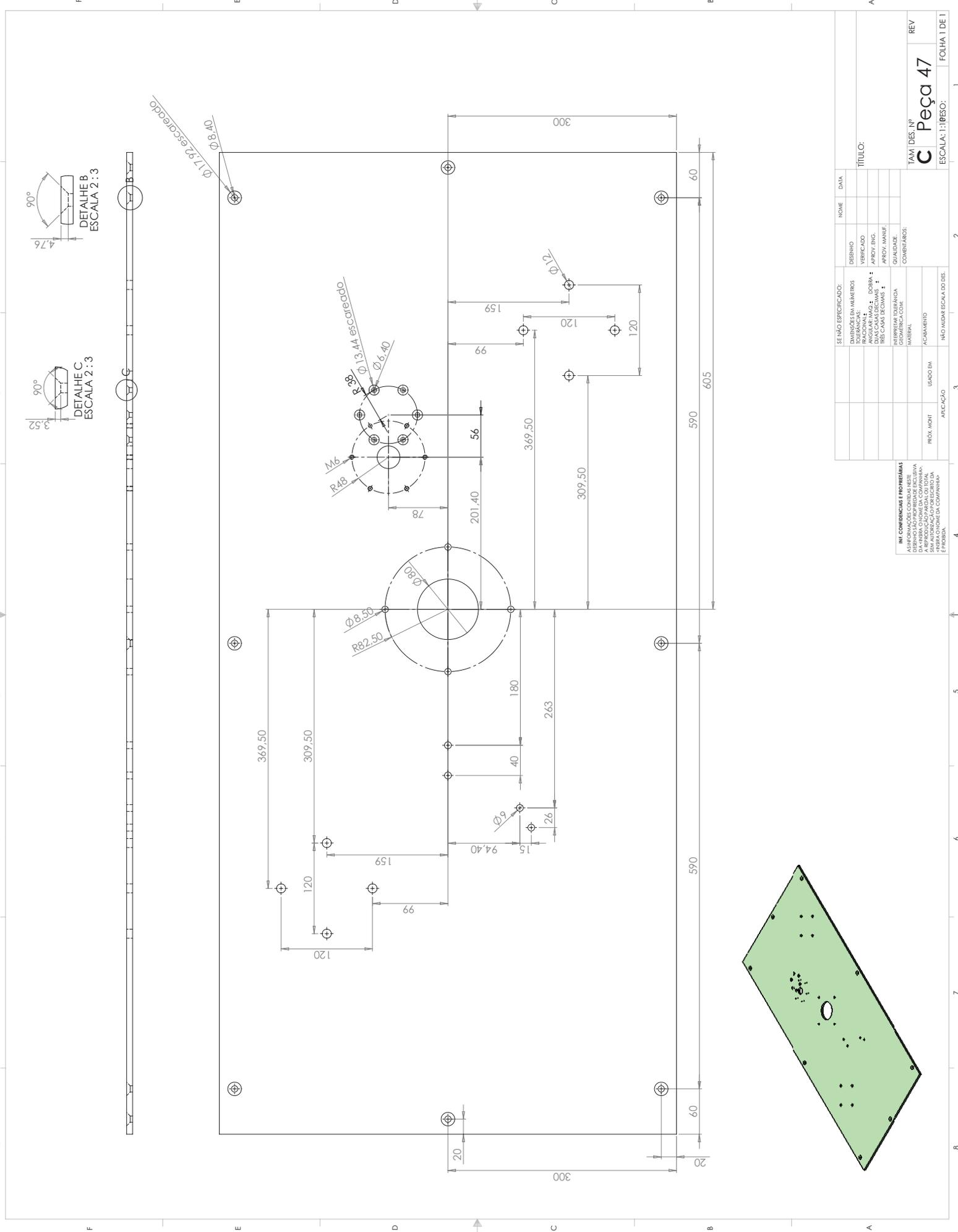
Peça 46

Mat. 1045
Quant. 02 Pçs.



		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. Nº
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 45 e 46
				ESCALA:1:1	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

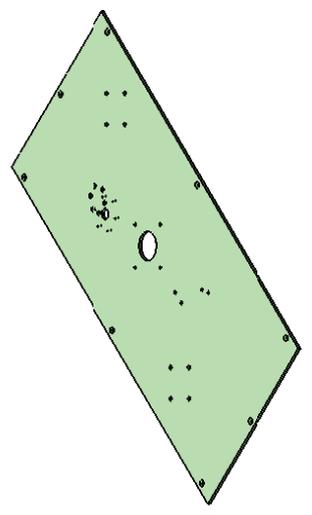
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

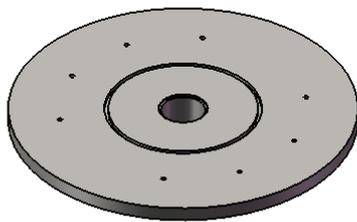
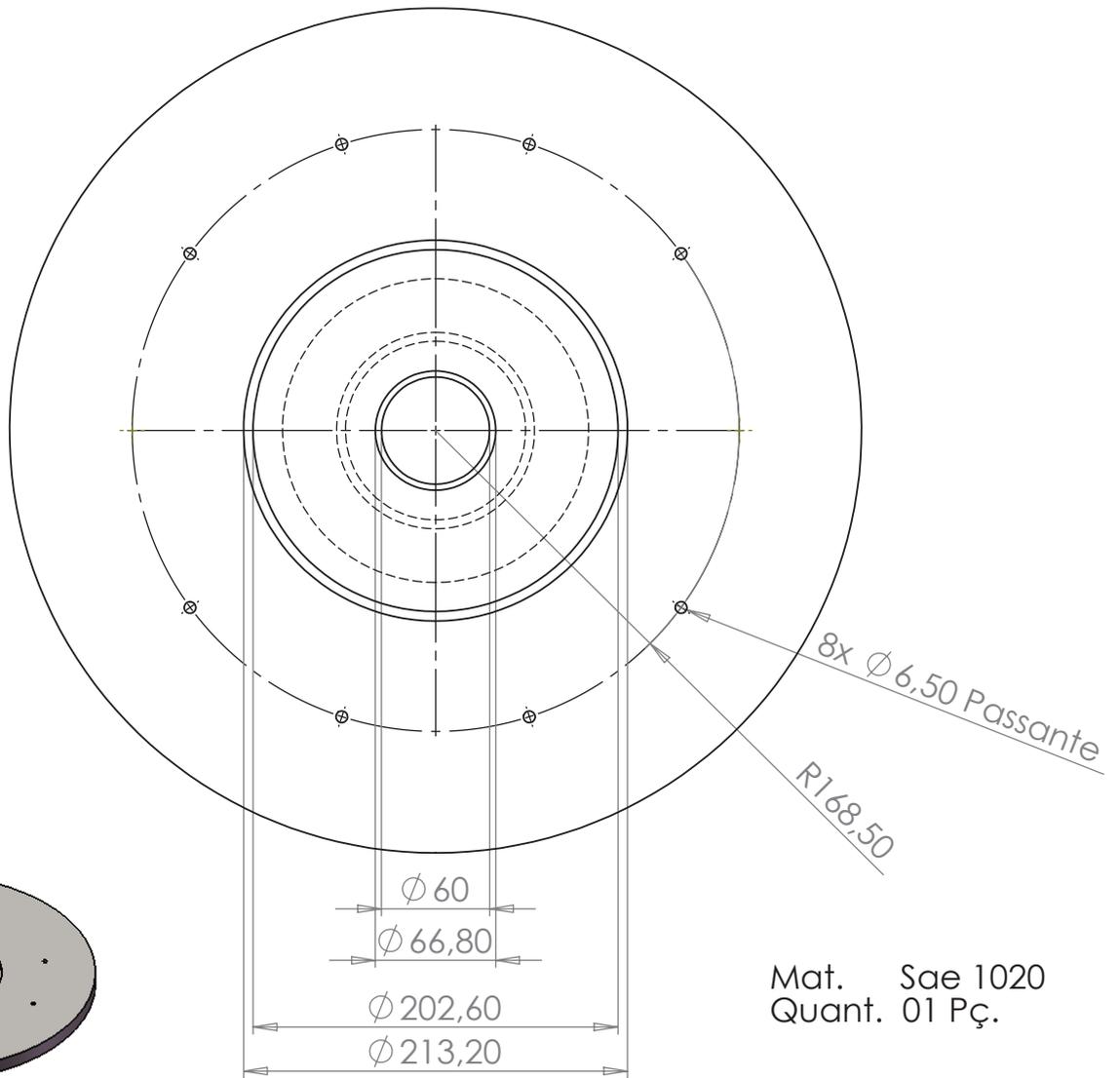
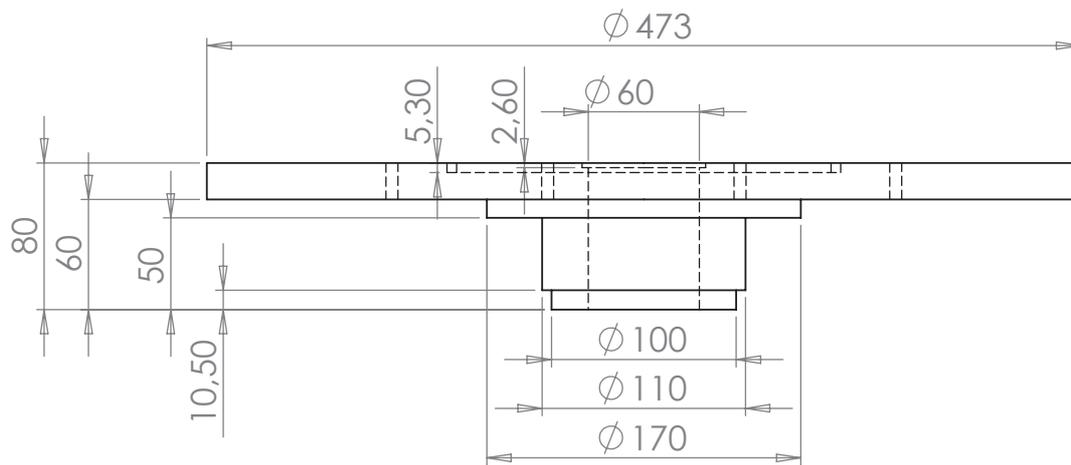


