

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DA RESISTÊNCIA TANGENCIAL DE DESCONTINUIDADES ROCHOSAS

PEDRO MACHADO NOGUEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS E GEOTECNIA

Orientador: Professor Doutor Eduardo Manuel Cabrita Fortunato

Coorientador: Doutor José João Roseira Delgado Muralha

JANEIRO DE 2024

U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DA RESISTÊNCIA TANGENCIAL DE DESCONTINUIDADES ROCHOSAS

PEDRO MACHADO NOGUEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS E GEOTECNIA

Orientador: Professor Doutor Eduardo Manuel Cabrita Fortunato

Coorientador: Doutor José João Roseira Delgado Muralha

JANEIRO DE 2024

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2023/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2023/2024 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2024.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) no âmbito do Protocolo de Cooperação entre estas duas entidades.

À memória do meu Avô José Luiz Machado

Chore no começo para sorrir no fim

Marta Vieira da Silva

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), no nome do Professor Doutor Eduardo Manuel Cabrita Fortunato, pela oportunidade de realizar esse período nas suas instalações e por todo o suporte dado durante a realização desse trabalho.

Ao meu orientador, Professor Doutor Eduardo Fortunato, agradeço a oportunidade de realizar esse estudo e por todo o apoio, aconselhamento, ajuda e conversas que foram muito instrutivas, não apenas para o estudo, mas também para a vida.

Ao meu coorientador, Investigador Doutor José Muralha, agradeço por todos os conselhos, orientações, ensinamentos e experiências durante esse período. Ele foi um grande amigo, além de orientador para esse trabalho. Agradeço também toda a sua paciência e atenção, pois sempre se mostrou disponível a qualquer hora para conversar e ajudar no decorrer do trabalho.

Gostava de agradecer em especial aos Professores Carlos Moutinho e João Paulo Miranda Guedes, pois foram duas pessoas no meio académico que, nos meus momentos mais difíceis, deram conselhos e oportunidades que me fizeram seguir em frente nesta jornada e me tornar uma pessoa melhor.

Gostava de agradecer à minha família por todo o apoio dado durante o período universitário. Em particular, tenho um especial agradecimento à minha mãe e ao meu padasto, Daniela e Marcelo, por estarem sempre presentes nos momentos bons e ruins dessa jornada, com todo o apoio e carinho. Também, gostava de deixar um especial agradecimento ao meu tio, José Renato, que foi o grande incentivador de todo este percurso.

O maior e mais especial agradecimento vai ao meu avô e minha avó, José Luiz e Norma, porque, se não fossem eles, nada seria possível.

Espero um dia poder retribuir a todos, tudo o que fizeram por mim.

RESUMO

O comportamento mecânico de um maciço rochoso é caracterizado principalmente pela resistência ao corte da descontinuidade que separa as matrizes rochosas ou pela resistência do material que a preenche. À vista disso, a importância do estudo da resistência ao corte é indispensável para o âmbito da mecânica das rochas.

Este trabalho apresenta o estudo dos principais parâmetros de resistência ao corte de um conjunto de amostras de superfícies de descontinuidades de diferentes locais. O objetivo deste estudo é de tentar encontrar uma metodologia para a determinação dos parâmetros de resistência do modelo de Barton, sem a utilização dos métodos indiretos.

Numa primeira etapa, efetuou-se o estudo dos diferentes conceitos de análise com o objetivo de compreender o comportamento tangencial de descontinuidades de um maciço rochoso. Foram analisados resultados de 332 ensaios laboratoriais de deslizamento, realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) seguindo o procedimento do LMR 04. Nestes ensaios, foram realizados quatro ensaios de deslizamento com carga normais crescentes 0,4; 0,8; 1,6 e 3,2 MPa, que referenciam às condições existentes em zonas de fundação de obras de engenharia.

Em uma segunda etapa, desenvolveu-se uma metodologia na tentativa de determinar os parâmetros de resistência ao corte (ϕ , JCS e JRC) através da análise dos resultados de ensaios de deslizamento realizados anteriormente, sem a utilização dos ensaios indiretos (martelo de Schmidt, *tilt*, *push* e *pull*), de acordo com o proposto por Barton & Choubey (1977).

Por fim, foi possível estudar um intervalo de valores relativos a resistência à compressão simples em que permitiu determinar os valores relativos aos coeficientes de JRC e JCS . O objetivo de obter esse intervalo seria poder eliminar a utilização dos métodos indiretos que Barton & Choubey indicam para a determinação desses parâmetros.

PALAVRAS-CHAVE: parâmetros de resistência ao corte, ensaio de deslizamento, modelo de Barton, rugosidade, descontinuidades de maciços rochosos.

ABSTRACT

The mechanical performance of a rock mass is mainly characterized by the shear strength of rock joints that separate the rock masses, or by the material that fulfills it. Taking into consideration, the importance of the study of shear strength is essential for the field of rock mechanics.

This work presents the study of the main parameters of the shear strength of a set of samples of rock joints surface from different locations. The purpose of this study is to find an analytic solution for the use of indirect methods for determining the resistance parameters of the Barton model.

In a first stage, the study was carried out with different analysis concepts with the purpose of understanding the shear behaviour of rock joints. 332 laboratory examples of shear test were analysed, inside the LNEC (National Laboratory for Civil Engineering) following the proceed LMR 04. In which, in these procedures, it was performed 4 proceeds with progressive normal stress, being 0,4; 0,8; 1,6 and 3,2 MPa of normal stress, which refers to the conditions existing in the foundation zones of engineering works.

In a second stage, the methodology of Barton & Choubey (1977) was used in an attempt to determinate the shear strength parameters (ϕ , JCS e JRC) by analyzing the results of shear tests carried out previously without using indirect tests (Schmidt hammer, tilt test, push and pull test).

Finally, it was possible to study a range of values relative to unconfined compressive strength that would be possible to determine the relative values of the JRC and JCS coefficients. The purpose of this interval is to eliminate the use of indirect methods that Barton & Choubey indicate for these parameters to be determined by.

KEYWORDS: shear strength parameters, joint shear test, Barton's model, roughness, rock joints.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS.....	XII
1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVO.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO.....	3
2.RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS MACIÇOS ROCHOSOS E A RELAÇÃO COM AS DESCONTINUIDADES	5
2.1. INTRODUÇÃO.....	5
2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES.....	7
2.2.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL.....	7
2.2.4. ABERTURA E ENCHIMENTO.....	10
2.3. RESISTÊNCIA TANGENCIAL.....	13
3.ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA	21
3.1. ENSAIO DE DESLIZAMENTO EM LABORATÓRIO.....	21
3.2. ENSAIO DE DESLIZAMENTO <i>IN SITU</i>	22
3.3. ENSAIO DE INCLINAÇÃO PROGRESSIVA (ENSAIO DE <i>TILT</i>)	23
3.4. ENSAIO DE <i>PULL</i>	25
3.5. ESCLERÔMETRO (MARTELO DE SCHMIDT).....	26

4.DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA	31
4.1. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DE BARTON	31
4.2. ESTIMATIVA DO ÂNGULO DE ATRITO RESIDUAL	32
4.3. ESTIMATIVA DO ÂNGULO DE DILATÂNCIA INICIAL (i0)	38
4.4. ANÁLISE COMPARATIVA COM OS RESULTADOS DOS PRIMEIROS DESLIZAMENTOS	40
4.5. DETERMINAÇÃO DO JCS E JRC	45
5.CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXO A	57
TABELAS DE CÁLCULO	57
ANEXO B	157
GRÁFICOS PRODUZIDOS.	157

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 - EXEMPLOS DE DESCONTINUIDADES DE UM MACIÇO ROCHOSO PRESENTE A JUSANTE DA BARRAGEM DE FÓZ TUA.....	1
FIG. 2 - METODOLOGIA UTILIZADA POR BARTON E CHOUBEY (ADAPTADO DE BARTON & CHOUBEY, (1977)).....	2
FIG. 3 - DESCONTINUIDADES DO TALUDE AO LADO DA ESTAÇÃO DO TUA, NO RIO DOURO.	7
FIG. 4 - REPRESENTAÇÃO DA RUGOSIDADE DE UMA DESCONTINUIDADE (LIMA ET AL., 2018).	9
FIG. 5 - PERFIS DE RUGOSIDADE PADRÃO (ADAPTADO DE BARTON & CHOUBEY, 1977)	10
FIG. 6 - CONDIÇÕES DE ABERTURA DE UMA DESCONTINUIDADE (LIMA ET AL., 2018).	11
FIG. 7 - ENSAIO DO MARTELO DE SCHMIDT (FONTE: HTTPS://EDISCIPLINAS.USP.BR ; ACESSO EM 12/09/2023 ÀS 16:30).....	13
FIG. 8 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ENSAIO DE CORTE DIRETO (ADAPTADO DE HOEK, 2007) 14	
FIG. 9 - GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE T $\Delta\tau$.(LIMA ET AL., 2018)	14
FIG. 10 - REPRESENTAÇÕES DAS CURVAS DE $(T, \Delta T)$: A) CURVA DE $(T, \Delta T, \Delta N)$ PARA 1,5 MPA; B) RELAÇÃO $(T, \Delta T)$ PARA DIFERENTES TENSÕES; C) ENVOLVENTES DE ROTURA (ADAPTADO DE LIMA ET AL., 2018).	16
FIG. 11 - DIAGRAMAS REPRESENTATIVOS DO CRITÉRIO DE MOHR-COULOMB (ADAPTADO DE HOEK, 2007).	16
FIG. 12 - MODELOS TEÓRICOS PARA O EFEITO DA RUGOSIDADE NA RESISTÊNCIA AO DESLIZAMENTO (LIMA ET AL., 2018).....	17
FIG. 13 - GRÁFICO PARA A IRREGULARIDADE DE PRIMEIRA E SEGUNDA ORDEM (ADAPTADO DE BARTON, 1973)	18
FIG. 14 - FIG. REPRESENTATIVA DAS RELAÇÕES DE PATTON. A) CURVA TÍPICA QUE RELACIONA A TENSÃO TANGENCIAL COM O DESLOCAMENTO TANGENCIAL. B) CRITÉRIO DE ROTURA BILINEAR PARA DESCONTINUIDADES RUGOSAS (ADAPTADO DE GONZÁLEZ DE VALLEJO ET AL., 2002).	19
FIG. 15 - EQUIPAMENTO DO ENSAIO DE DESLIZAMENTO DO LNEC.	21
FIG. 16 - AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CORTE (MURALHA ET AL., 2013).	22
FIG. 17 - ESQUEMA PARA O ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CORTE IN SITU (ADAPTADO DE GONZÁLEZ DE VALLEJO ET AL., 2002).....	23
FIG. 18 - EQUIPAMENTO PARA O ENSAIO DE INCLINAÇÃO PROGRESSIVA (BARTON & CHOUBEY, 1977).	24
FIG. 19 - ENSAIO DE INCLINAÇÃO PROGRESSIVA EM CAMPO À DIREITA E ENSAIO DE INCLINAÇÃO PROGRESSIVA COM CILÍNDROS EM LABORATÓRIO (ADAPTADO DE GONZÁLEZ DE VALLEJO ET AL., 2002)	24
FIG. 20 - INTERVALO DE APLICAÇÃO DOS ENSAIOS DE TILT, PUSH E PULL PARA VALORES DE JRC DAS DESCONTINUIDADES (ADAPTADO DE BARTON & CHOUBEY, 1977).	25

FIG. 21 - EQUIPAMENTO DO ENSAIO DE PULL (SILVA, 2015)	26
FIG. 22 -RELAÇÃO ENTRE A TENSÃO TANGENCIAL E O DESLOCAMENTO TANGENCIAL.....	28
FIG. 23 – RELAÇÃO ENTRE O DESLOCAMENTO NORMAL E O DESLOCAMENTO TANGENCIAL.	28
FIG. 24 – RELAÇÃO ENTRE A TENSÃO TANGENCIAL E A TENSÃO NORMAL.....	29
FIG. 25 - CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE BARTON (ADAPTADO DE BARTON, 1971).....	33
FIG. 26 - COMPONENTES ANGULARES INDICADAS POR BARTON (ADAPTADO DE BARTON, 1971)	33
FIG. 27 – RELAÇÃO ENTRE A DE RESISTÊNCIA TANGENCIAL E A TENSÃO NORMAL.	34
FIG. 28 - GRÁFICO REFERENTE AO ÂNGULO DE ATRITO PARA CADA TENSÃO NORMAL I.	35
FIG. 29 - RELAÇÃO ENTRE O ÂNGULO DE ATRITO E A TENSÃO NORMAL.	35
FIG. 30 - REGRESSÃO EXPONENCIAL DO ENSAIO H65 DO GRUPO FRIDÃO (MONTANTE).	36
FIG. 31 – RELAÇÃO ENTRE OS Φ_{REG} E OS COEFICIENTES DE ATRITO DA REGRESSÃO EM GRAUS.....	37
FIG. 32 - COMPARAÇÃO DO ÂNGULO DE MOHR-COULOMB COM O ÂNGULO DE ATRITO RETIRADO DA REGRESSÃO.	38
FIG. 33 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE OS COEFICIENTES DE ATRITO E A DILATÂNCIA.	39
FIG. 34 - REGRESSÃO DO ÂNGULO DE DILATÂNCIA DO ENSAIO F27 DO GRUPO Foz TUA (GRANITO). ..	39
FIG. 35 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE O Φ_{MC} COMBINADO COM O I_0 E O Φ_R DO ENSAIO COM TENSÃO NORMAL IGUAL A 0,4 MPA DO GRUPO DE PARADELA.....	40
FIG. 36 - GRÁFICO COMPARATIVO DO ÂNGULO DE ATRITO RESIDUAL CALCULADO ($\Phi_{MC} + I_0$) E O ÂNGULO DE ATRITO DO ENSAIO $\Phi=1$	41
FIG. 37 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE O $\Phi_{REGRESSÃO}$ COMBINADO COM O I_0 E O Φ_R DO ENSAIO COM TENSÃO NORMAL IGUAL A 0,4 MPA, DO GRUPO DE PARADELA.....	41
FIG. 38 - GRÁFICO COMPARATIVO DO ÂNGULO DE ATRITO RESIDUAL CALCULADO ($\Phi_{REGRESSÃO} + I_0$) E O ÂNGULO DE ATRITO DO ENSAIO $\Phi=1$	42
FIG. 39 - HISTOGRAMA DOS DESVIOS DO GRUPO REFERIDO.....	43
FIG. 40 - HISTOGRAMA DOS DESVIOS DO GRUPO REFERIDO.....	43
FIG. 41 - HISTOGRAMA DOS DESVIOS DO GRUPO REFERIDO.....	44
FIG. 42 - HISTOGRAMA DOS DESVIOS DO GRUPO REFERIDO.....	44
FIG. 43 - HISTOGRAMA DOS DESVIOS DO GRUPO REFERIDO.....	44
FIG. 44 - HISTOGRAMA DOS DESVIOS DO GRUPO REFERIDO.....	45
FIG. 45 - GRÁFICO DAS FREQUÊNCIAS RELATIVAS DA DIFERENÇA ENTRE OS VALORES CALCULADOS E OS VALORES DO ENSAIO A 0,4 MPA.	45
FIG. 46 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE O JCS E JRC, RELATIVO AO GRUPO DE PARADELA.....	48
FIG. 47 - GRÁFICO DE $\log_{10}(JCS)$ X JRC DE TODOS OS ENSAIOS DO GRUPO DE PARADELA, COM INDICAÇÃO DO INTERVALO ESTIPULADO ATRAVÉS DO UCS:	49
FIG. 48 - HISTOGRAMA COMPARATIVO DO JRC DE UCS, UCS/2, UCS/4 E UCS/8.	50