SE MÃO ESPECIFICADO:	DESIGNO	DATA
DIMENSÕES EM ALÍNEAS	VERIFICADO	
TOLERÂNCIAS:	APROV. BNG.	
ANGULAR/MÃO: 1 DOBRAS:	APROV. MANUF.	
RESCALAS/SEGURAS:	QUALIDADE:	
REBARBAS/ESQUINAS:	CONSTITUIÇÃO:	
COMERCIALIZAÇÃO		
MATERIAL		
ACABAMENTO		
USADO EM		
PROJ. MONT.		
ARTICULAÇÃO		
NÚM. MEDIDA ESCALADA DES.		

TÍTULO:	TAM. DES. Nº	REV
	C	Peça 47
		ESCALA: 1:1 (BISO):
		FOLHA 1 DE 1

INF. COMERCIAIS E PROPRIETÁRIAS
 AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE PROJETO SÃO DE PROPRIEDADE DA EMPRESA E DEVEM SER MANTIDAS EM SEGREDO. NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO, COPIA, DISTRIBUIÇÃO, ALTERAÇÃO, CRIAÇÃO DE CÓPIAS NÃO AUTORIZADAS, NEM A UTILIZAÇÃO DE QUALQUER TIPO DE PROGRAMA DE CÓPIA NÃO AUTORIZADA. A EMPRESA SE RESPONSABILIZA POR ERROS E OMISSÕES. A EMPRESA SE RESPONSABILIZA POR ERROS E OMISSÕES. A EMPRESA SE RESPONSABILIZA POR ERROS E OMISSÕES.

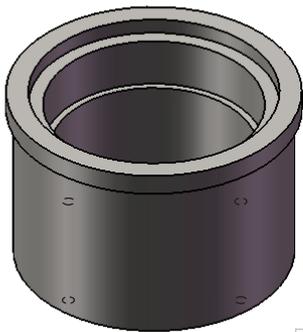
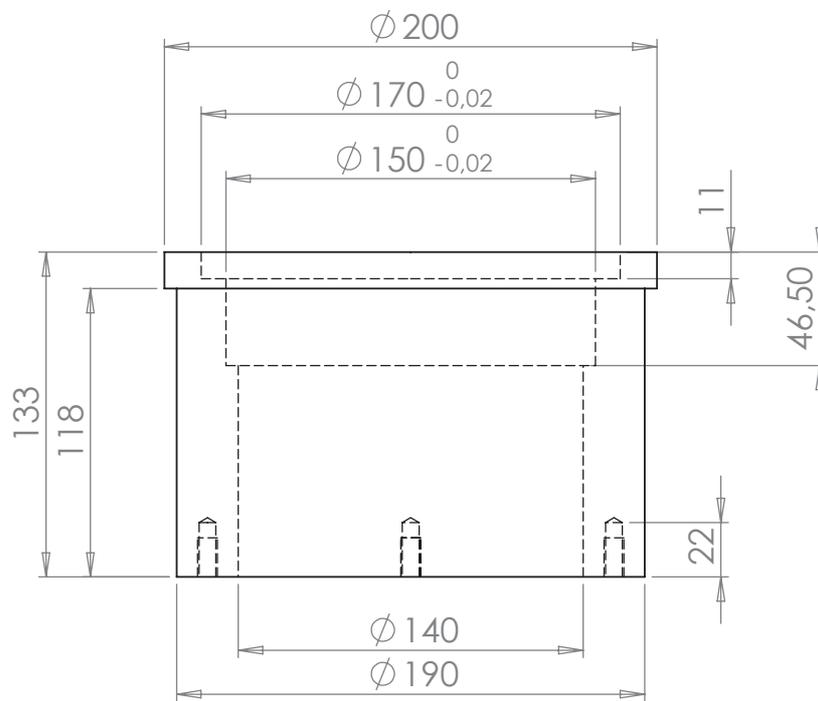
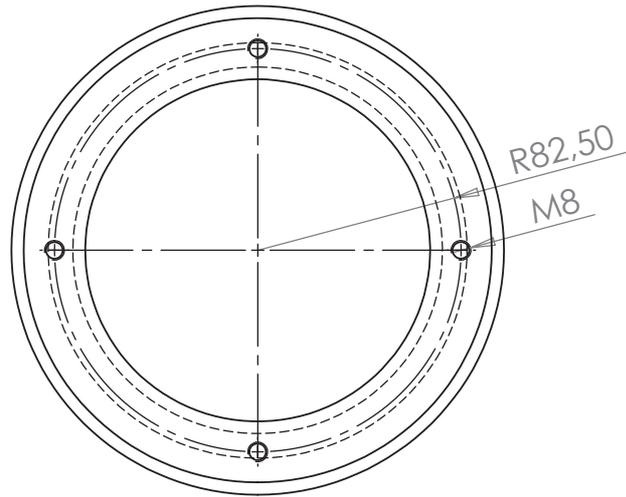




Mat. Sae 1020
Quant. 01 Pç.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. Nº
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 48
				ESCALA:1:10	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

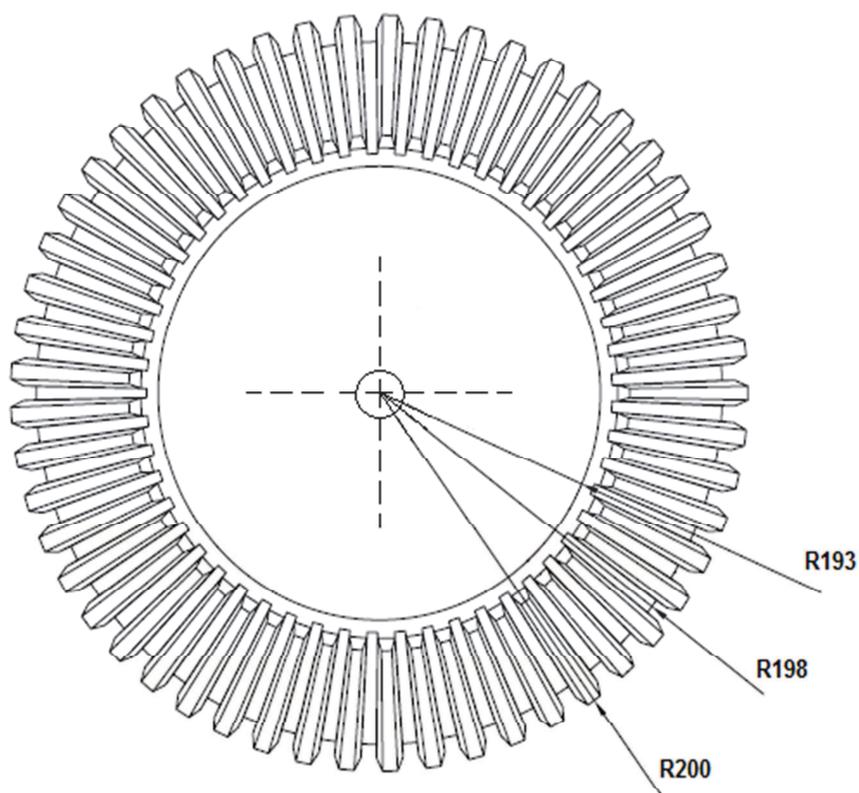


Rolamemnto Padrão:
 $\phi 100\text{mm.} \times \phi 150\text{mm.} \times 24\text{mm.}$
 $\phi 110\text{mm.} \times \phi 170\text{mm.} \times 28\text{mm.}$

Mat.: SAE 1045
 Qunat.: 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
 AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

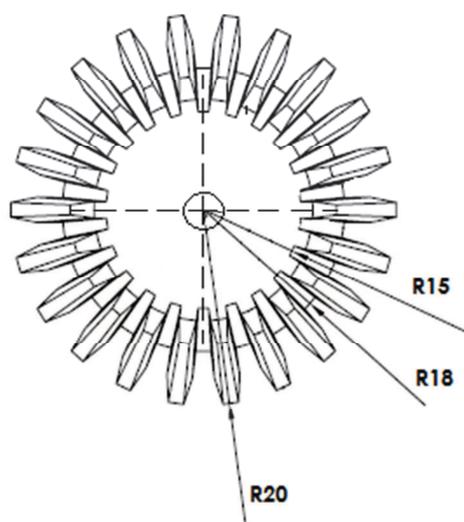
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL \pm		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
		TAM	DES. Nº	REV.	
		A	Peça 49		
		ESCALA:1:5	PESO:	FOLHA 1 DE 1	



198 dentes
Módulo 2

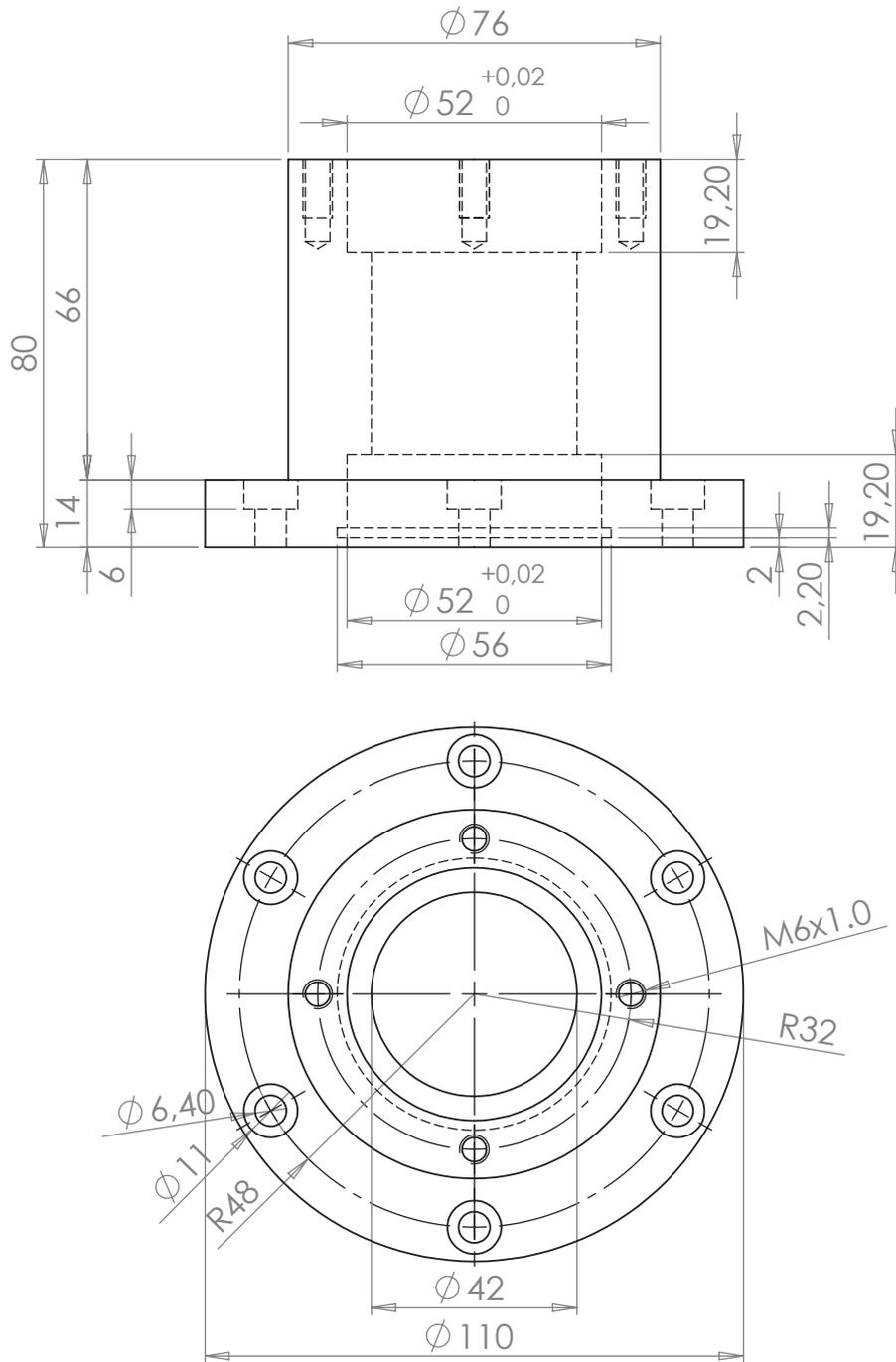
INT. CONFIDENCIAL E PROPRIEDADES
AS INFORMAÇÕES CONTEIDAS NESTE
DESENHO SÃO PROPRIEDADES EXCLUSIVAS
DA QUESA O NOME DA EMPRESA.
A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL
SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO
DA QUESA O NOME DA EMPRESA
É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL \pm			
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		VERIFICADO	
		DUAS CASAS DECIMAS \pm		APROV. ENL.	
		TRÊS CASAS DECIMAS \pm		APR. MATEM.	
		MATERIAL		QUALIDADE	
		ACABAMENTO		COMENTÁRIOS	
PROJ. MONT.	USADO EM				
APLICATIVO	NÃO MUDAR ESCALA DO DES.				
		TAM. DEL. A			Peça 50
		ESCALA: PROJ.			REV.
					FOLHA 1 DE 1



18 dentes
Módulo 2

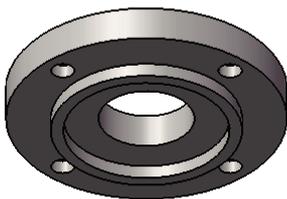
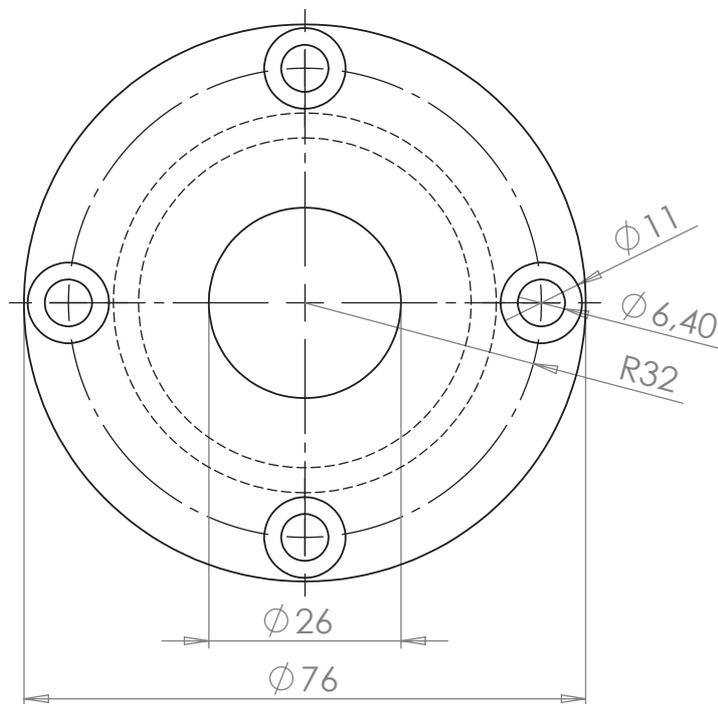
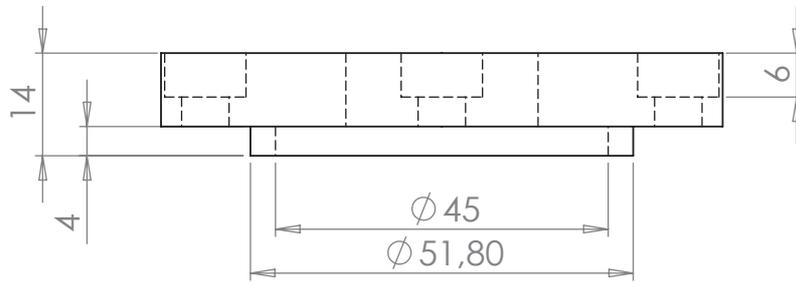
INT. CONFIDENCIAL E PROPRIETÁRIA AS INFORMAÇÕES CONTEIDAS NOS DESENHOS SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA QUESA O NOME DA COMPANHIA. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA QUESA O NOME DA COMPANHIA É PROIBIDA.			DIMENSÕES EM MILÍMETROS TOLERÂNCIAS: FRAÇÕES \pm ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm DUAS CASAS DECIMAS \pm TRÊS CASAS DECIMAS \pm	NOME DATA	
			AMBIAL	DESENHO VERIFICADO APROV. ENG. APT. MARC. DATA COMENTÁRIOS	
	PRÓX. MON.	USADO EM	ACABAMENTO		
	APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		
				TAM. DES. Nº A	Peça 51
				ESCALA: 1:1 PROJ.	Nº 001 DE 1