FIG. 49 - VALORES DE JCS E JRC DENTRO DO INTERVALO DE UCS E UCS/2.....	50
FIG. 50 - HISTOGRAMA DOS VALORES DE JRC PARA O GRUPO REFERENCIADO.	51
FIG. 51 - HISTOGRAMA DOS VALORES DE JCS PARA O GRUPO REFERENCIADO.....	51

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PROPRIEDADES DE SOLOS (ROCHA, 1981).	5
TABELA 2 - PROPRIEDADES DE ROCHAS (ROCHA, 1981).	6
TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DE ABERTURAS(LIMA ET AL., 2018).	11
TABELA 4 - DESCRIÇÃO DOS GRAUS DE ALTERAÇÃO (ADAPTADO DE GONZÁLEZ DE VALLEJO ET AL., 2002).....	12
TABELA 5 - INTERVALOS DE REFERÊNCIA DE ÂNGULOS DE ATRITO (LIMA ET AL., 2018).....	15
TABELA 6 - ÂNGULOS DE ATRITO BÁSICO PARA AS ROCHAS SÃS (ADAPTADO DE BARTON & CHOUBEY, 1977) 20	
TABELA 7 - DESIGNAÇÃO E QUANTIDADES DOS ENSAIOS.	27
TABELA 8 - QUANTIDADES E GAMAS DE TENSÕES DOS ENSAIOS.....	30
TABELA 9 - ERROS DOS ENSAIOS.	42
TABELA 10 - ESTATÍSTICAS DE UCS PARA CADA LITOLOGIA DOS GRUPOS DE ENSAIOS.	46

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

E - módulo de deformabilidade ou módulo de Young [kPa]

K_t - rigidez tangencial [N/m]

γ_{rocha} - peso volúmico da rocha [kg/m³]

c - coesão aparente [MPa]

ϕ - ângulo de atrito [°]

ϕ_r - ângulo de atrito residual [°]

ϕ_b - ângulo de atrito básico [°]

ϕ_0 - ângulo de atrito a tensão normal nula [°]

ϕ_{inf} - limite inferior do angulo de atrito [°]

ϕ_{MC} - ângulo de atrito de Mohr-Coulomb [°]

ϕ_p - ângulo de atrito de resultante para superfícies rugosas e ângulo de atrito de pico [°]

ϕ_{ensaio} - ângulo de atrito do ensaio [°]

$\tan\phi$ - coeficiente de atrito

σ_n - tensão normal [MPa]

σ_{n0} - tensão tangencial quase nula [MPa]

σ_c - tensão de compressão uniaxial [MPa]

τ - tensão tangencial [MPa]

τ_p - tensão tangencial de pico [MPa]

τ_r - tensão tangencial residual [MPa]

τ_0 - tensão tangencial muito baixa [MPa]

δ_t - deslocamento tangencial [mm]

δ_n - deslocamento normal [mm]

i - ângulo de incidência ou ângulo de dilatância [°]

i_0 - ângulo de dilatância inicial ou ângulo de dilatância de pico [°]

i_{pat} - valor da dilatância do critério de Patton [°]

d_0 - dilatância máxima

d_n - ângulo de dilatância de pico por Barton

S_a - coeficiente relativo a resistencia ao corte da aspereza [°]

α - ângulo de deslizamento [°]

R - ressalto do martelo de Schmidt sobre a superfície sã e seca

r - ressalto do martelo de Schmidt sobre a superfície em estado natural

ACRÓNIMOS

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

UCS - resistência à compressão simples [MPa]

JCS - Joint-wall Compressive Strenght, coeficiente de resistência à compressão simples [MPa]

JRC - Joint Roughness Coefficient, coeficiente de rugosidade

CNS - Condição de rigidez normal constante

CNL - tensão normal uniforme constante

ABREVIATURAS

Fig. - Figura

CH - Circuito Hidráulico

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Este trabalho é inserido no domínio da mecânica das rochas, em particular no estudo dos parâmetros de resistência das descontinuidades de maciços rochosos. Este conhecimento é fundamental na engenharia de obras que estão inseridas ou fundadas em maciços rochosos, como por exemplo barragens de betão, pontes de grandes dimensões e obras subterrâneas (cavernas e túneis).

Segundo González de Vallejo et al., 2002, uma descontinuidade (Fig.1) é qualquer plano de origem geológica ou mecânica, que dá independência entre os blocos de matriz rochosa do maciço rochoso, sendo a sua resistência à tração nula ou bastante baixa. O comportamento mecânico desse bloco de matriz rochosa passa a ser caracterizado pela resistência ao corte desse plano de descontinuidade, ou em alguns casos pela resistência do material de preenchimento. Dessa forma, devido a necessidade de caracterizar a resistência ao corte, recorre-se a ensaios laboratoriais sobre amostras de descontinuidades de pequena dimensão ao invés de ensaios de caracterização *in situ*, que são muito mais dispendiosos e necessitam de mais tempo. Os modelos de Mohr-Coulomb e de Barton são os critérios mais utilizados para a caracterização da resistência ao corte de descontinuidades.

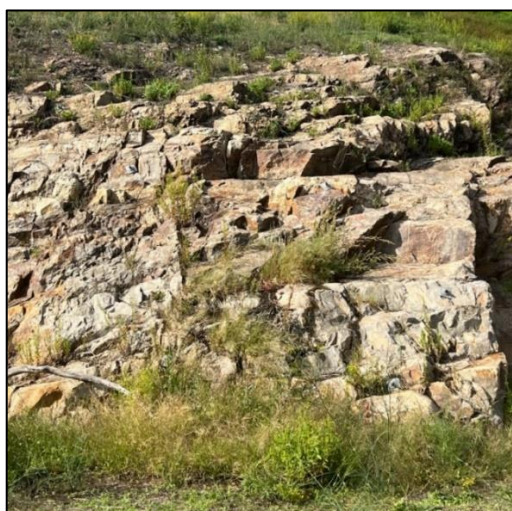


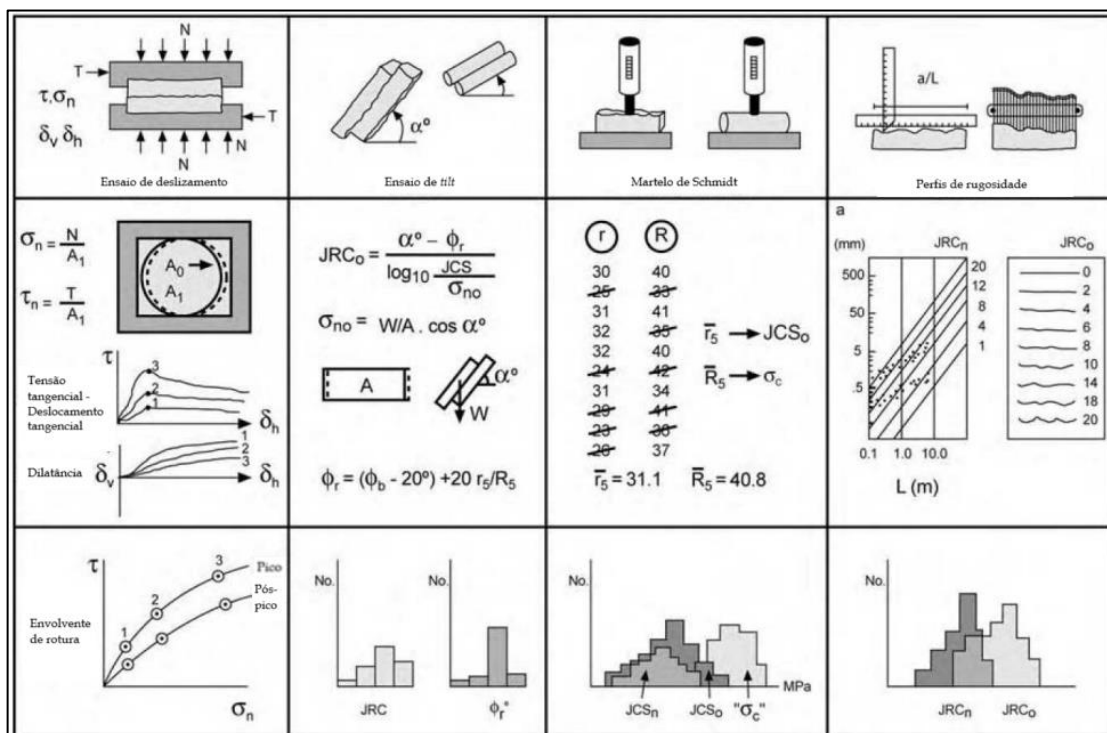
Fig. 1 - Exemplos de descontinuidades de um maciço rochoso presente a jusante da barragem de Foz Tua.

Este trabalho procura realizar uma análise de resultados de ensaios de determinação dos parâmetros de resistência em descontinuidades rochosas, realizados pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), em especial, o ensaio de deslizamento. Neste ensaio aplica-se uma tensão normal (σ_n) seguindo uma progressão geométrica de razão dois. No momento da aplicação da primeira carga, a superfície está limpa enquanto as seguintes cargas são aplicadas com o desgaste produzido no procedimento anterior para se poder aproximar do critério de Barton & Choubey (1977).

1.2. OBJETIVO

Este trabalho, tem como objetivo identificar uma forma de determinar os parâmetros de Barton (JCS e JRC e ϕ_r) a partir do resultado de ensaios de deslizamento. Foram realizados 332 ensaios no total, com diferentes litologias, padronizados pela LMR 04 (LNEC, 2017).

A metodologia indicada por Barton & Choubey (1977), apresentada esquematicamente na Fig. 2, para determinar os parâmetros de resistência, exige a utilização de métodos indiretos para a determinação dos parâmetros de Barton e pressupõe que o utilizador tem uma ampla experiência na utilização dos equipamentos de ensaio e na determinação dos parâmetros. O objetivo deste estudo é avaliar a possibilidade de se proceder a determinação dos parâmetros de Barton sem necessidade de utilizar esses métodos indiretos. Foram também determinados os parâmetros de Mohr-Coulomb e comparados com os resultados do modelo de Barton.



1.3. ORGANIZAÇÃO

O trabalho está organizado em cinco capítulos, incluindo o presente capítulo, *Introdução*, que tem como objetivo apresentar o enquadramento, objetivos e a organização do trabalho.

O capítulo 2, *Resistência Mecânica dos Maciços Rochosos e a Relação com as Descontinuidades*, apresenta as características das descontinuidades e os métodos para determinação dos parâmetros de resistência presentes na literatura da especialidade. Faz referência às características geométricas e mecânicas das superfícies das descontinuidades, e apresenta posteriormente os critérios de rotura de Mohr-Coulomb, Patton e Barton.

O capítulo 3, *Determinação dos Parâmetros de Resistência In Situ e em Laboratório*, apresenta os ensaios que podem ser realizados, tanto *in situ* quanto em laboratório, para a determinação dos parâmetros de resistência das descontinuidades de maciços rochosos. Neste capítulo apresenta-se também a organização e os dados dos ensaios realizados para o estudo apresentado neste trabalho.

O capítulo 4, *Determinação dos Parâmetros de Resistência*, descreve a metodologia utilizada para a determinação dos parâmetros de resistência das amostras e apresenta os resultados obtidos para comparar com os critérios do modelo de Barton, seguindo o procedimento utilizado por Barton, como apresentado na Fig. 2.

O capítulo 5, *Conclusão*, apresenta as principais conclusões do presente estudo e indica questões a serem abordadas futuramente.

2

RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS MACIÇOS ROCHOSOS E A RELAÇÃO COM AS DESCONTINUIDADES

2.1. INTRODUÇÃO

Existe uma diferenciação entre solos e rochas, sendo as abordagens de estudo distintas. Segundo Manuel Rocha (1981), a grande diferença reside no facto de as rochas terem a sua coesão não perturbada pela presença de água em excesso. Além disso, algumas propriedades, como a deformabilidade e resistência, são também diferentes. Para evidenciar as diferenças de comportamentos, o autor realizou ensaios para avaliar alguns parâmetros de grande importância, como o módulo de deformabilidade ou módulo de Young, E , e a coesão e o ângulo de atrito, c e ϕ , para os solos e rochas. Na Tabela 1 e na Tabela 2 apresentam-se alguns dos resultados obtidos nesses ensaios (Rocha, 1981).

Tabela 1 - Propriedades de solos (Rocha, 1981).

Tipo de solo	Módulo de deformabilidade, E (kg/cm ²)	Resistência	
		Coesão, c (kg/cm ²)	Ângulo de atrito, ϕ (°)
Areias			
Soltas	50 – 200	-	30
Médias	150 – 400	-	35
Duras	350 – 450	-	40
Argilas**			
Moles	10 – 50	0 – 0,5	
Duras	50 – 150	0,5 – 1,2	30 – 35
Muito Duras	150 – 500	1,2 – 2,5	
(*) Tensões Efetivas			
(**) Saturadas			

Tabela 2 - Propriedades de rochas(Rocha, 1981).

Tipo de rocha	Módulo de deformabilidade, E (kg/cm ²)	Resistência		Resistência à compressão uniaxial σ_c (kg/cm ²)
		Coesão, c (kg/cm ²)	Ângulo de atrito, ϕ (°)	
Argilitos e silitos				
Resistência baixa	4 – 30	5 – 30	30 – 35	20 – 120
Média	30 – 80	30 – 60	35 – 40	120 – 250
Elevada	80 – 300	60 – 120	40 – 55	250 – 800
Grés e conglomerados				
Resistência baixa	5 – 40	5 – 30	30 – 40	20 – 120
Média	40 – 100	30 – 80	40 – 50	120 – 400
Elevada	100 – 600	80 – 160	50 – 65	400 – 1500
Calcários				
Argilosos	5 – 50	5 – 40	30 – 40	20 – 200
Margosos	10 – 100	10 – 60	30 – 40	40 – 300
Puros	200 – 1000	100 – 400	40 – 50	400 – 2500
Quartzitos	200 – 1000	150 – 300	45 – 65	700 – 3000
Granitos e gnaisses				
Decompostos	4 – 30	4 – 20	35 – 45	15 – 100
Alterados	30 – 200	20 – 100	45 – 55	100 – 700
Sãos	200 – 1000	100 – 250	55 – 65	700 – 2500
Xistos*				
Decompostos	4 – 20	4 – 20	30 – 35	15 – 80
Alterados	20 – 150	20 – 100	35 – 40	80 – 400
Sãos	150 – 800	100 – 200	40 – 65	400 – 2000

(*) Características muito variáveis devido à anisotropia.