Mat. SAE 1045
Quant. 01 Pç.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. Nº
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 52
				ESCALA:1:2	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

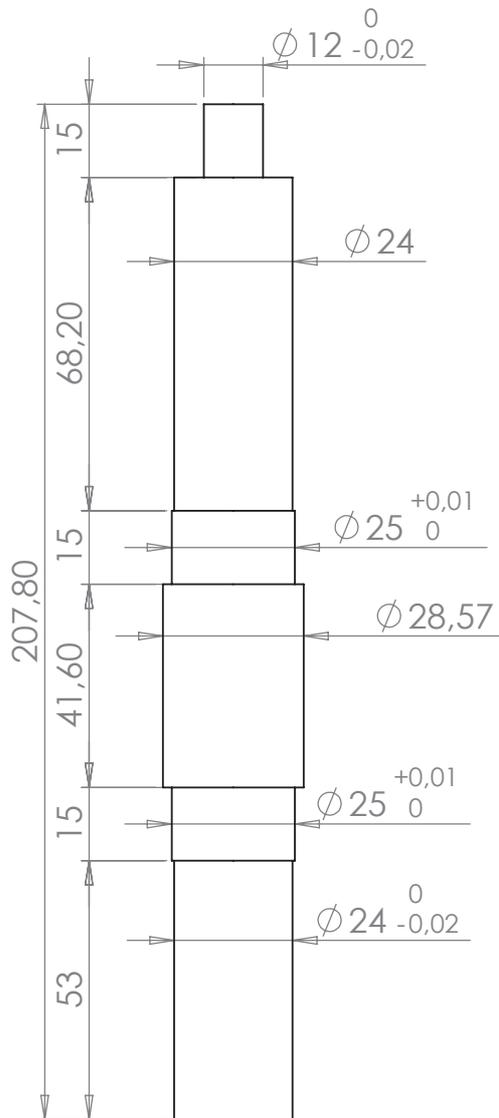
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.



Mat. SAE 1045
 Quant. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
 AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

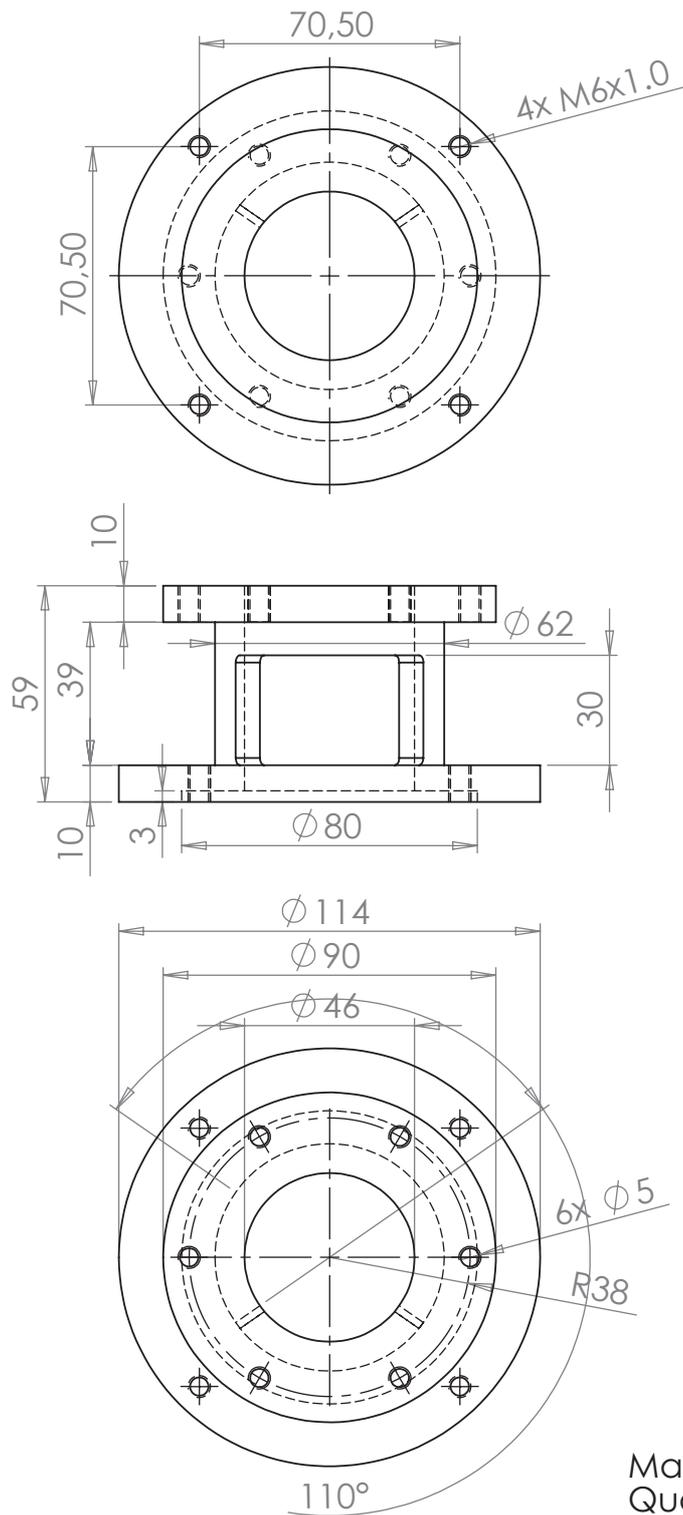
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL ±	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS ±	APR. MANUF.		
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±	QUALIDADE		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. N°	REV.
			A	Peça 53	
			ESCALA:1:2	PESO:	FOLHA 1 DE 1



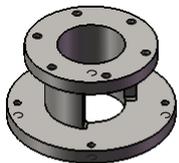
Mat. 4140
Quant. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS TOLERÂNCIAS: FRACIONAL \pm ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm DUAS CASAS DECIMAIS \pm TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		NOME	DATA
		MATERIAL	DESENHO		
		ACABAMENTO	VERIFICADO		
PRÓX. MONT.	USADO EM		APROV. ENG.		
			APR. MANUF.		
			QUALIDADE		
			COMENTÁRIOS:		
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. N°	REV.
			A	Peça 54	
			ESCALA:1:2	PESO:	FOLHA 1 DE 1

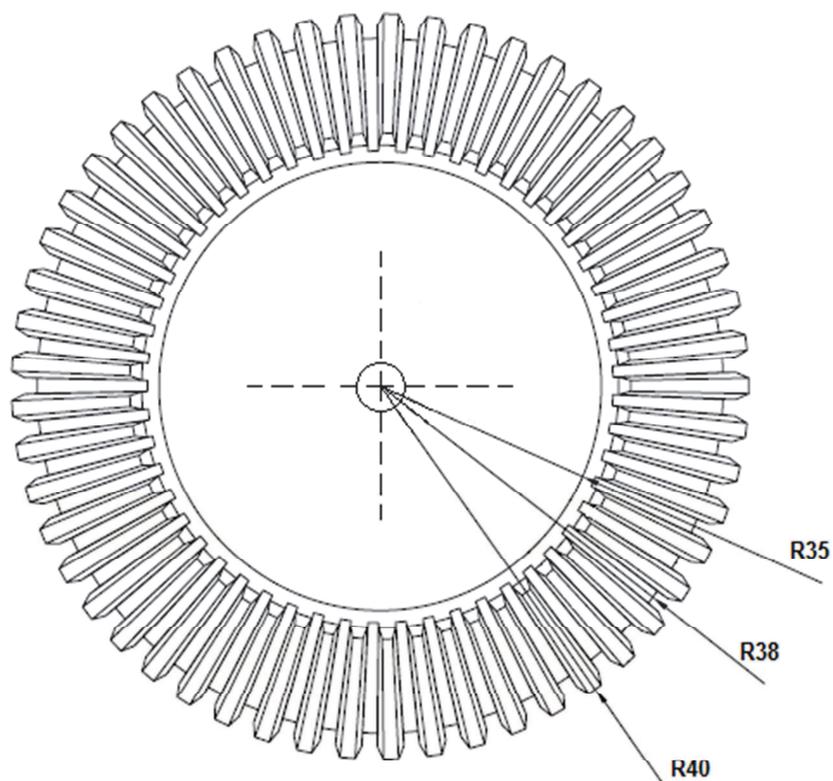


Mat. SAE 1045
Quant. 01 Pç.



INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

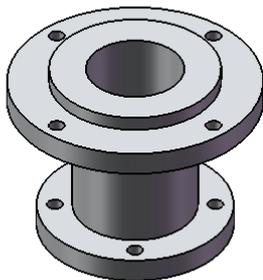
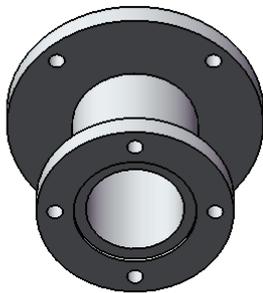
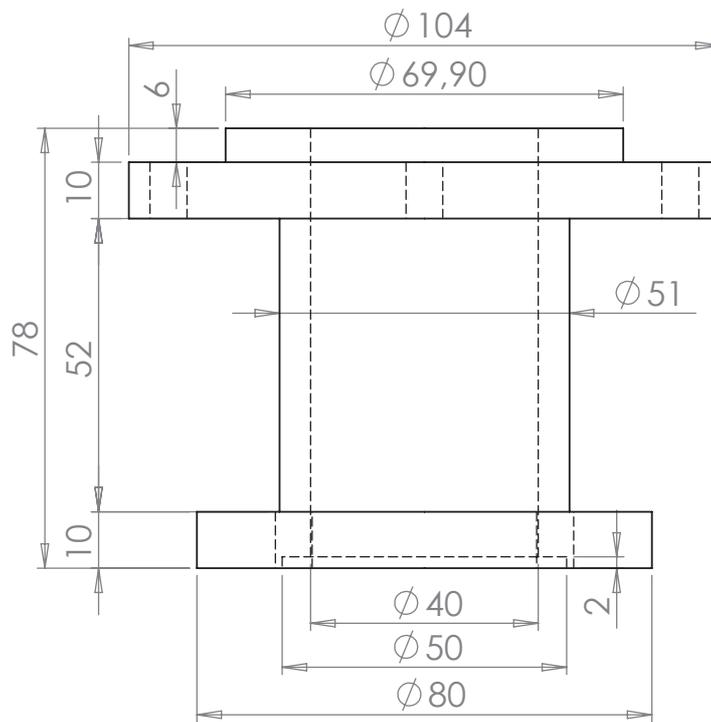
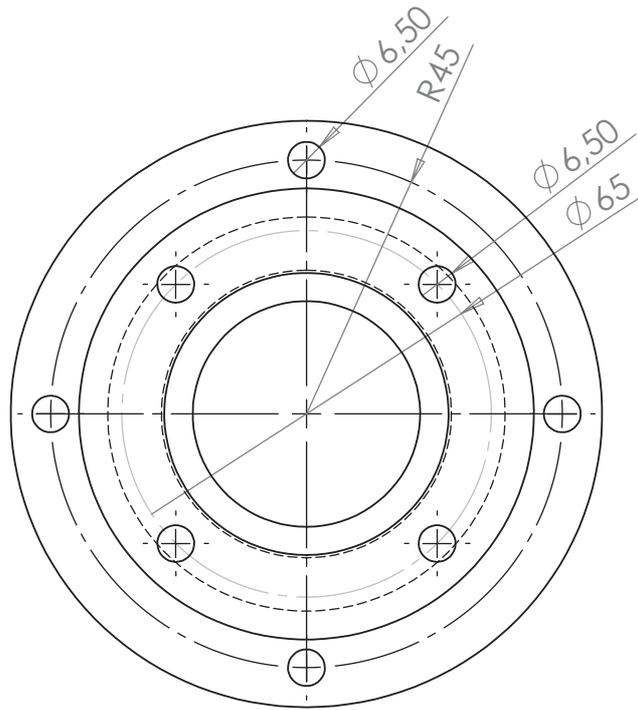
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:	DESENHO		
		FRACIONAL ±	VERIFICADO		
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±	APROV. ENG.		
		DUAS CASAS DECIMAIS ±	APR. MANUF.		
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±	QUALIDADE:		
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
			TAM	DES. N°	REV.
			A	Peça 55	
			ESCALA:1:2	PESO:	FOLHA 1 DE 1



38 dentes
Módulo 2

INT. CONFIDENCIAL E PROPRIEDADES
AS INFORMAÇÕES CONTEIDAS NESTE
DESENHO SÃO PROPRIEDADES EXCLUSIVAS
DA QUESERA O NOME DA EMPRESA.
A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL
SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO
DA QUESERA O NOME DA EMPRESA
É PROIBIDA.

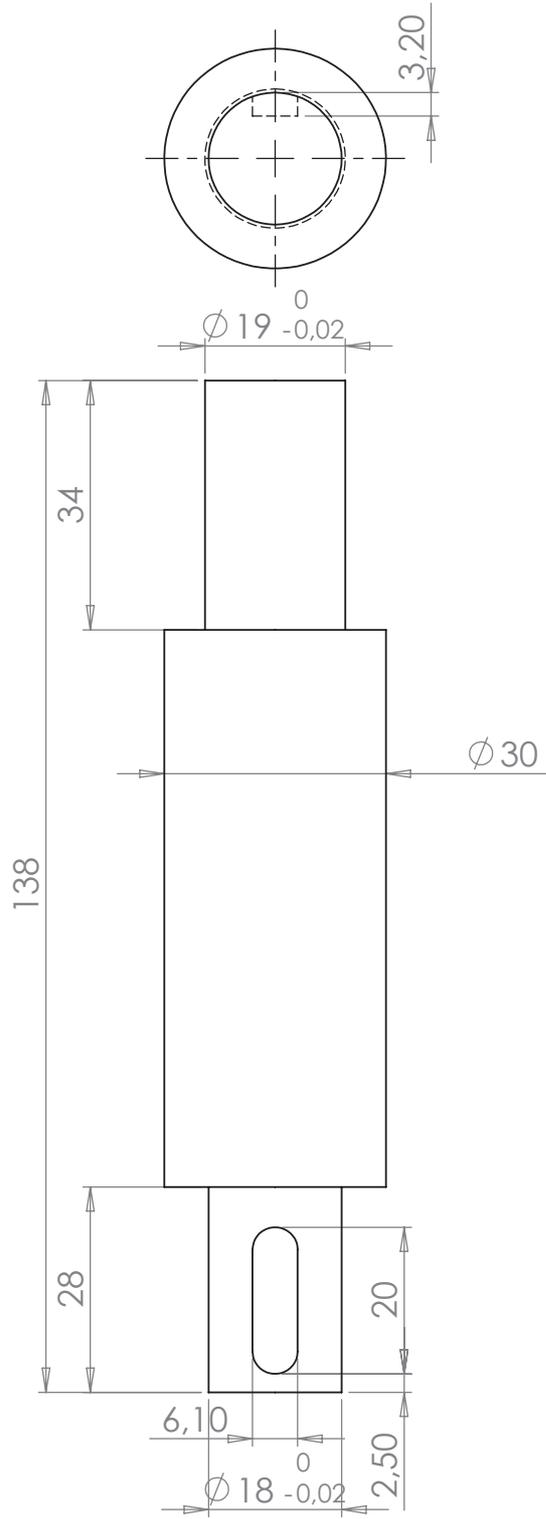
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		TOLERÂNCIAS:		NOME		DATA	
		FRACIONAL \pm		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRAR \pm		VERIFICADO			
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		APROV. EM S.			
		AMBIENTE		QUALIDADE		COMENTÁRIOS:			
PROJ. MÔD.	USADO EM	ACABAMENTO							
APLICATIVO		NÃO MEDAR ESCALA DO DES.							
						TAM. DEL. Nº		Peça 56	
						ESCALA: 1:1		FOLHA 1 DE 1	



Mat. Alumínio.
Quant. 01 Pç.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME		DATA	
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO			
		FRACIONAL ±		VERIFICADO			
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.			
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.			
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE:			
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:			
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO					
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.					
				TAM DES. Nº		REV.	
				A		Peça 57	
				ESCALA:1:2		PESO:	
						FOLHA 1 DE 1	