Com o estudo de maciços rochosos, no âmbito da mecânica das rochas, verificou-se que o existente na natureza e o aplicado em laboratório apresentam profundas diferenças. As propriedades mecânicas como o módulo de deformabilidade e a resistência do maciço são alteradas profundamente, sendo a primeira incrementada e a segunda reduzida. Este comportamento decorre da existência de fraturas nos maciços rochosos, denominadas por diaclases e falhas, que por conjunto são denominadas por superfícies ou planos de descontinuidades (Rocha, 1981).

As superfícies de descontinuidade são o que define as propriedades e o comportamento resistente, deformacional e hidráulico do maciço rochoso. O seu reconhecimento e caracterização são fundamentais para o estudo do comportamento mecânico e hidrogeológico do maciço rochoso, pois imprimem um caráter descontínuo e anisotrópico ao mesmo. Assim, o estudo das descontinuidades é de extrema importância na mecânica das rochas, pois são elas que controlam os processos de rotura e deformação às cotas superficiais dos maciços, onde ocorrem, em sua maioria, as obras de engenharia (González de Vallejo et al., 2002).

Atendendo à importância das descontinuidades no comportamento dos maciços rochosos, pode dizer-se que o seu estudo é imprescindível. Na prática, é fundamental reconhecer, descrever e caracterizar as mesmas. Dessa forma, o conhecimento das propriedades geométricas e mecânicas desse meio, em particular as que influenciam a resistência tangencial, são os principais pontos de estudo deste trabalho.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES

2.2.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL

O termo “descontinuidades” refere-se a qualquer separação no maciço rochoso. Existem diferentes tipos de descontinuidades que podem ser de origem sedimentar, diagenético ou tectónico. Este último dá origem às falhas e diaclases, sendo a estas as mais importantes para este estudo.

Os planos de descontinuidades das diaclases, representados na Fig. 3, são os mais comuns nos maciços rochosos e têm grande influência no comportamento dos mesmos. Por definição, as diaclases são qualquer rotura num maciço rochoso onde não se verifica deslocamento apreciável de um bordo em relação a outro e são observáveis macroscopicamente na superfície, natural ou artificial, do maciço ou em furos de sondagem (Rocha, 1981). Além disso, elas podem ser classificadas de acordo com a tensão atuante, sendo diaclases de tração, proveniente de tensões de tração, e diaclases de corte, com origem em tensões de corte.



Fig. 3 - Descontinuidades do talude ao lado da estação do Tua, no rio Douro.

As diaclases possuem um papel determinante no comportamento dos maciços rochosos, sendo fundamental a sua caracterização geométrica, física e mecânica, nomeadamente através da determinação da resistência ao corte e da rigidez da superfície.

2.2.2. CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA E FÍSICA

A rotura dos maciços rochosos ocorre ao longo das descontinuidades, logo a sua resistência é a condicionante para a estabilidade dos maciços (Topa Gomes, 2020). Por esse motivo, existe a necessidade, nos estudos da mecânica das rochas, de caracterizar de forma geométrica e física.

Considerando as características que descrevem as diferentes famílias de descontinuidades, que incluem os parâmetros geométricos, pode-se citar: orientação, espaçamento, continuidade, rugosidade, abertura, preenchimento, filtrações e a resistência das paredes. Alguns desses parâmetros, em particular a rugosidade, a abertura e o preenchimento, também influenciam o comportamento mecânico e a resistência ao corte dos planos de descontinuidades dos maciços rochosos.

Dada a dimensão das descontinuidades, a sua caracterização mecânica deve ser realizada, preferencialmente, por meio de ensaios *in situ*. No entanto, os ensaios *in situ* são demorados e dispendiosos, pelo que, geralmente, são feitos ensaios em laboratório sobre provetes de dimensões mais reduzidas.

Quando se realizam estudos de mecânica das rochas, uma das primeiras características analisadas é a orientação ou atitude das superfícies de descontinuidade. A orientação relativa e os espaçamentos são o que define o tipo de descontinuidade. O parâmetro da orientação é definido pela sua direção e inclinação, e a sua representação gráfica permite uma visão geral da geometria do maciço rochoso. Dessa forma, é possível observar a existência de instabilidades e roturas.

A forma do bloco de rocha intacta é definida pelo espaçamento e o desenvolvimento ou persistência das descontinuidades. O primeiro traduz a distância entre as descontinuidades de uma mesma família e é medido de forma perpendicular aos planos. Como existem grandes variações, normalmente esse parâmetro é representado pelo seu valor médio ou modal para as descontinuidades de uma mesma família. Já a persistência é a extensão do plano de descontinuidade, definindo se vai participar ou não dos processos de rotura e o grau que condiciona os parâmetros de resistência globais.

Para as diaclases, e para este estudo, são mais relevantes as características que mais condicionam o comportamento mecânico e a resistência ao corte, nomeadamente a rugosidade, a abertura, o enchimento e a resistência das paredes das superfícies de descontinuidades (González de Vallejo et al., 2002).

2.2.3. RUGOSIDADE

A rugosidade tem especial importância na resistência ao corte de uma descontinuidade, principalmente em diaclases fechadas e sem movimentos anteriores. A importância da rugosidade é inversamente proporcional à abertura e ao preenchimento da descontinuidade, e depende ainda dos movimentos de deslizamento que, eventualmente tenham ocorrido anteriormente.

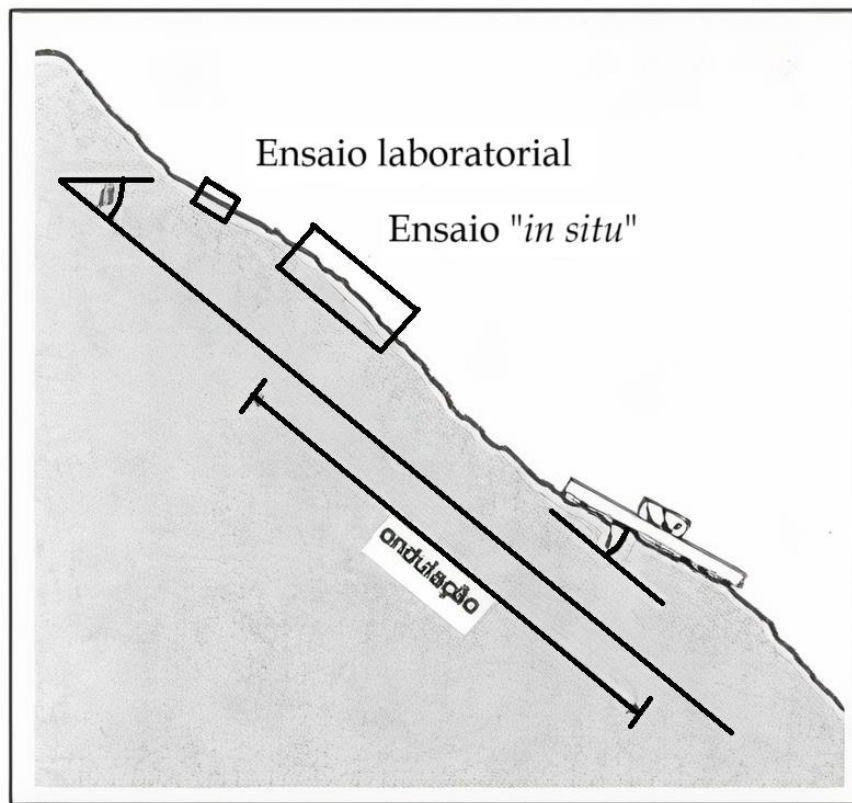


Fig. 4 - Representação da rugosidade de uma descontinuidade (Lima et al., 2018).

O termo rugosidade designa, em sentido amplo, as ondulações das superfícies das descontinuidades, como representado pela Fig.4. Este parâmetro pode ser avaliado em campo com diferentes métodos, dependendo da exatidão requerida. Um dos métodos utilizados é a comparação visual com os perfis de rugosidade padrão, representados na Fig. 5, que pode ser diferenciada em duas escalas de observação, a pequena, representada em centímetros, e a intermédia, representada aos metros. Estas escalas são divididas, cada uma, em três graus, sendo a pequena em rugosa, lisa e espelhada, e a intermédia em planar, ondulada e em patamar. As irregularidades em pequena escala podem ser definidas como de primeira e de segunda ordem. Existem métodos mais precisos como o método dos discos e a realização de perfis lineares que permitem ter medições quantitativas da rugosidade. (González de Vallejo et al., 2002 e Lima et al., 2018)

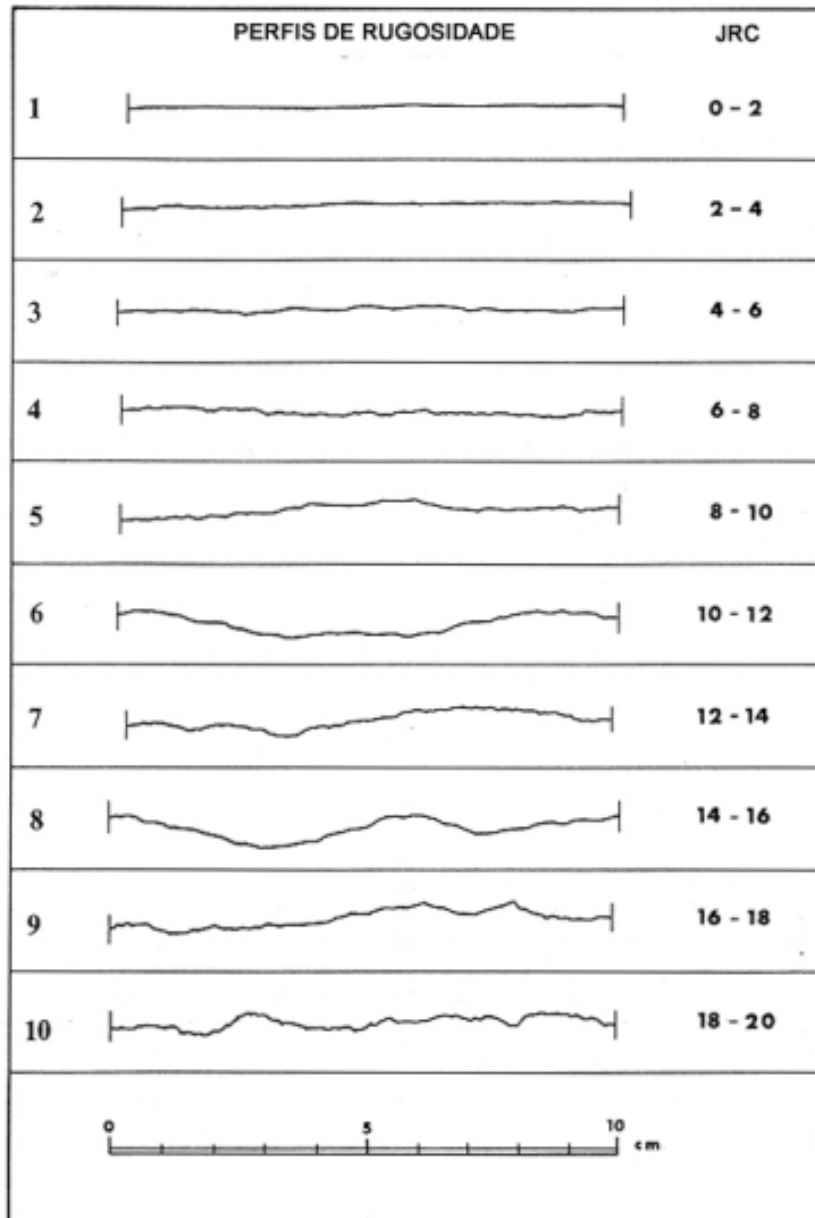


Fig. 5 - Perfis de rugosidade padrão (Adaptado de Barton & Choubey, 1977).

2.2.4. ABERTURA E ENCHIMENTO

A abertura pode ser definida como a distância, medida na perpendicular, que separa as paredes adjacentes de uma descontinuidade na direção normal ao seu plano. Estas aberturas podem vir a estar preenchidas com material bastante diversificado ou por ar e água. Dentre esses materiais é possível destacar a calcite, o quartzo, a argila, o silte, entre muitos outros. Esse preenchimento pode ser denominado também como enchimento e este pode ter uma determinada espessura correspondente à abertura da descontinuidade. A abertura e o tipo de enchimento influenciam os parâmetros geotécnicos do maciço, nomeadamente a resistência, a deformabilidade e a permeabilidade. A Fig. 6 apresenta uma representação ilustrativa de diferentes condições de abertura e preenchimento (Lima et al., 2018).

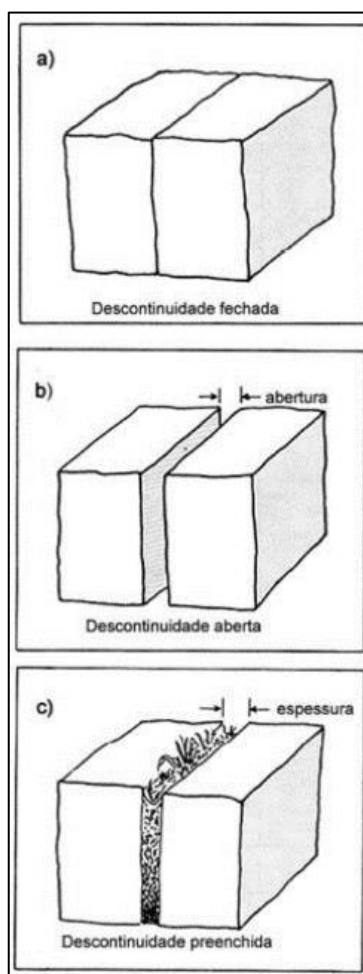


Fig. 6 - Condições de abertura de uma descontinuidade (Lima et al., 2018).

O preenchimento tem influência na resistência ao corte, mesmo em descontinuidades com aberturas mais fechadas, modificando as tensões efetivas atuantes nas paredes, correspondendo a diminuição do contato entre as mesmas. As medições de distância são realizadas no local com uma régua graduada em milímetros. Como apresentam variações ao longo da sua extensão, devem realizar-se ao longo de 3 metros. Esses valores foram tabelados (Tabela 3), adotando-se valores médios mais representativos para se definir uma classificação (González de Vallejo et al., 2002).