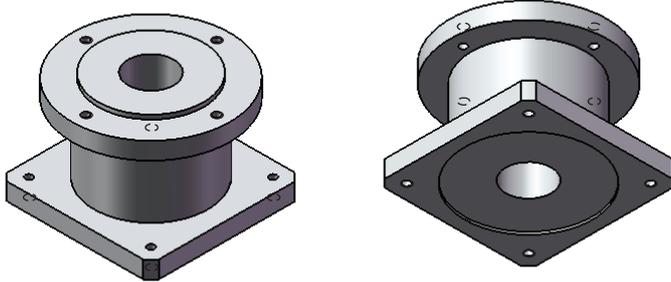
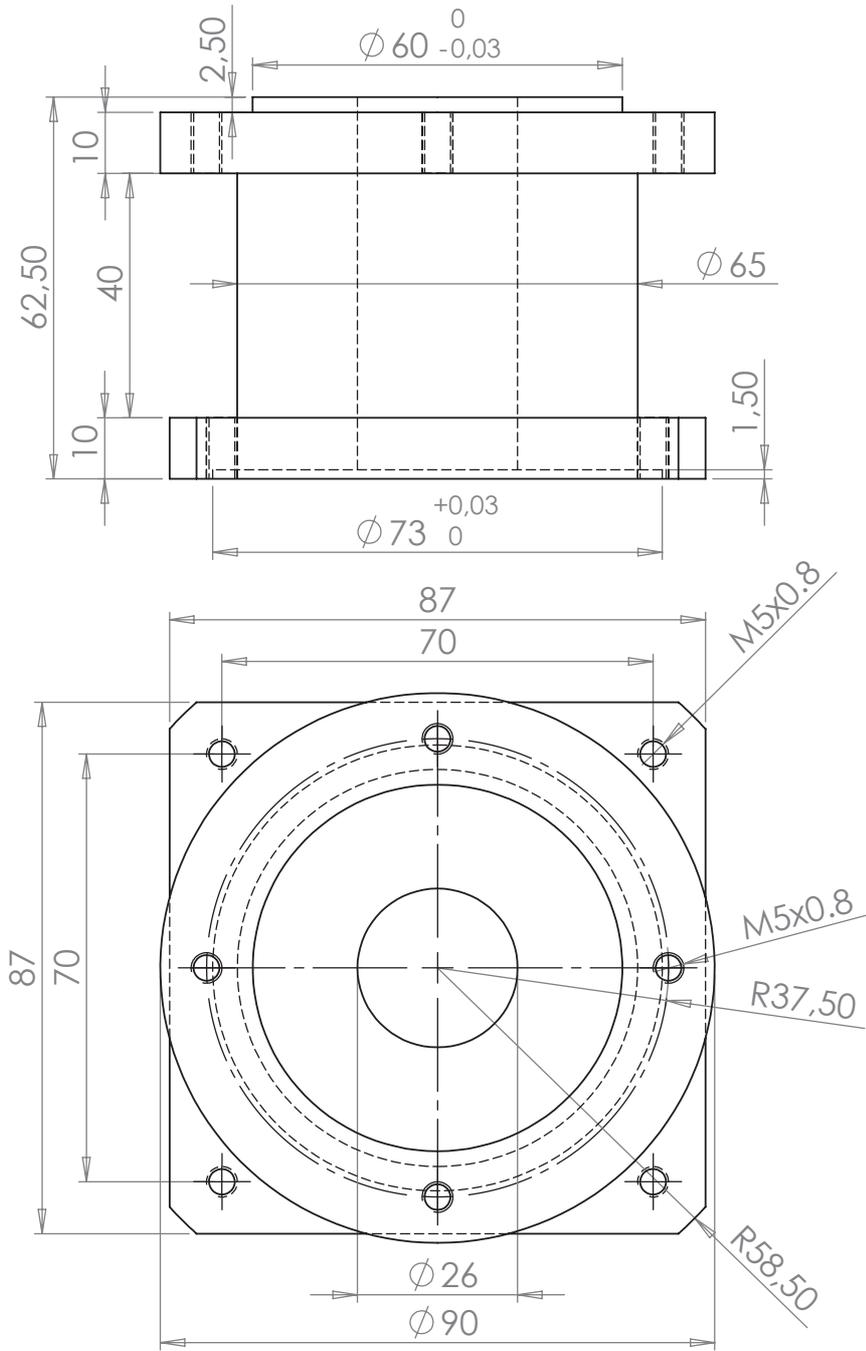
INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.



Mat. SAE 4140
Quant. 01 PÇ.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

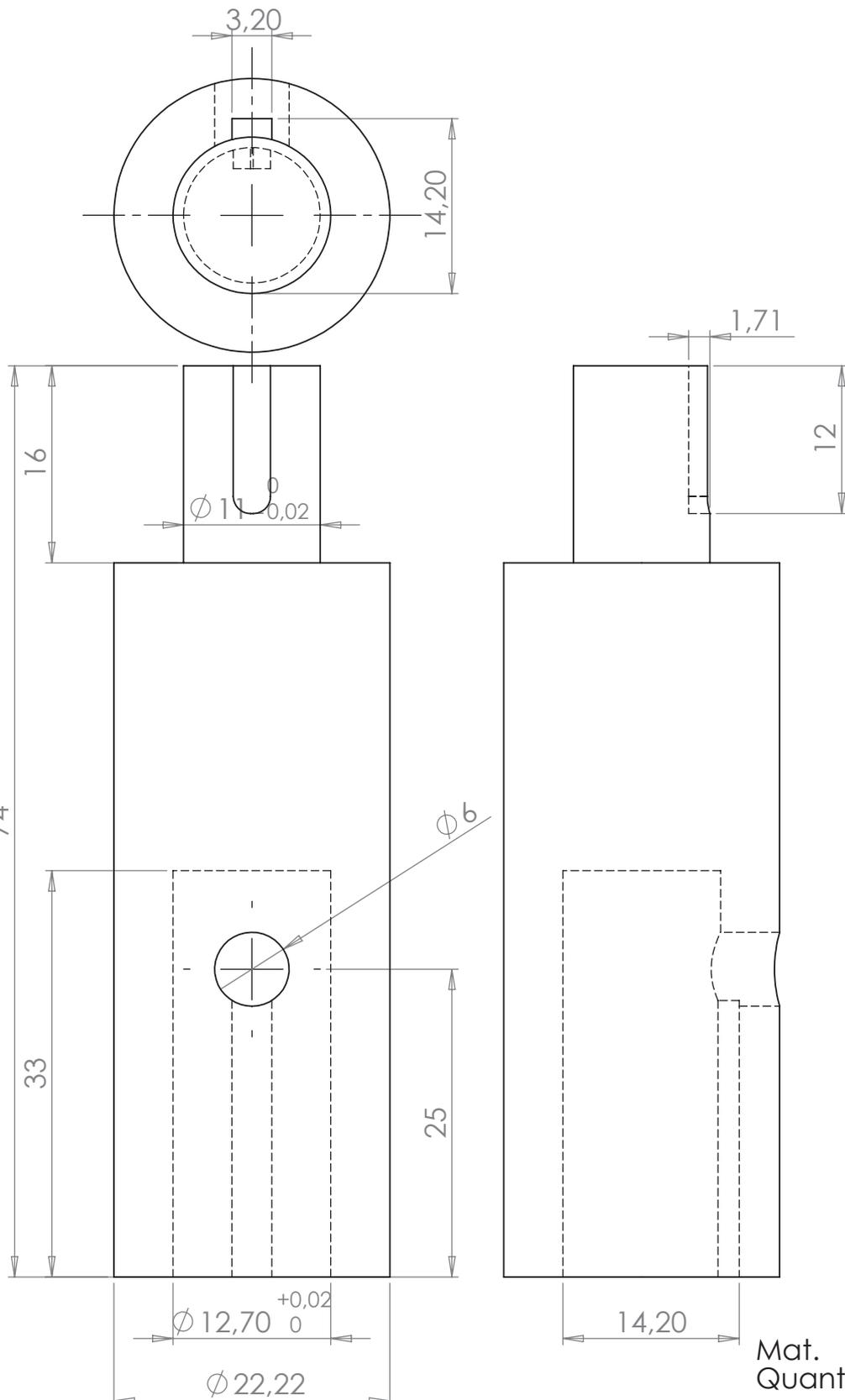
		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL \pm		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. \pm DOBRA \pm		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS \pm		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS \pm		QUALIDADE	
		MATERIAL	COMENTÁRIOS:		
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO			
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.			
TAM	DES. N°	Peça 58			REV.
A		ESCALA: 1:2	PESO:	FOLHA 1 DE 1	



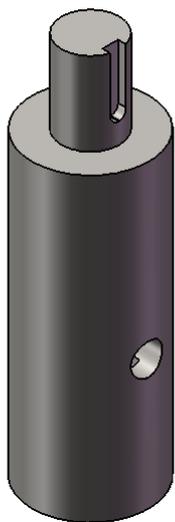
Mat. Alumínio
Quant. 01 Pç.

INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE:	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. N°
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 59
				ESCALA:1:2	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	



Mat. SAE 1045
Quant. 01 Pç.



INF. CONFIDENCIAIS E PROPRIETÁRIAS
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DESENHO SÃO PROPRIEDADE EXCLUSIVA DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA>. A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL SEM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DA <INSIRA O NOME DA COMPANHIA> É PROIBIDA.