Tabela 3 - Classificação de aberturas(Lima et al., 2018).

Designação	Abertura (mm)
Muito fechadas	< 0,1
Fechadas	0,1 - 0,25
Parcialmente fechadas	0,25 - 0,5
Abertas	0,5 - 2,5
Largas	2,5 - 10
Muito largas	10 - 100
Extremamente largas	100 - 1000
Cavernosas	> 1000

Vale salientar que o tipo de enchimento também altera a resistência ao corte. Materiais pétreos possibilitam uma maior resistência e menor deformabilidade, enquanto materiais argilosos produzem efeitos contrários.

2.2.5. RESISTÊNCIA DAS PAREDES DAS DESCONTINUIDADES

A resistência das paredes das descontinuidades tem grande influência na resistência ao corte e na deformabilidade. Essa característica pode ter grande variação, mesmo para a mesma diaclase, pois depende do tipo de rocha, do grau de alteração e da existência ou não de preenchimento.

A resistência seria a mesma da rocha em si, se as descontinuidades fossem sãs e limpas. Entretanto, dependendo da alteração sofrida com o tempo esse parâmetro tende a diminuir. Atendendo a que o grau de alteração e a resistência das paredes estão relacionados, existe a necessidade de avaliar o grau de alteração do maciço rochoso em estudo, como representado na Tabela 4, que faz uma breve descrição dos graus de alteração.

Tabela 4 - Descrição dos graus de alteração (Adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Descrição do grau de alteração	
Termo	Descrição
Fresco	Não se observam sinais de meteorização na matriz rochosa.
Descolorada	Se observa alteração na coloração original do maciço rochoso. É conveniente indicar o grau de alteração. Se observado que a alteração de coloração se deve a um ou alguns minerais deve-se mencionar.
Desintegrada	A rocha se alterou a estado de solo, mantendo-se a fábrica de origem. A rocha é frágil, mas os grãos minerais não estão decompostos.
Decomposta	A rocha se alterou a estado de solo, alguns ou todos os minerais estão decompostos.

A resistência da parede das descontinuidades pode ser determinada através do ensaio do martelo de Schmidt, aplicando diretamente na descontinuidade como representado na Fig. 7. Trata-se de um ensaio simples, cujos resultados podem ser correlacionados com a resistência à compressão simples (Lima et al., 2018). Estes ensaios podem ser executados em superfícies de descontinuidades tanto *in situ* como em laboratório.



Fig. 7 - Ensaio do martelo de Schmidt (Fonte: <https://edisciplinas.usp.br>; Acesso em 12/09/2023 às 16:30).

2.3. RESISTÊNCIA TANGENCIAL

O estudo da rotura dos maciços rochosos apresenta duas grandes dificuldades: a definição geométrica das superfícies de deslizamento; e a determinação da sua resistência ao corte. Em geral, a rotura do maciço, que está submetido a um estado de compressão, ocorre por deslizamento ao longo das superfícies bem definidas (Rocha, 1981).

O comportamento mecânico das descontinuidades baseia-se na relação de rigidez da descontinuidade, que corresponde aos esforços de corte aplicados e aos deslocamentos tangenciais produzidos (González de Vallejo et al., 2002). Assim, a resistência também depende se o movimento se dá ao longo de uma descontinuidade ou de um conjunto, denominado por superfície complexa, que pode ser formada por descontinuidades, fraturas e rocha intacta, sendo de extrema importância, principalmente para as obras subterrâneas na engenharia (Topa Gomes, 2020).

Descontinuidades com ou sem preenchimento têm características mecânicas bem diferentes. No primeiro caso, as condições físicas e as propriedades mineralógicas do material que separa as paredes das descontinuidades são as características mais importantes. Por outro lado, nas descontinuidades sem preenchimento, as principais características são o atrito, a resistência à compressão das superfícies e a rugosidade (Barton & Choubey, 1977).

Neste trabalho é desenvolvido com maior ênfase o comportamento das descontinuidades sem preenchimento e os principais critérios de rotura que lhe são associados na mecânica das rochas. Esses critérios são conhecidos como o critério linear de Mohr-Coulomb, o critério bilinear de Patton (1996) e o critério não-linear de Barton, que serão analisados mais detalhadamente à frente.

O comportamento tangencial das descontinuidades depende da relação entre as tensões normal e de corte e os deslocamentos tangenciais e normais (González de Vallejo et al., 2002).

Os parâmetros que definem esse comportamento podem ser determinados tanto *in situ* como em laboratório, através do ensaio de corte direto, que possibilita a determinação das tensões tangenciais (τ)

que provocam o corte, em função das tensões normais aplicadas de forma constante (σ_n). A Fig. 8 apresenta uma representação esquemática de um equipamento de laboratório para ensaios de corte direto.

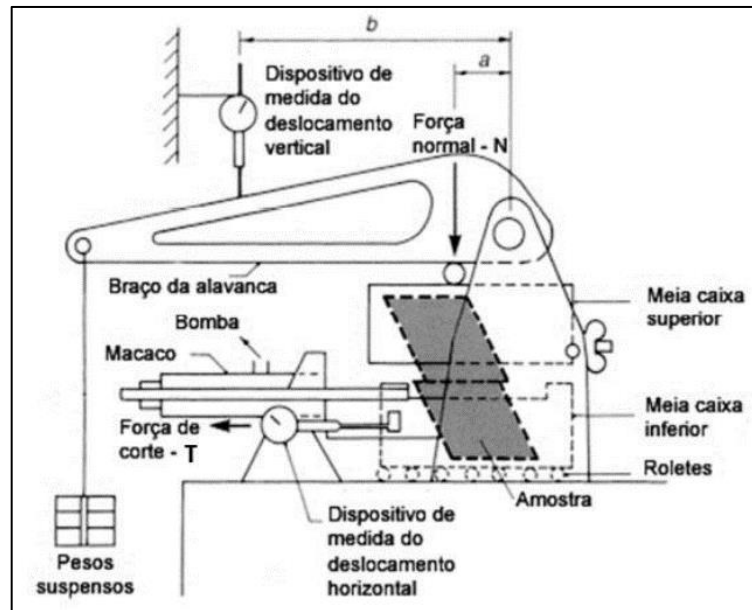


Fig. 8 - Representação esquemática do ensaio de corte direto (Adaptado de Hoek, 2007).

O ensaio permite entender a relação evolutiva entre a resistência ao corte e as deformações por corte normais: deslocamento tangencial (δ_t) e deslocamento normal (δ_n) (Lima et al., 2018).

Nos ensaios realizados em descontinuidades planas e lisas é possível perceber o instante no qual o deslocamento tangencial passa a ter um aumento acentuado enquanto o valor da tensão tangencial se mantém aproximadamente constante, tendo uma variação muito pequena ou quase nula. Esta característica pode ser percebida na Fig. 9 que contém o gráfico de ensaios realizados em dois tipos de rocha (traquito e arenito) com a aplicação de 1 MPa de tensão normal.

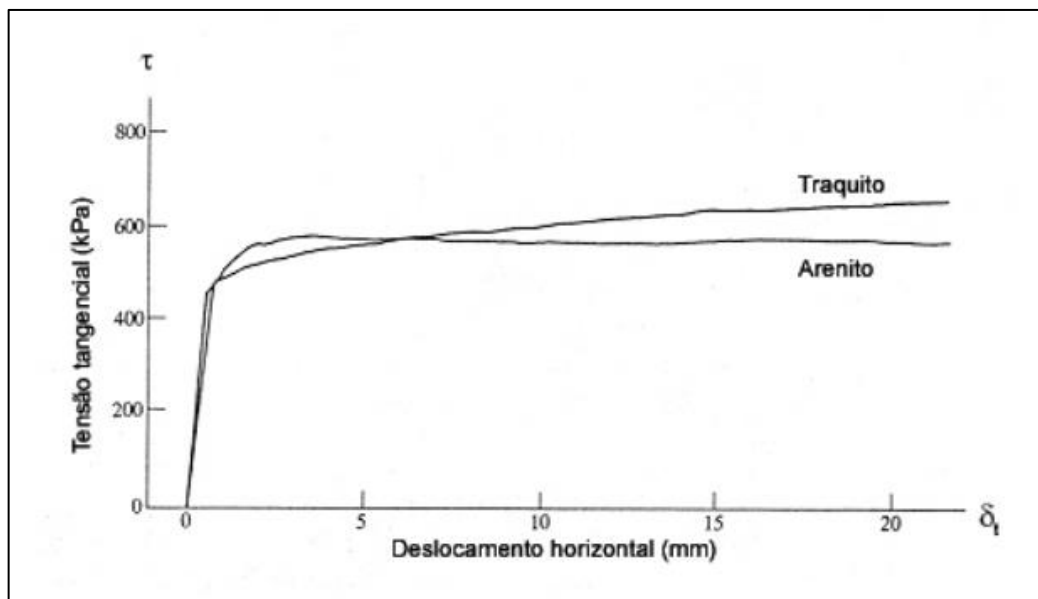


Fig. 9 - Gráfico da relação entre τ e δ_t . (Lima et al., 2018).

Quando são realizados vários ensaios de corte direto sobre o mesmo tipo de diaclases lisas com tensões normais diferentes, podem ser elaborados diagramas (τ, σ_n) , com as envolventes de rotura. No caso de diaclases lisas, essas envolventes seguem uma relação linear de acordo com a equação de Mohr-Coulomb (equação **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), em que a coesão é nula e o ângulo de atrito (ϕ) pode ser referido como ângulo de atrito básico (ϕ_b) . Na Tabela 5 apresentam-se valores do ângulo de atrito básico para diferentes tipos de rochas.

$$\tau_p = c + \sigma_n \tan \phi \quad (1)$$

Tabela 5 - Intervalos de referência de ângulos de atrito (Lima et al., 2018).

	Intervalo para o ângulo de atrito básico (ϕ_b)	Tipos de rochas
Rochas de baixo atrito	20° a 27°	Xisto micáceo
		Argila xistosa
		Marga
Rochas de médio atrito	27° a 34°	Arenito
		Siltito
		Cré
		Gneisse
		Ardósia
Rochas de elevado atrito	34° a 40°	Basalto
		Granito
		Calcário
		Conglomerado

No caso de descontinuidades rugosas, a relação entre o deslocamento tangencial e a tensão normal é completamente diferente da descontinuidades lisas que foi apresentada na Fig. 9. Isso porque depois de atingir a tensão tangencial de pico com um deslocamento tangencial de pequena expressão, para atingir grandes deslocamentos a tensão tangencial diminui de forma significativa, como pode verificar-se na Fig. 10(a). Normalmente, nestes casos, também é possível medir a existência de deslocamentos normais, no sentido do afastamento da peça ensaiada.

Quando verificada para diferentes tensões normais (Fig. 10(b)), pode-se obter diferentes envolventes de rotura (Fig. 10(c)), uma para a resistência de pico e outra para a resistência residual, sendo esta última para grandes deslocamentos tangenciais.

Patton, em 1966, foi quem estudou amostras de descontinuidades rugosas, assunto que será aprofundado mais à frente (Lima et al., 2018).

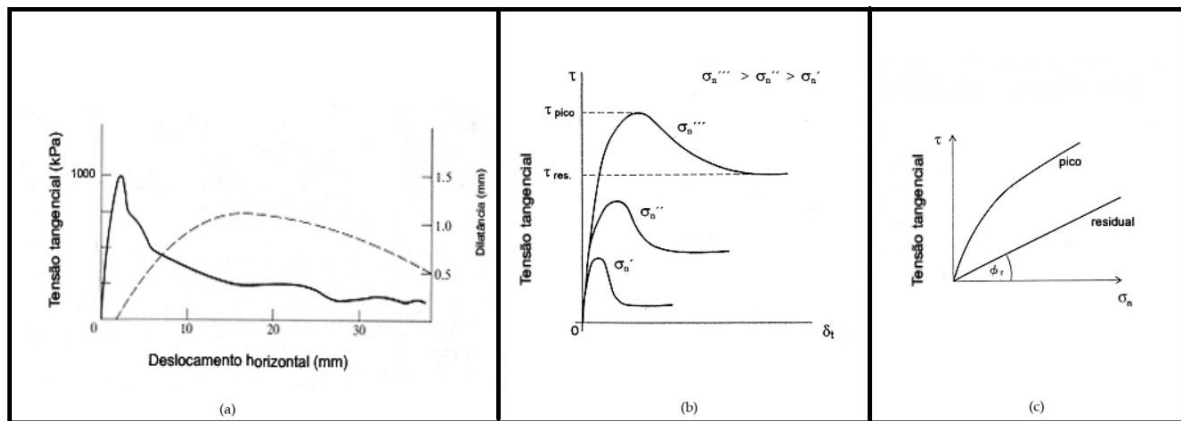


Fig. 10 - Representações das curvas de (τ, δ_t) ; a) Curva de $(\tau, \delta_t, \delta_n)$ para 1,5 MPa; b) Relação (τ, δ_t) para diferentes tensões; c) Envolturas de rotura (Adaptado de Lima et al., 2018).

A resistência ao corte depende especialmente das propriedades das descontinuidades, principalmente do coeficiente de atrito. As características geométricas mais importantes nesta resistência de atrito são: a rugosidade das paredes das descontinuidades, resistência das paredes, a espessura e propriedades do preenchimento, caso ela exista, e a área de contato das paredes (González de Vallejo et al., 2002).

Para caracterizar a resistência ao corte das descontinuidades, um dos primeiros critérios de rotura utilizados foi o de Mohr-Coulomb, que considera relações lineares que podem ser aplicadas à resistência de corte de pico ou residual (Fig.11).

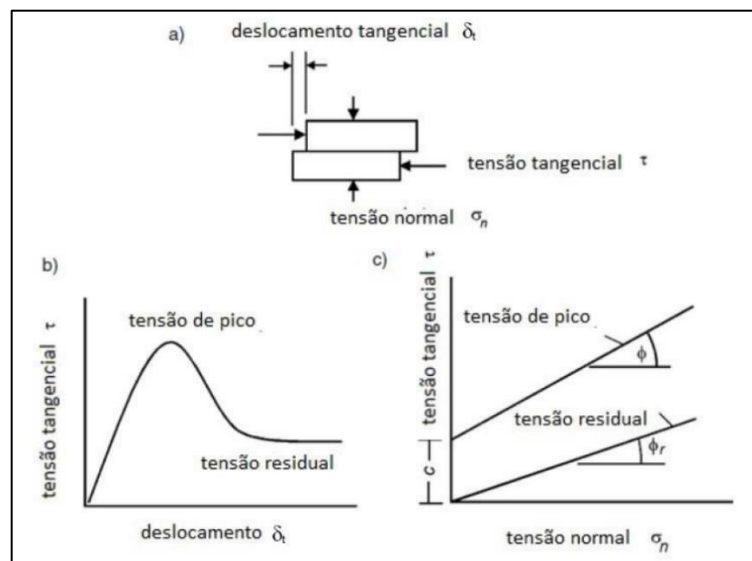


Fig. 11 - Diagramas representativos do critério de Mohr-Coulomb (Adaptado de Hoek, 2007).

A formulação para a resistência tangencial de pico (τ_p) que está relacionada com a tensão normal é dada pela relação linear de Mohr-Coulomb (equação (1)) em função da coesão (c) e o ângulo de atrito (ϕ):

Quando se caracteriza a resistência para grandes deslocamentos tangenciais - tangencial residual (τ_r) - a coesão (c) é, em regra, próxima de zero ou nula, e o ângulo de atrito (ϕ) na nova expressão (equação (2)) passa a ser o ângulo de atrito residual (ϕ_r).

$$\tau_r = \sigma_n \tan \phi_r \quad (2)$$

Este critério linear com dois parâmetros acaba por ser somente uma simplificação base, que está dependente da gama de variação da tensão normal. Quando aplicada a descontinuidades com outras tensões normais os valores da coesão e do ângulo de atrito podem ser completamente diferentes. Em Tectonofísica, a coesão pode chegar a dezenas de MN/m² e o ângulo de atrito pode chegar a somente 20°, já para estudos de estabilidade de taludes a coesão pode ser nula e o ângulo de atrito até 70° (Barton & Choubey, 1977).

Patton (1966) desenvolveu o seu modelo de rotura bilinear com a influência da rugosidade das descontinuidades a partir de ensaios de corte direto com superfícies dentadas de diferentes formas, as quais são exemplificadas na Fig. 12.

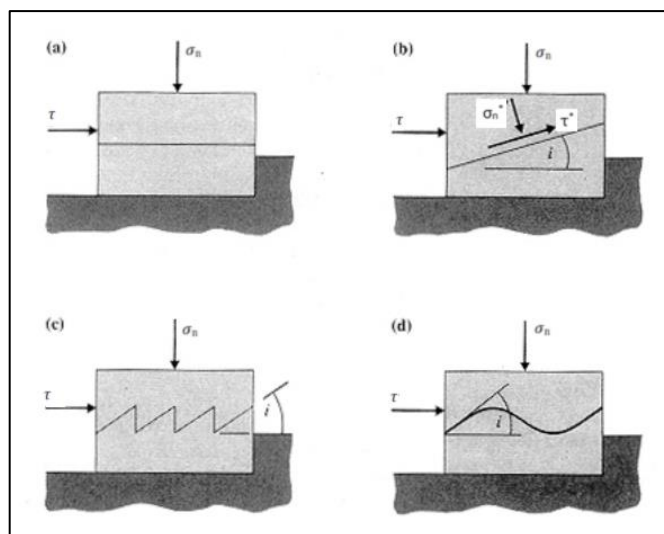


Fig. 12 - Modelos teóricos para o efeito da rugosidade na resistência ao deslizamento (Lima et al., 2018).

De forma geral, a rugosidade de uma superfície é definida por um ângulo, designado de ângulo de dilatação (i), que é adicionado ao ângulo de atrito utilizado nas considerações de Mohr-Coulomb, como mostra a equação (3).

$$\phi_p = \phi_b + i \quad (3)$$

Patton também estudou diversos tipos de descontinuidades e concluiu que é necessário diferenciar irregularidades de primeira ordem (ondulação) e segunda ordem (asperezas). A Fig. 13 ilustra o significado das irregularidades de primeira e segunda ordem, que representa as duas escalas de rugosidades. Para tal, utiliza um valor do ângulo de dilatação efetivo em vez da rugosidade das pequenas asperezas de primeira ordem, que estão presentes nas superfícies das descontinuidades à escala das amostras de laboratório. Logo, concluiu que este ângulo ϕ_p deve estar dentro do intervalo de 30° a 70°, sendo que o ângulo de atrito básico varia entre 20° e 40° e o ângulo de dilatação varia entre 0° e 40° (Barton, 1971 e González de Vallejo et al., 2002).

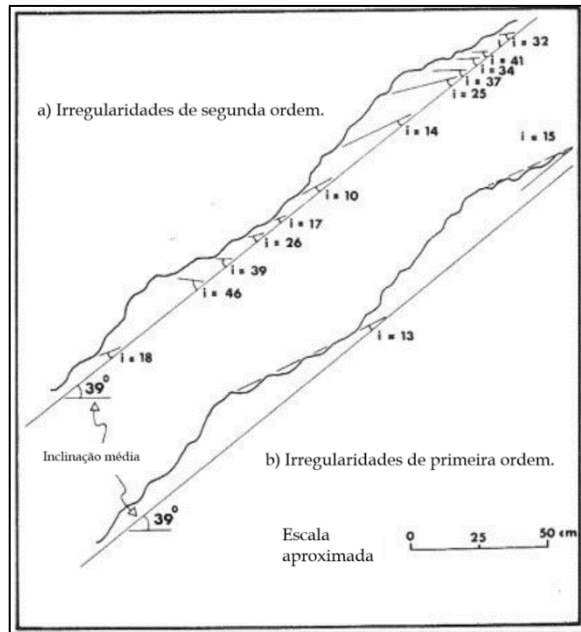


Fig. 13 - Gráfico para a irregularidade de primeira e segunda ordem (Adaptado de Barton, 1973).

Segundo a Fig. 12, quando as faces planas em contacto da descontinuidade não apresentam coesão e apenas atrito tem-se uma variação da formulação, da qual resulta a equação (4):

$$\tau = \sigma_n \tan(\phi_b + i) \quad (4)$$

Por outro lado, vale ressaltar que para as tensões normais muito altas, próximas da tensão de rotura do material da rocha, acaba acontecendo a rotura da rugosidade. Assim, o critério de Patton é bilinear e exhibe dois mecanismos básicos de rotura, como se mostra na Fig.14. Este comportamento dos mecanismos de rotura foi fundamental para ter um diferente conhecimento da resistência tangencial baseada nos parâmetros de resistência da coesão e o ângulo de atrito. Entretanto, como as descontinuidades dos maciços rochosos em laboratório são diferentes das reais existentes no local, dificilmente se verifica o mesmo comportamento dos modelos estudados por Patton, em que a rugosidade é representada por superfícies com dentes regulares.

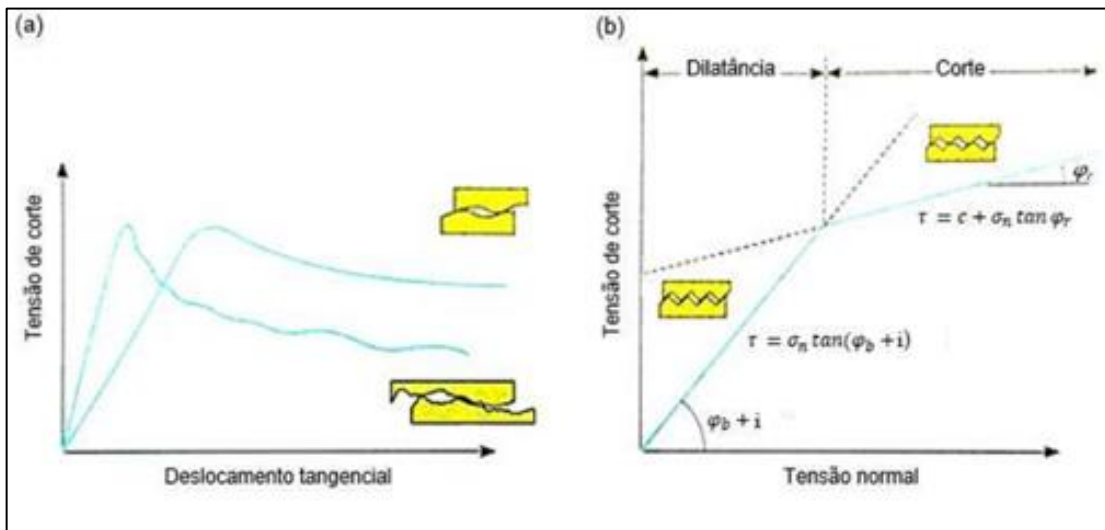


Fig. 14 - Figura representativa das relações de Patton: a) Curva típica que relaciona a tensão tangencial com o deslocamento tangencial. b) Critério de ruptura bilinear para descontinuidades rugosas. (Adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Barton (1973), continuou o estudo de Patton (1966), com foco maior no comportamento das descontinuidades naturais e desenvolveu o seu próprio critério empírico, equação (5). Este critério tem a intenção de adequar ou extrapolar dados da tensão de corte de pico e da resistência de corte de pico experimentais.

$$\tau = \sigma_n \tan(\phi_r + JRC \log_{10}(JCS/\sigma_n)) \quad (5)$$

A tensão tangencial de pico proposta por Barton (1973), é dada em função de novos parâmetros, sendo eles o *JRC* (Joint Roughness Coefficient), o coeficiente da componente geométrica da rugosidade, e o *JCS* (Joint-wall Compressive Strength), correspondente à componente de resistência resultante das roturas das asperezas. Além desses parâmetros, foi incluído na formulação inicial, o ângulo de atrito básico do maciço rochoso que corresponde a componente friccional.

Barton & Choubey (1977), depois de mais de cento e trinta e seis ensaios com oito tipos de rochas diferentes, readaptaram a equação (3) com a intenção de adequar a sua utilização para diferentes tipos de alteração das paredes das descontinuidades, introduzindo o ângulo de atrito residual (ϕ_r). Em geral, o valor do ângulo de atrito básico é igual ao ângulo de atrito residual ($\phi_b = \phi_r$) quando a rocha está sã, mas com a alteração das paredes das descontinuidades o valor para o ângulo de atrito residual é inferior ao valor do ângulo de atrito básico ($\phi_r \leq \phi_b$). Com isso, para avaliar o ângulo de atrito residual através do ângulo de atrito básico, Barton elaborou a Tabela 6 com valores do ângulo de atrito básico, e desenvolveu a equação (6) que leva em consideração o grau de alteração a partir do valor do ressalto do ensaio do martelo de Schmidt sobre a superfície em estado natural (*r*) e sobre uma superfície plana serrada da mesma rocha (*R*) (González de Vallejo et al., 2002):

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20 \frac{r}{R} \quad (6)$$

Como referenciado, Barton apresentou os ângulos de atrito básicos (ϕ_b) através da Tabela 6. A única contrarrecomendação de utilização dos dados desta tabela é quando a rocha está fortemente húmida.

Tabela 6 - Ângulos de atrito básico para as rochas sãs (Adaptado de Barton & Choubey, 1977).

Tipo de Rocha	Estado de humidade	Ângulo de atrito básico (ϕ_b) [°]	Referência
A. Rochas Sedimentares			
Arenito	Húmido	26-35	Patton, 1966
Arenito	Húmido	25-33	Patton, 1966
Arenito	Seco	29	Ripley& Lee, 1962
Arenito	Seco	31-33	Krsmanovic, 1967
Arenito	Húmido	32-34	Coulson, 1972
Arenito	Húmido	31-34	Coulson, 1972
Xisto	Húmido	33	Richards, 1975
Siltito	Húmido	27	Ripley& Lee, 1962
Siltito	Seco	31-33	Ripley& Lee, 1962
Siltito	Húmido	27-31	Coulson, 1972
Conglomerado	Seco	35	Krsmanovic, 1967
Giz, Cré ou Greda	Húmido	30	Hutchinson, 1972
Calcário	Seco	31-37	Coulson, 1972
Calcário	Húmido	27-35	Coulson, 1972
B. Rochas Ígneas			
Basalto	Seco	35-38	Coulson, 1972
Basalto	Húmido	31-36	Coulson, 1972
Granito de grãos fino	Seco	31-35	Coulson, 1972
Granito de grãos fino	Húmido	29-31	Coulson, 1972
Granito de grãos grosso	Seco	31-35	Coulson, 1972
Granito de grãos grosso	Húmido	31-33	Coulson, 1972
Pórfiro	Seco	31	Barton, 1971b
Pórfiro	Húmido	31	Barton, 1971b
Diabase	Seco	36	Richards, 1975
Diabase	Húmido	32	Richards, 1975
C. Rochas metamórficas			
Anfibolito	Seco	32	Wallace et al, 1970
Gnaisse	Seco	26-29	Coulson, 1972
Gnaisse	Húmido	23-26	Coulson, 1972
Ardósia	Seco	25-30	Barton, 1971b
Ardósia	Seco	30	Richards, 1975
Ardósia	Húmido	21	Richards, 1975

3

ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

3.1. ENSAIO DE DESLIZAMENTO EM LABORATÓRIO

O ensaio de deslizamento em laboratório tem como objetivo determinar a resistência ao corte de pico e residual de descontinuidades, através da verificação do deslocamento relativo entre as superfícies, pela aplicação de tensões tangenciais, em função de tensões normais aplicadas sobre o plano da descontinuidade (González de Vallejo et al., 2002).

A resistência ao corte pode ser determinada de duas maneiras diferentes, sendo por condição de rigidez normal constante (CNS) ou por tensão normal uniforme constante (CNL). No método de CNS, a tensão normal é variada em todo o ensaio enquanto a rigidez é mantida constante. Esse método é utilizado para quando se deseja representar a resposta natural das descontinuidade de maciços rochosos não planares ao corte. Já no método do CNL, a tensão normal é constante durante a realização do ensaio e é utilizada para dimensionamento de problemas de engenharia civil próximos a superfície em que as tensões são relativamente baixas, por isso este é o método utilizado neste trabalho. (Muralha et al., 2013).

O equipamento utilizado no LNEC para esse ensaio, que se apresenta na Fig. 15, tem como particularidade a amostra estar encapsulada para poder ser fixada dentro da caixa de corte.



Fig. 15 - Equipamento do ensaio de deslizamento do LNEC.

A partir dos resultados deste ensaio é possível traçar curvas, como as apresentadas na Fig.16, que relacionam a tensão normal (σ_n), a tensão tangencial (τ), e o deslocamento tangencial (δ_t), que são utilizados para a determinação dos parâmetros de resistência ao corte. O critério de Mohr-Coulomb é o usado normalmente para a modelação dos resultados dos ensaios, porém não podem ser utilizados para extrapolar além das tensões normais utilizadas nos ensaios, em especial para tensões normais menores, por causa da sua relação linear que conduz a valores contra a segurança. Entretanto, os critérios não lineares podem ser considerados para a representação dos ensaios de descontinuidades rugosas, sendo possível retirar, para além dos valores da resistência ao corte, o valor da dilatância (i_{pat}) do critério de Patton (1966) e o JRC do critério de Barton & Choubey (1977) (Muralha et al., 2013).