		DIMENSÕES EM MILÍMETROS		NOME	DATA
		TOLERÂNCIAS:		DESENHO	
		FRACIONAL ±		VERIFICADO	
		ANGULAR: CORRESP. ± DOBRA ±		APROV. ENG.	
		DUAS CASAS DECIMAIS ±		APR. MANUF.	
		TRÊS CASAS DECIMAIS ±		QUALIDADE:	
		MATERIAL		COMENTÁRIOS:	
PRÓX. MONT.	USADO EM	ACABAMENTO		TAM	DES. Nº
APLICATIVO		NÃO MUDAR ESCALA DO DES.		A	Peça 60
				ESCALA: 1:1	PESO:
				REV.	
				FOLHA 1 DE 1	

Planilha da etapa de adensamento

Adensamento		
	Início	Término
Carga no hangar	0	31,25 [kg]
Tensão normal total	1	100,08 [kPa]
Transdutor 01 (Canal 03)	41,6824	41,2557 [mm]
Transdutor 02 (Canal 04)	45,4269	44,7691 [mm]
Altura da amostra (H)	20,00	19,46 [mm]
Volume específico (V)	1,72	1,68
Índice de vazios (e)	0,72	0,68

Tempo	Dados adensamento	
	Transdutor 01 Canal 03	Transdutor 02 Canal 04
10:54:42	41,682367	45,426855
8,398132	41,526912	45,211607
8,370667	41,291995	44,829326
8,329163	41,297174	44,820716
8,330078	41,298901	44,822438
8,330383	41,302359	44,808662
8,330994	41,297174	44,827604
8,330078	41,291995	44,798330
8,329163	0,7418823	0,8480835
	0,7800293	0,8514404
	0,8477783	0,8480835
	0,8493042	0,8532715

Resultados												
Tempo	Deslocamento cis. Δh [mm]	Deformação γ [%]	Varição Vol. Δv [mm]	Deformação Vol. ϵ_v [%]	Carga normal Liq. W [kN]	Tensão normal Liq. σ'_n [kPa]	Tensão normal efet. σ'_n [kPa]	Torque total M [kNm]	Tensão cis. τ [kPa]	τ/σ'_n	$\Delta\epsilon_v/\Delta\gamma$	Ângulo de atrito ϕ [°]
00:00:00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,82	66,72	66,72	0,00	0,00	0,00		0,00
00:00:15	0,162	0,81	0,01	0,07	0,88	71,48	71,48	0,02	25,23	0,35		19,44
00:00:30	0,325	1,62	-0,01	-0,05	0,85	69,63	69,63	0,03	33,87	0,49		25,94
00:00:45	0,487	2,44	0,15	0,74	0,84	68,60	68,60	0,03	35,76	0,52		27,53
00:01:00	0,650	3,25	0,03	0,13	0,92	75,21	75,21	0,03	38,86	0,52		27,33
00:01:15	0,813	4,06	-0,01	-0,03	0,91	74,40	74,40	0,03	41,88	0,56		29,37
00:01:30	0,975	4,87	0,06	0,28	0,85	69,31	69,31	0,04	51,81	0,75		36,78
00:01:45	1,137	5,69	-0,07	-0,34	0,75	61,12	61,12	0,04	43,86	0,72		35,66
00:02:00	1,300	6,50	0,04	0,19	0,74	60,73	60,73	0,04	47,78	0,79		38,19
00:02:15	1,462	7,31	-0,01	-0,05	0,81	66,22	66,22	0,04	46,82	0,71		35,26
00:02:30	1,625	8,12	0,12	0,61	0,84	68,43	68,43	0,04	43,76	0,64		32,60
00:02:45	1,787	8,94	0,07	0,33	0,86	69,98	69,98	0,04	49,04	0,70		35,02
00:03:00	1,950	9,75	0,06	0,31	0,83	67,44	67,44	0,04	51,37	0,76		37,30
00:03:15	2,113	10,56	0,04	0,22	0,68	55,23	55,23	0,04	52,21	0,95		43,39
00:03:30	2,275	11,38	0,08	0,40	0,82	67,24	67,24	0,04	49,25	0,73		36,22
00:03:45	2,437	12,19	0,08	0,39	0,66	54,22	54,22	0,04	52,60	0,97		44,13
00:04:00	2,600	13,00	0,07	0,36	0,82	67,09	67,09	0,04	54,26	0,81		38,96
00:04:15	2,762	13,81	0,11	0,55	0,65	53,30	53,30	0,04	54,18	1,02		45,47
00:04:30	2,925	14,62	0,06	0,31	0,71	57,71	57,71	0,05	55,70	0,97		43,98
00:04:45	3,087	15,44	0,07	0,37	0,81	66,17	66,17	0,05	59,84	0,90		42,12
00:05:00	3,250	16,25	0,15	0,77	0,62	50,63	50,63	0,05	57,54	1,14		48,66

APÊNDICE C

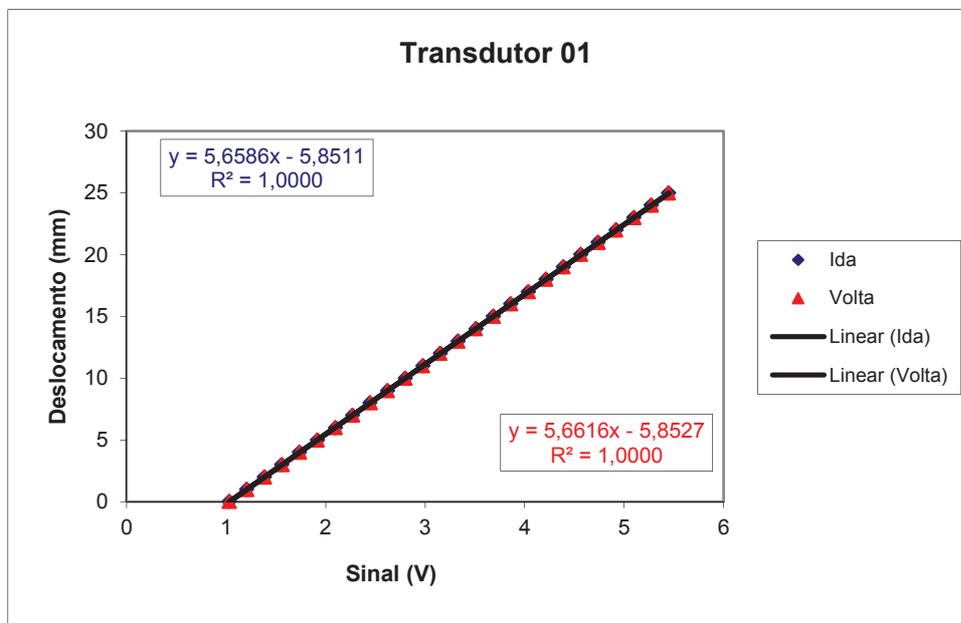


Figura 1. Calibração do transdutor linear 01.

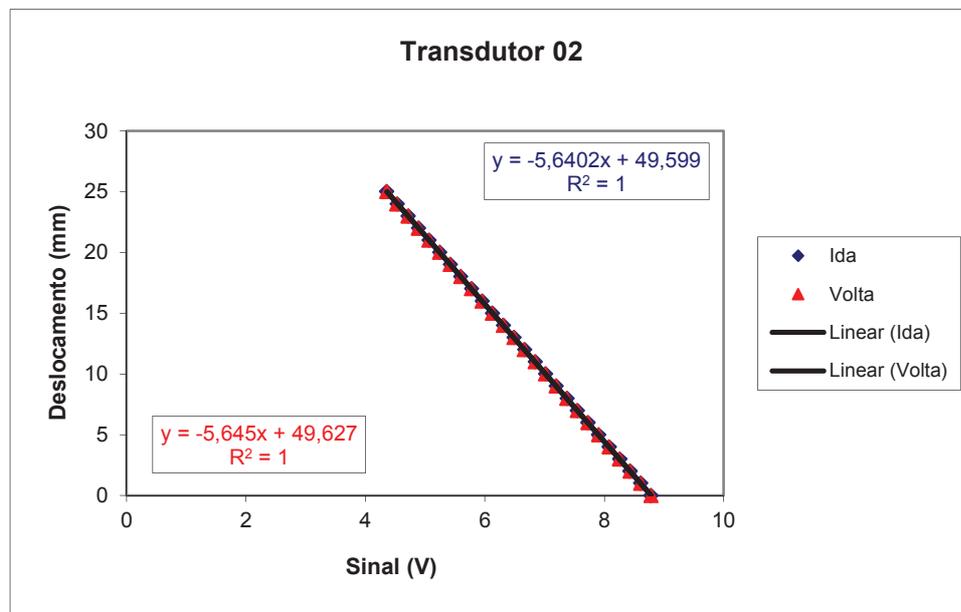


Figura 2. Calibração do transdutor linear 02.