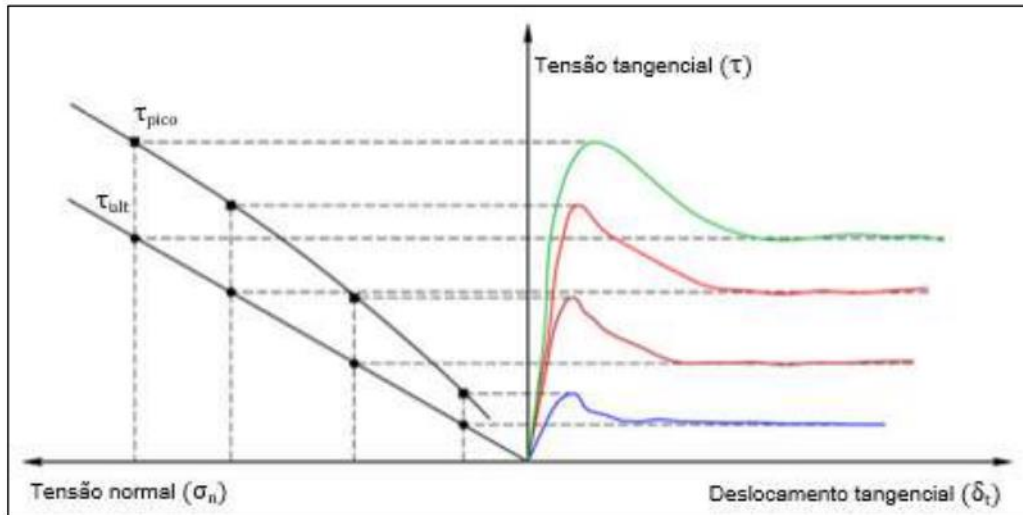


Fig. 16 - Avaliação da resistência ao corte (Muralha et al., 2013).

3.2. ENSAIO DE DESLIZAMENTO *IN SITU*

O ensaio de deslizamento *in situ* ou de resistência ao corte *in situ*, executa-se em blocos de rocha existentes em galerias ou na superfície do maciço rochoso, com dimensão padrão dos provetes de $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$, mas podem variar entre $0,4 \times 0,4 \text{ m}^2$ e $1,0 \times 1,0 \text{ m}^2$.

O procedimento para realização do ensaio é dividido em duas fases. Na primeira fase aplica-se uma tensão normal constante à descontinuidade, com o controle dos deslocamentos produzidos, e, na segunda fase é aplicada uma tensão tangencial até provocar o deslizamento do provete na direção do plano de ensaio, controlando os deslocamentos normal e tangencial e a magnitude da tensão aplicada. O ensaio é realizado geralmente em galerias em que é possível posicionar os macacos hidráulicos que são utilizados para gerar as forças aplicadas contra a parede e o teto da galeria. A Fig. 17 ilustra o equipamento utilizado para o ensaio de resistência ao corte *in situ* (González de Vallejo et al., 2002).

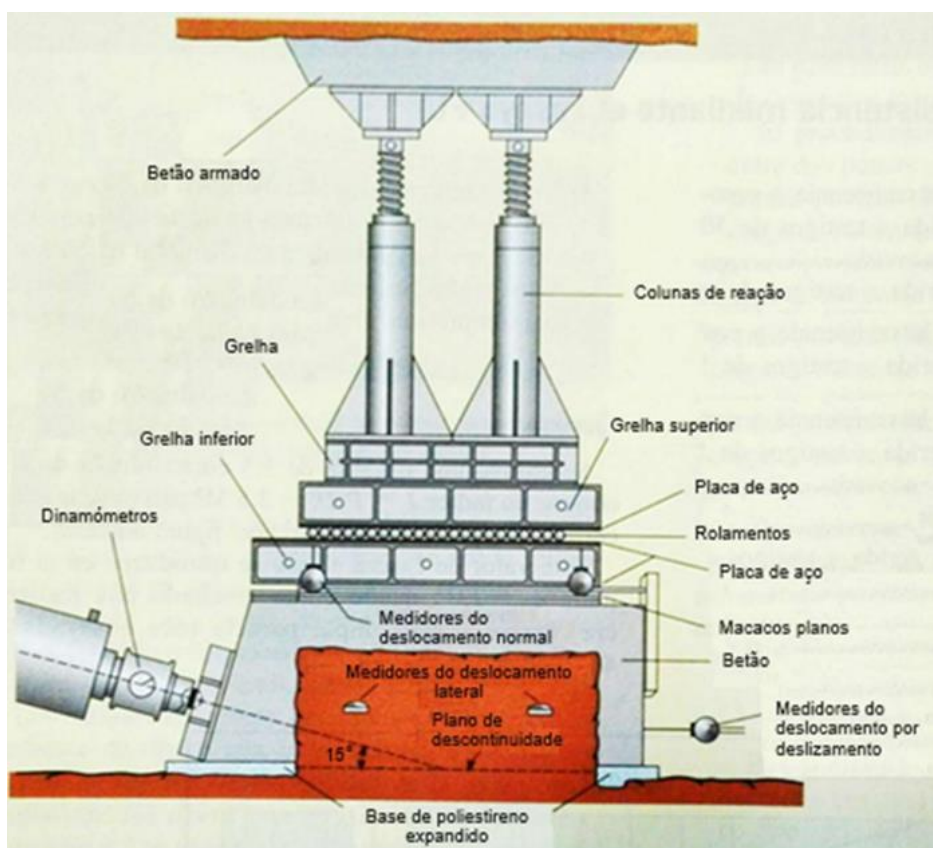


Fig. 17 - Esquema para o ensaio de resistência ao corte *in situ* (Adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Para cada amostra devem ser realizados três a quatro ensaios, aplicando em cada ensaio uma tensão normal diferente e uma tensão tangencial crescente. O resultado dos ensaios é representado através de um gráfico que relaciona a tensão normal com a tensão tangencial, sendo possível obter valores para os parâmetros de resistência de pico e residual para cada amostra. Através do gráfico formado é possível definir os parâmetros definidos por Mohr-Coulomb, a coesão e o ângulo de atrito da amostra (González de Vallejo et al., 2002).

3.3. ENSAIO DE INCLINAÇÃO PROGRESSIVA (ENSAIO DE *TILT*)

O ensaio de inclinação progressiva (*tilt*), permite estimar o valor para o ângulo de atrito residual de descontinuidades rugosas ou o ângulo de atrito básico de descontinuidades lisas (González de Vallejo et al., 2002). O equipamento a utilizar para este ensaio, representado na Fig. 18, consiste em um apoio de fixação para a metade inferior do provete, que vai ser inclinado até a ocorrência do deslizamento entre as metades. O resultado do ensaio é a inclinação em que se dá o deslizamento entre as duas metades do provete.

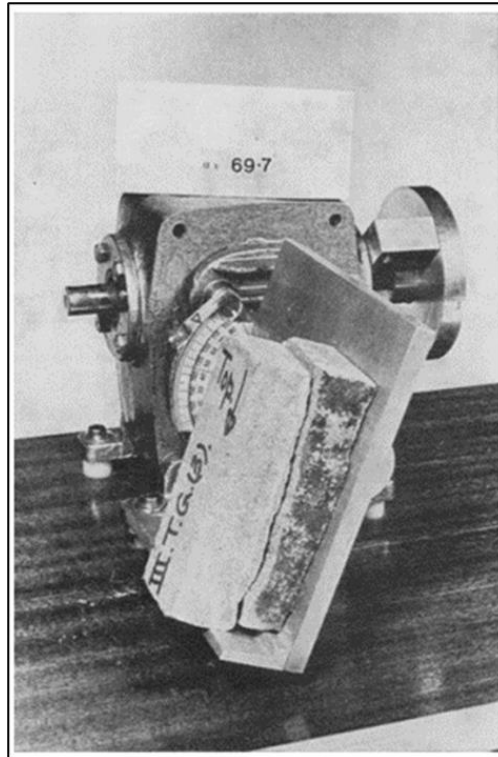


Fig. 18 - Equipamento para o ensaio de inclinação progressiva (Barton & Choubey, 1977).

Além desse método com um provete em bloco dividido ao meio, o ensaio pode ser realizado com três provetes cilíndricos (tarolos de sondagem) em que se segue o mesmo procedimento. Com o deslizamento do terceiro cilindro posicionado acima dos outros dois, o ângulo de deslizamento corresponde ao ângulo de atrito básico para descontinuidades planas e lisas sem alteração (Fig.19 à direita).

Este ensaio pode ser realizado tanto em laboratório, como *in situ*, como demonstra a Fig. 19 (à esquerda) (González de Vallejo et al., 2002).

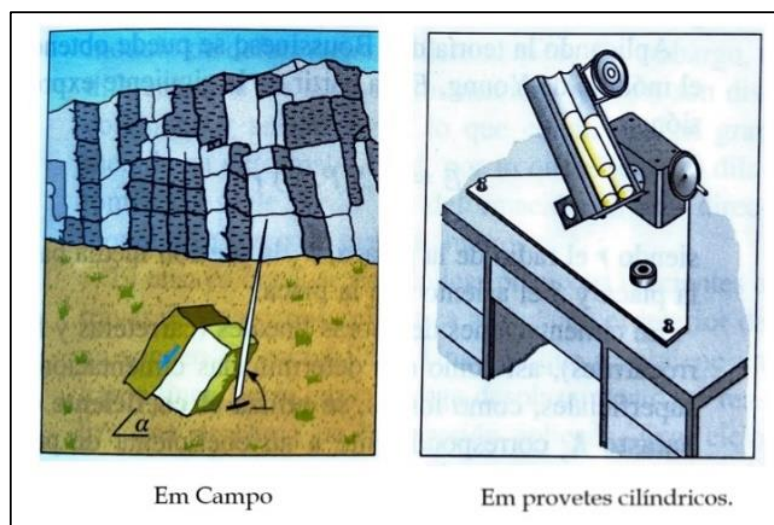


Fig. 19 - Ensaio de inclinação progressiva em campo à direita e ensaio de inclinação progressiva com cilindros em laboratório (Adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

3.4. ENSAIO DE *PULL*

As descontinuidades podem ser ensaiadas através do teste de *pull*. A amostra é colocada no plano horizontal e é puxada ou empurrada paralelamente ao plano da descontinuidade com a tensão normal sendo realizada pelo peso próprio da metade superior do provete, tendo uma distribuição uniforme ao longo da face da descontinuidade rochosa e a parte inferior estando completamente imobilizada (Barton & Choubey, 1977). Esse tipo de ensaio tem também como objetivo determinar o ângulo de atrito das descontinuidades para tensões normais muito baixas, tendo as vantagens de ser rápido e de fácil execução (Silva, 2015)

Os ensaios de *pull* e de *tilt*, por serem realizados sob tensões normais baixas, são utilizados para determinar os valores de JRC do critério de Barton, de acordo com o especificado em Barton & Choubey (1977). Para descontinuidades muito rugosas, com valores de JRC altos (superiores a 12), muitas vezes verifica-se nos ensaios de *tilt* que a descontinuidade não desliza mesmo para inclinações muito altas (superiores a 70°). Nesses casos, deve ser usado o ensaio de *pull*. A Fig. 20 apresenta os limites recomendados de utilização destes dois ensaios: a traço contínuo os ensaios de *tilt* e traço interrompido os ensaios de *pull* (Barton & Choubey, 1977).

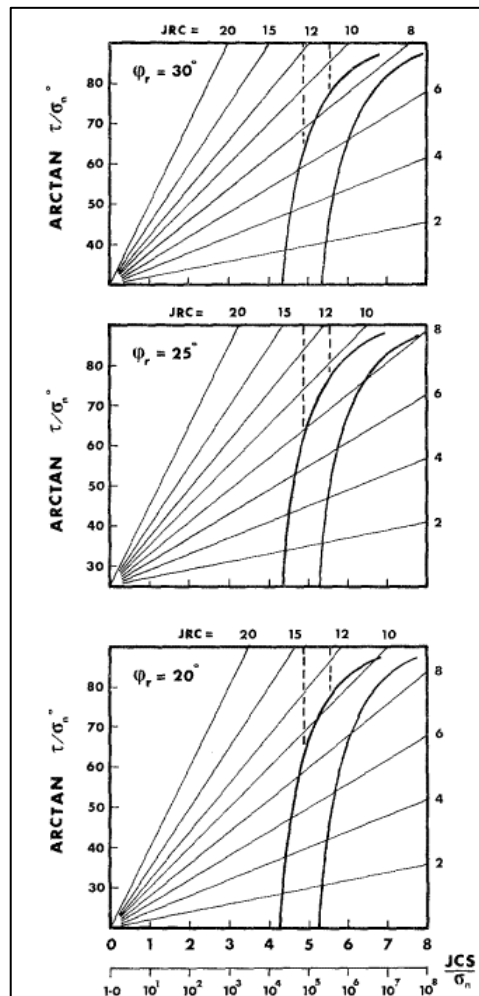


Fig. 20 - Intervalo de aplicação dos ensaios de tilt, push e pull para valores de JRC das descontinuidades (Adaptado de Barton & Choubey, 1977).

O ensaio de *pull* tem um procedimento simples de realização. Primeiro realiza-se a medição do peso da metade superior do provete, que posteriormente é colocado no equipamento, fixando a sua metade inferior, tendo a sua face totalmente limpa e em plano horizontal. Após esses passos, a parte superior é colocada de forma a descontinuidade ficar em sua posição natural. Com o aumento progressivo da carga horizontal, a metade superior é puxada ou empurrada até ocorrer um deslizamento repentino. Para finalizar, registra-se a força aplicada para a ocorrência do deslizamento, que com o peso da metade superior permite determinar o ângulo de atrito.

O equipamento do ensaio, apresentado na Fig. 21, é constituído por uma chapa metálica com parafusos para nivelar o provete, uma peça de plástico rígido com intenção de imobilizar a parte inferior do provete e outra peça de plástico rígido com roletes em sua base para transmissão uniforme da força horizontal a ser aplicada ao provete por uma cinta metálica que envolve as peças de plástico e está ligada a um recipiente que produz a força horizontal através da aplicação de pesos (Silva, 2015).