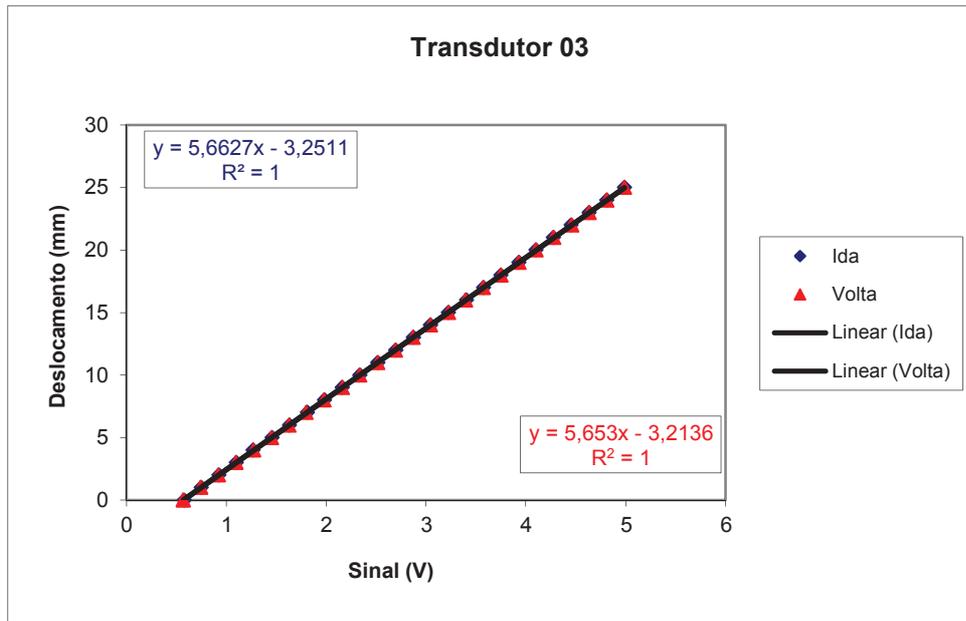


Figura 3. Calibração do transdutor linear 03.

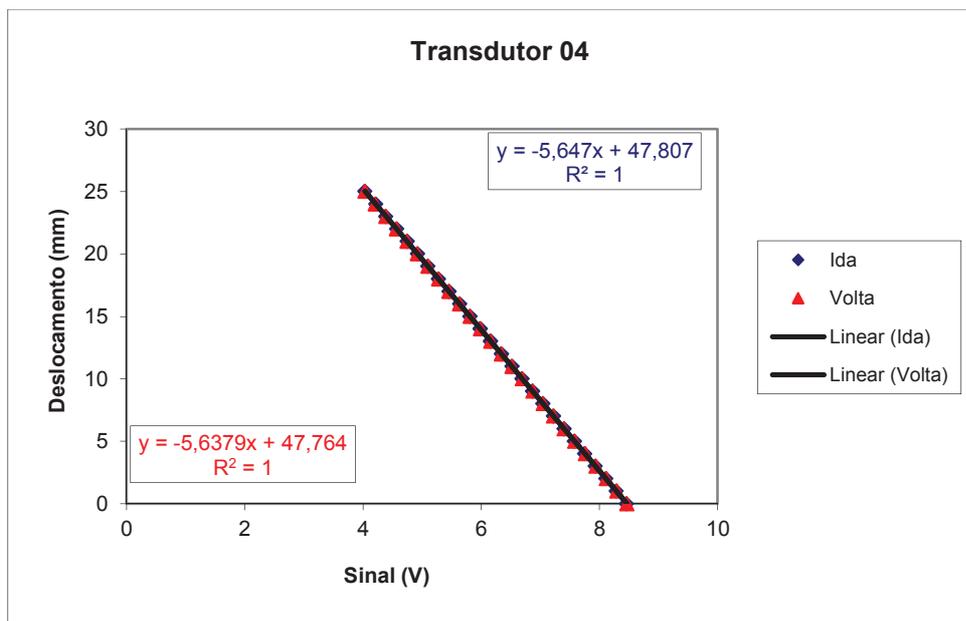


Figura 4. Calibração do transdutor linear 04.

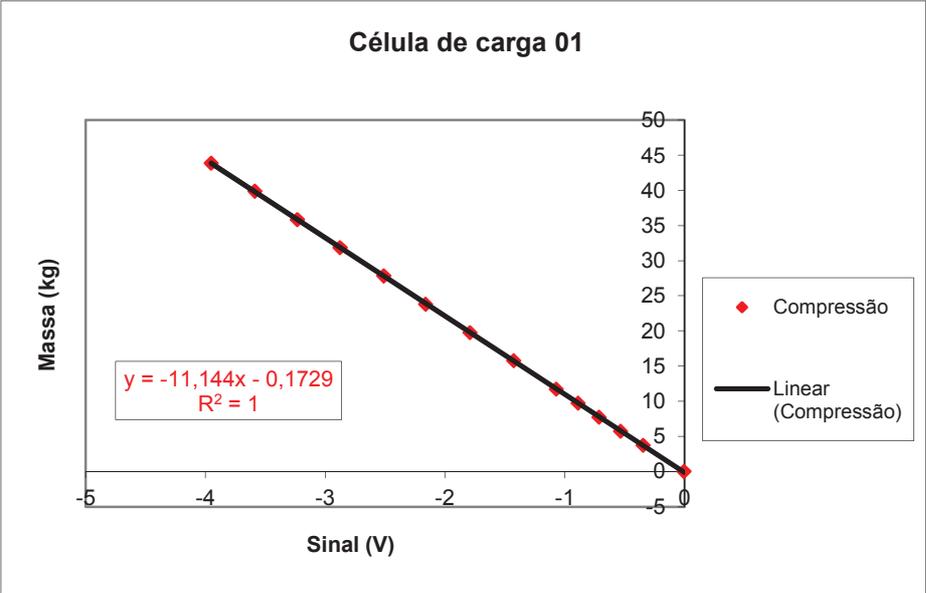


Figura 5. Calibração da célula de carga 01.

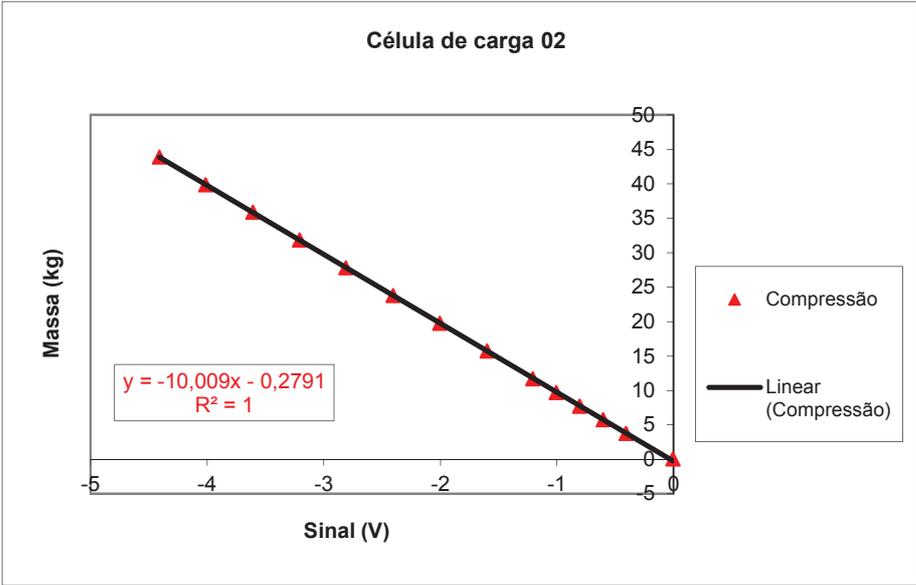


Figura 6. Calibração da célula de carga 02.

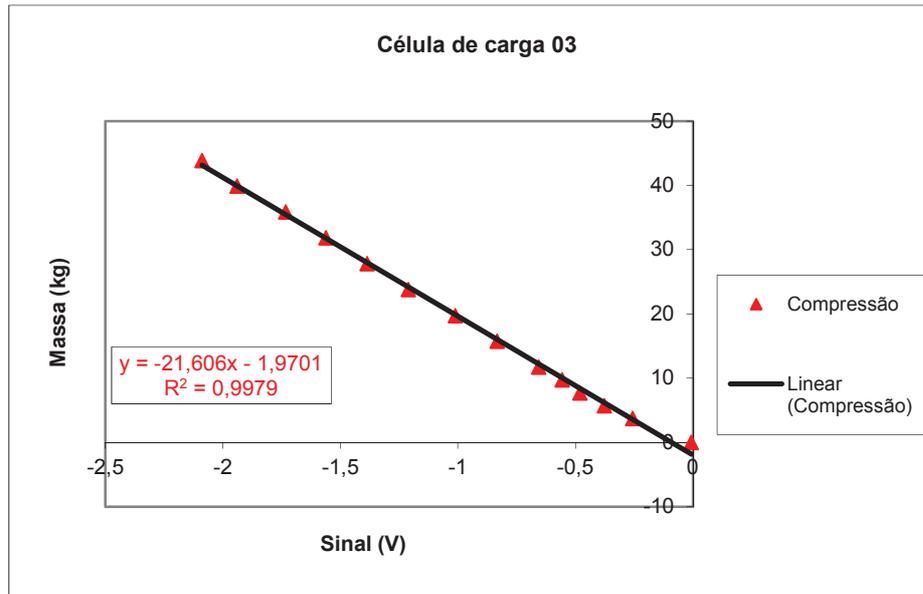


Figura 7. Calibração da célula de carga 03.