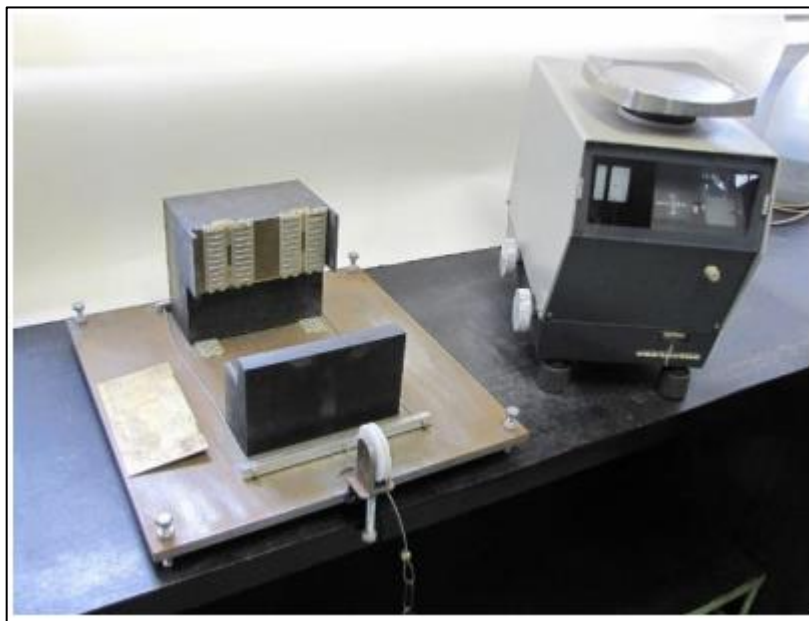


Fig. 21 - Equipamento do ensaio de *pull* (Silva, 2015)

3.5. ESCLERÔMETRO (MARTELO DE SCHMIDT)

Este teste pode ser aplicado tanto na matriz rochosa quanto nas descontinuidades, e permite estimar a resistência à compressão simples da rocha ou das paredes das diaclases. Esse ensaio é bastante utilizado por ser rápido e fácil de realizar *in situ*.

O equipamento, apresentado na Fig. 7, é um aparelho cilíndrico metálico composto por uma mola no interior e uma ponta retrátil. Quando aplicado à superfície do maciço rochoso, que deve estar limpa e sem fissuras, a mola interior provoca o impacto da ponteira na superfície e é medido o seu ressalto, que será tanto maior quanto mais resistente for a superfície. Este teste deve ser executado dez vezes, e devem ser eliminados os cinco valores mais baixos (Barton & Choubey, 1977). Com isso, registra-se o valor médio das restantes medições para se obter um resultado que tem correlação com a resistência da superfície (González de Vallejo et al., 2002).

3.6. RESULTADOS DOS DESLIZAMENTOS

Para este estudo foram utilizados resultados de ensaios de deslizamento em laboratório de descontinuidades, realizados anteriormente no LNEC, com o equipamento representado na Fig. 15, com o objetivo de caracterizar o comportamento mecânico das mesmas. Estes ensaios seguiram os procedimentos padronizados pelo LNEC, procedimento LMR 04 (LNEC, 2017), baseado no método sugerido pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas e na norma ASTM D5607-08.

Os dados dos ensaios foram divididos em 13 grupos, de acordo com os locais e obras nos quais foram retiradas as amostras para o estudo, e além disso foram subdivididos pelo tipo de rocha ou pelo elemento da obra onde foram retiradas as amostras. Em geral, os ensaios foram realizados em locais diferentes de Portugal, mais especificamente da região norte do país. Somente um grupo, Cahora Bassa, foi executado de Moçambique A quantidade dos conjuntos observados foi de 18, de acordo com o apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Designação e quantidades dos ensaios.

Grupos	Local	Conjuntos	Sub-divisões	Quantidade de ensaios por grupo
1	Alto Tâmega	A		26
2	Alvito	B1; B2; C	Xisto Grauvaque Circuito Hidráulico	53
3	Cahora Bassa	D		20
4	Daivões	E		18
5	Foz Tua	F1; F2	Granito Metagrauvaques	28
6	Fridão	G; H	Jusante Montante	26
7	Gouvães	I; J	Barragem Circuito Hidráulico	38
8	Paradela	L	Granito	26
9	Baixo Sabor	M	Granito	31
10	Bemposta	N	Micaxisto	18
11	Feiticeiro	O	Xisto	17
12	Picote	P	Granito	17
13	Salamonde	Q	Granito	14
Total:				332

Os ensaios de deslizamento foram executados seguindo o procedimento referido LMR 04 (LNEC, 2017). Sobre cada provete de diaclase foram realizados quatro deslizamentos que começaram a partir de uma posição com as faces da diaclase ajustadas em sua posição natural, limpas e sem qualquer tipo de sedimentação ou detritos que possam ter resultado de deslizamentos anteriores. As forças normais e tangenciais foram aplicadas na metade superior do provete, mantendo-se a metade inferior fixa na caixa

de corte do equipamento. Em primeiro lugar era aplicada a força normal, que era depois mantida constante durante todo o ensaio por meio de uma bomba hidráulica servo controlada. Em seguida era aplicada a tensão tangencial até se atingir um valor a partir do qual o deslocamento tangencial tinha lugar sem necessidade de aumentar a tensão tangencial (entre 3 e 5 mm).

Os resultados diretos dos ensaios podem ser apresentados por meio dos gráficos que relacionam a tensão tangencial com o deslocamento tangencial, e o deslocamento normal com o deslocamento tangencial. Na Fig. 22 e 23 exemplifica-se estes gráficos com base nos resultados obtidos no ensaio 115 do grupo de Foz Tua.

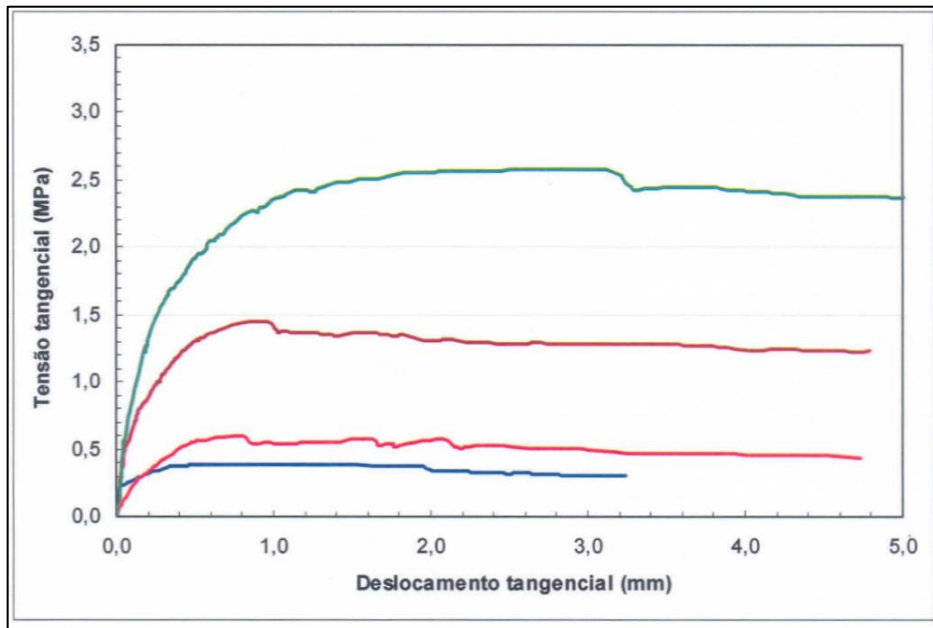


Fig. 22 - Relação entre a tensão tangencial e o deslocamento tangencial

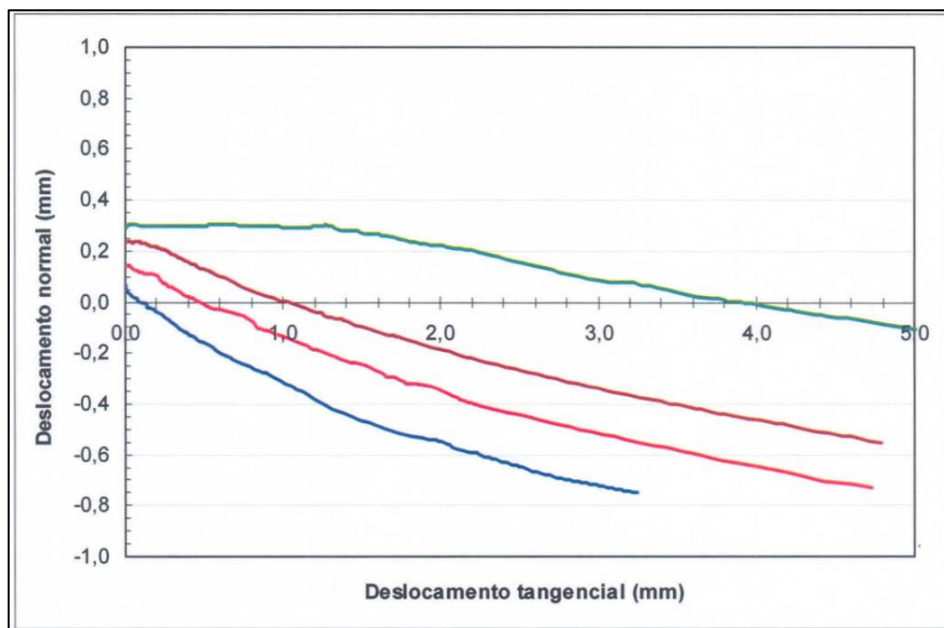


Fig. 23 - Relação entre o deslocamento normal e o deslocamento tangencial.

A partir do gráfico $\tau - \delta_t$, Fig. 22, são calculados os valores da resistência tangencial de cada um dos quatro deslizamentos a partir do momento em que a tensão se torna aproximadamente constante, ou seja, a partir do momento em que o deslocamento tangencial ocorre sem variação da tensão tangencial. Com estes quatro pares de valores (τ , σ_n) calculam-se os parâmetros de resistência de acordo com o critério de Coulomb: coesão aparente, c , e ângulo de atrito, ϕ , (Fig. 24).

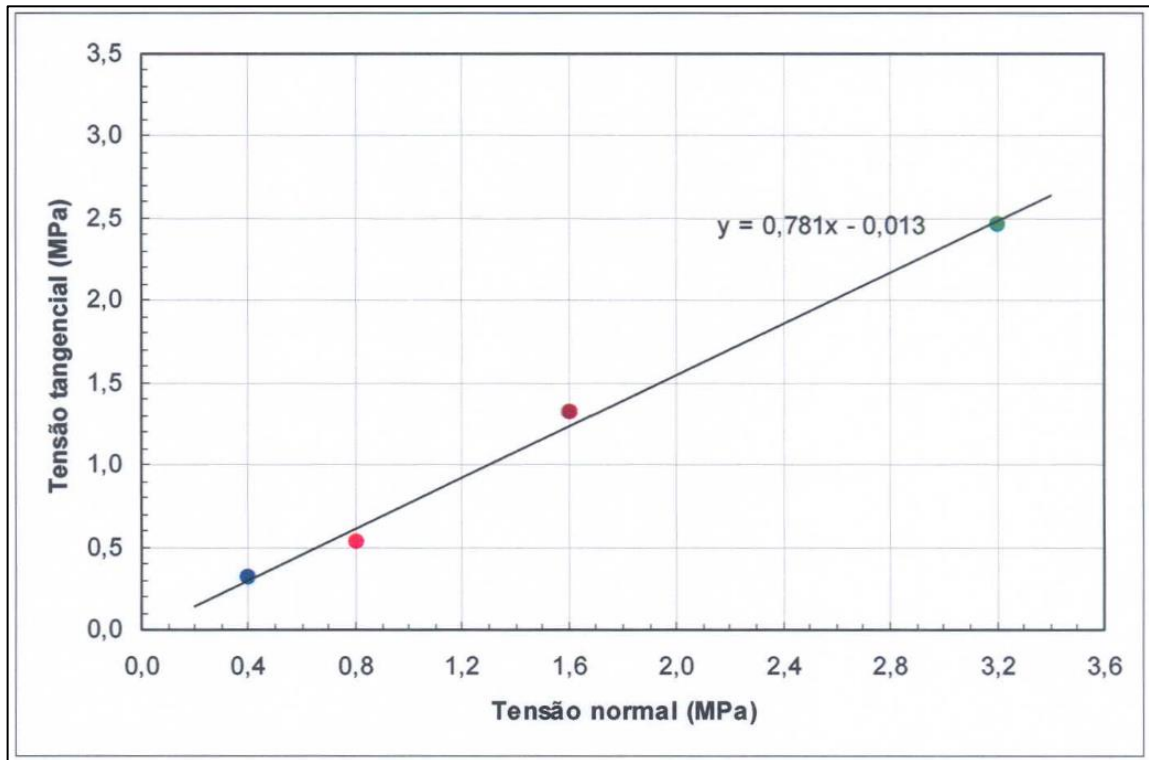


Fig. 24 - Relação entre a tensão tangencial e a tensão normal.

A partir dos gráficos $\delta_n - \delta_t$, Fig. 23, podem ser calculados os parâmetros de dilatância, em que $\tan i$ é a dilatância e i o ângulo de dilatância, pela equação 7:

$$\tan i = -\frac{\delta_n}{\delta_t} \quad (7)$$

Como referido, os ensaios foram realizados com quatro valores de tensão diferentes sobre a mesma diaclase, sempre tendo uma progressão geométrica de razão 2. Em geral, a gama de tensões constantes de referência usada, foi de 0,4, 0,8, 1,6 e 3,2 MPa. Somente dois conjuntos obedeceram a uma gama diferente de valores de tensão normal, sendo eles Picote com valores de 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0 MPa e Feiticeiro com valores de 0,25, 0,5, 1,0 e 2,0 MPa. Estes valores de tensão foram escolhidos por serem representativos dos que ocorrem em maciços rochosos, nas zonas de fundação de obras de engenharia. Na Tabela 8 encontram-se referidos os conjuntos, as respectivas litologias e as gamas de valores da tensão utilizados nos quatro deslizamentos de cada ensaio.

Tabela 8 - Quantidades de ensaios e gamas de tensões dos ensaios.

Conjuntos	Litologia	Número de provetes	Gama de tensões normal (σ_n)
A	Quartzo filito e micaxisto	26	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
B1	Xisto e xisto listrado	17	
B2	Grauvaque	14	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
C	Metagrauvaque	22	
D	Granito	20	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
E	Granito	18	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
F1	Granito	25	
F2	Metagrauvaque	3	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
G	Granito	11	
H	Granito	15	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
I	Granito	18	
J	Micaxisto	20	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
L	Granito	26	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
M	Granito	31	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
N	Granito	18	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
O	Granito	17	0,25 ;0,5 ;1 ;2
P	Granito	17	0,5; 1; 2; 4
Q	Granito	14	0,4; 0,8; 1,6; 3,2
Total:		332	

Os valores das tensões tangenciais, da coesão e ângulo de atrito e da dilatância e ângulo de dilatância de todos os ensaios encontram-se nas tabelas do grupo 1 do Anexo A.

4

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

4.1. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DE BARTON

Segundo Barton & Choubey (1977), “uma lei empírica de atrito para descontinuidades de rochas pode ser usada para extrapolar ou prever dados de resistência ao corte”. A equação (5), que descreve esta lei, é estruturada através de três parâmetros: *JCS* (Joint Wall Compressive Strength, coeficiente de resistência das paredes das descontinuidades), *JRC* (Joint Roughness Coefficient, coeficiente de rugosidade) e o ângulo de atrito residual (ϕ_r). Estes podem ser medidos em laboratório ou no campo, e Barton demonstrou nos seus estudos que esses parâmetros podem ser previstos com bastante rigor, tendo uma variação de 1° para o ângulo de atrito residual e de 1 a 2° para o ângulo de pico da resistência ao corte.

No caso dos valores dos parâmetros *JCS* e *JRC*, que têm uma fundamental relevância no controle das propriedades de resistência e deformação das rochas, Barton & Choubey (1977) indicaram os procedimentos como eles podem ser estimados através da realização de ensaios de *tilt* (inclinação progressiva) e de ensaios com martelo de Schmidt.

O parâmetro de *JRC*, calculado através do ensaio de *tilt* com tensões normais muito baixas, da ordem de alguns kPa, tem influência da dilatação máxima (d_0). Neste ensaio, no qual ocorre o deslizamento da parte superior do provete em relação a parte inferior que está imobilizada para uma inclinação α , a dilatação máxima segue a simples relação:

$$d_0 = \alpha - \phi_r \quad (8)$$

O ângulo de deslizamento do ensaio de *tilt* é o resultado do deslizamento do provete em função somente do seu peso próprio. Dessa forma, o valor do ângulo é função do rácio entre a tensão tangencial e a tensão normal muito baixas (τ_0 e σ_{n0}), sendo representada pela equação (9) (Barton & Choubey, 1977).

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\tau_0}{\sigma_{n0}}\right) \quad (9)$$

Dessa forma, pode ser estipulado o valor do *JRC*, através dos valores do ângulo de deslizamento e da tensão normal utilizada, retirados do ensaio de *tilt*, através da equação (Barton & Choubey, 1977):

$$JRC = \frac{\alpha - \phi_r}{\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_{n0}}\right)} \quad (10)$$

Por outro lado, para além da equação, o valor de JRC pode ser estimado através da comparação visual com os perfis de rugosidade típicos tabelados por Barton a partir das descontinuidades utilizadas nos ensaios e representado na Fig. 5 (Barton & Choubey, 1977).

O valor de JCS é estimado através do resultado do ensaio do martelo de Schmidt. O ensaio verifica a resistência da parede da descontinuidade e determina um valor de ressalto (r) que é utilizado para a determinação do JCS , pela equação (Barton & Choubey, 1977):

$$\log_{10} JCS = 0,00088 \gamma_{\text{rocha}} r + 1,01 \quad (11)$$

4.2. ESTIMATIVA DO ÂNGULO DE ATRITO RESIDUAL

Barton (1971), através dos seus estudos, referiu que existem três critérios para a determinação da resistência ao corte das descontinuidades e identificar a existência das componentes angulares que são incluídas nesse processo. Dessa forma, Barton percebeu que era necessário para o estudo da resistência ao corte de descontinuidades incluir, em primeiro lugar, o critério de Mohr-Coulomb, para estudar o ângulo de atrito (ϕ_r), em seguida, o critério de Patton, para perceber os efeitos da dilatância (i_0), e por último, o critério de Barton, para perceber a influência da rugosidade. Esses três critérios estão representados na Fig. 25.

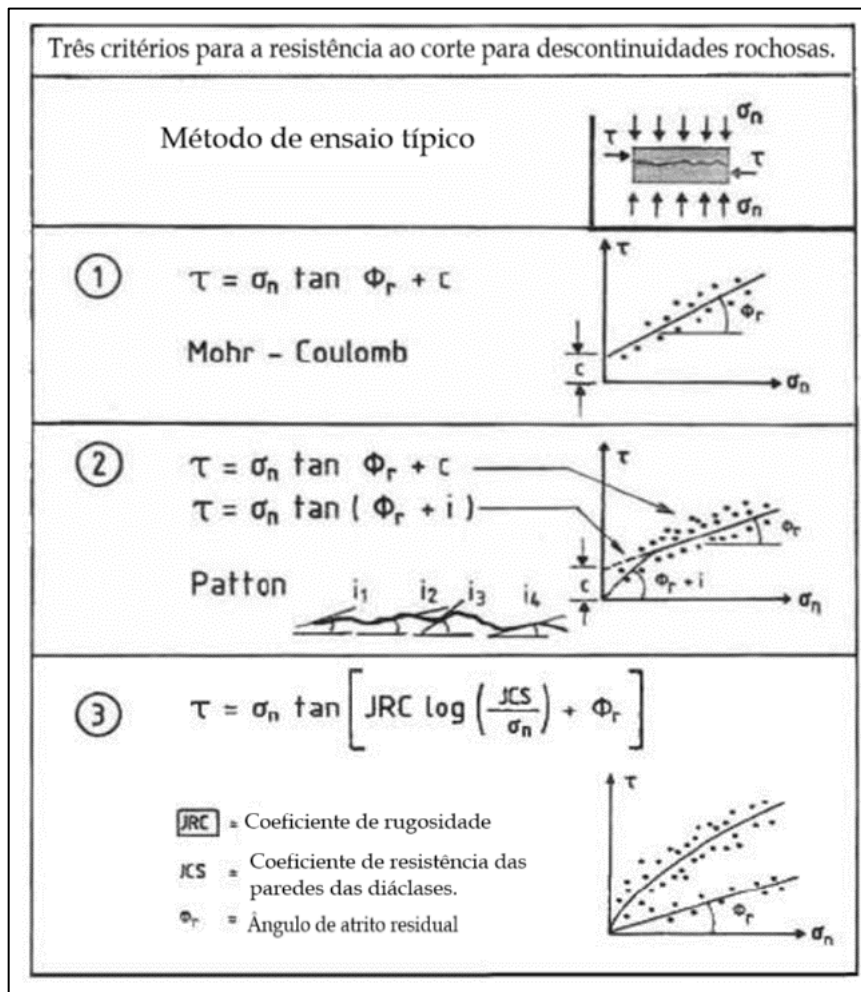


Fig. 25 - Critérios para análise de Barton (Adaptado de Barton, 1971)

Segundo Barton (1971), as componentes angulares da resistência ao corte de pico são: o ângulo de atrito residual (ϕ_r); o ângulo de dilatação de pico (d_0); e a componente relativa à resistência ao corte da aspereza (S_a), que está relacionada com a rugosidade a nível dos grãos da rocha. Estas componentes são ilustradas na Fig. 26.

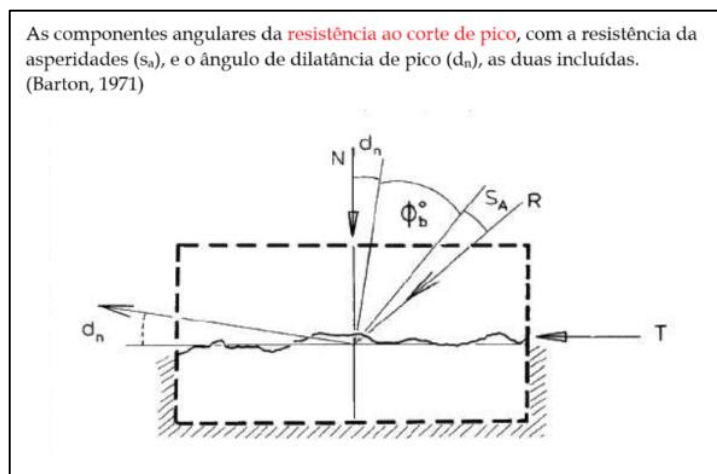


Fig. 26 - Componentes angulares indicadas por Barton (Adaptado de Barton, 1971)

Como primeira estimativa para o ângulo de atrito residual do critério de Barton consideraram-se os valores do ângulo de atrito do critério de Mohr-Coulomb, calculados para todos os ensaios de deslizamento, que se encontram nas tabelas do Anexo A. Para diferenciar, estes valores serão referidos como ϕ_{MC} , como se indica na Fig. 28. Salienta-se que estes valores do ângulo de atrito do critério de Mohr-Coulomb derivam das relações quase lineares entre a tensão de corte e a tensão normal, que foram encontradas nos ensaios. Como exemplo, estas relações podem ser observadas na Fig. 27, que corresponde ao grupo de Paradela.

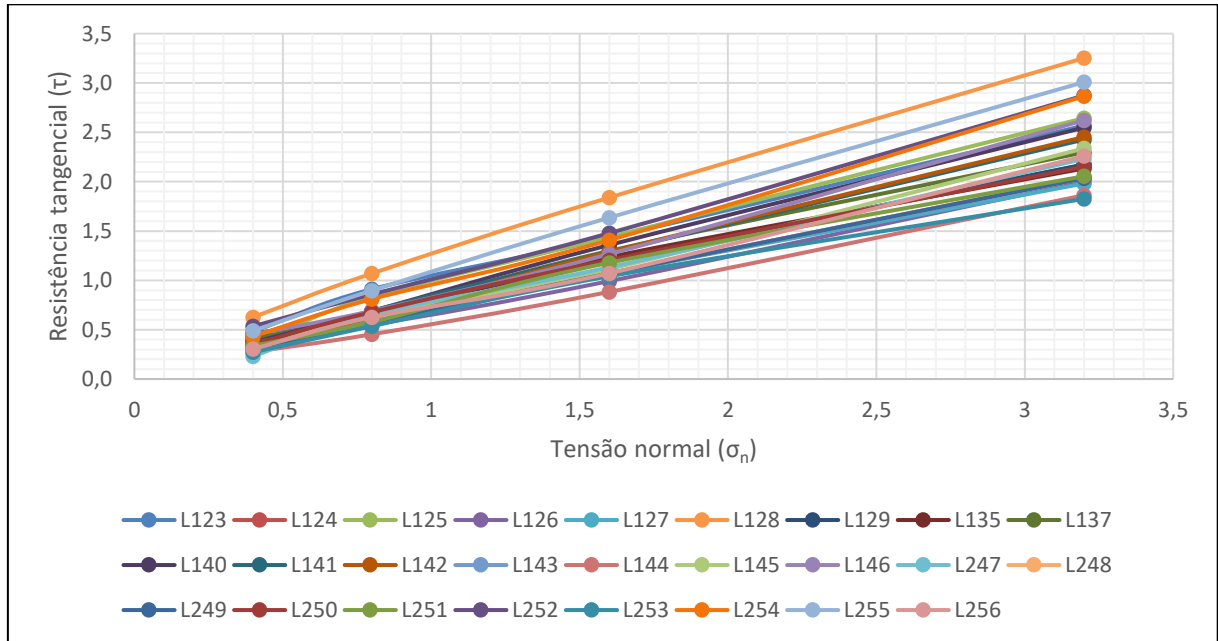


Fig. 27 - Relação entre a de resistência tangencial e a tensão normal.

Foi ainda considerada uma segunda hipótese para o cálculo do ângulo de atrito residual do critério de Barton (ϕ_r), que considera como independentes os ângulos de atrito de cada deslizamento (ϕ_i) em que i varia de 1 a 4. Esses valores, que estão representados em esquema na Fig. 28, são calculados a partir da equação (12), para calcular o coeficiente de atrito e posteriormente o ângulo de atrito para cada tensão normal.

$$\tan(\phi_i) = \frac{\tau_i}{\sigma_{n,i}} \quad (12)$$

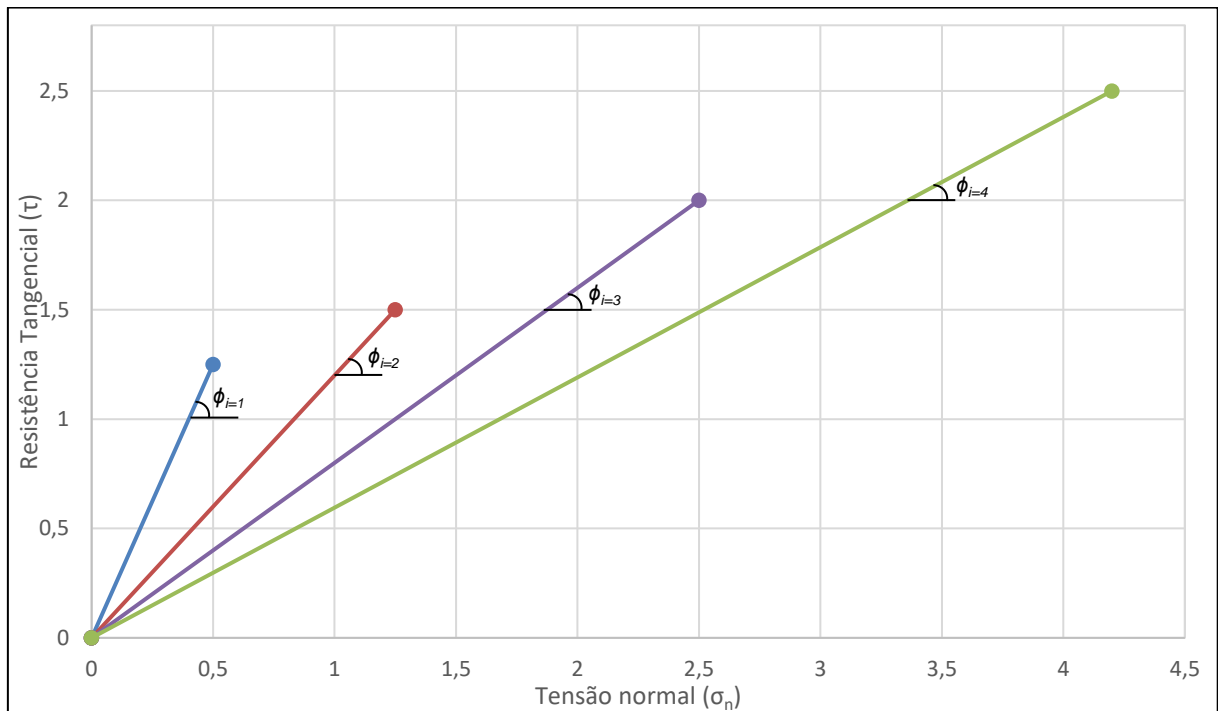


Fig. 28 - Gráfico referente ao ângulo de atrito para cada tensão normal i .

Esta hipótese leva em conta a possibilidade de haver uma diminuição da resistência ao corte devida ao desgaste da superfície depois de executados os deslizamentos anteriores a tensões normais mais baixas (Fernandes, 2019).

A Fig. 29 representa a variação dos valores do ângulo de atrito de cada deslizamento com a tensão normal. Como seria de esperar, os ângulos de atrito ϕ_i diminuem com o incremento da tensão normal de uma forma não-linear, parecendo tender para uma assíntota horizontal.

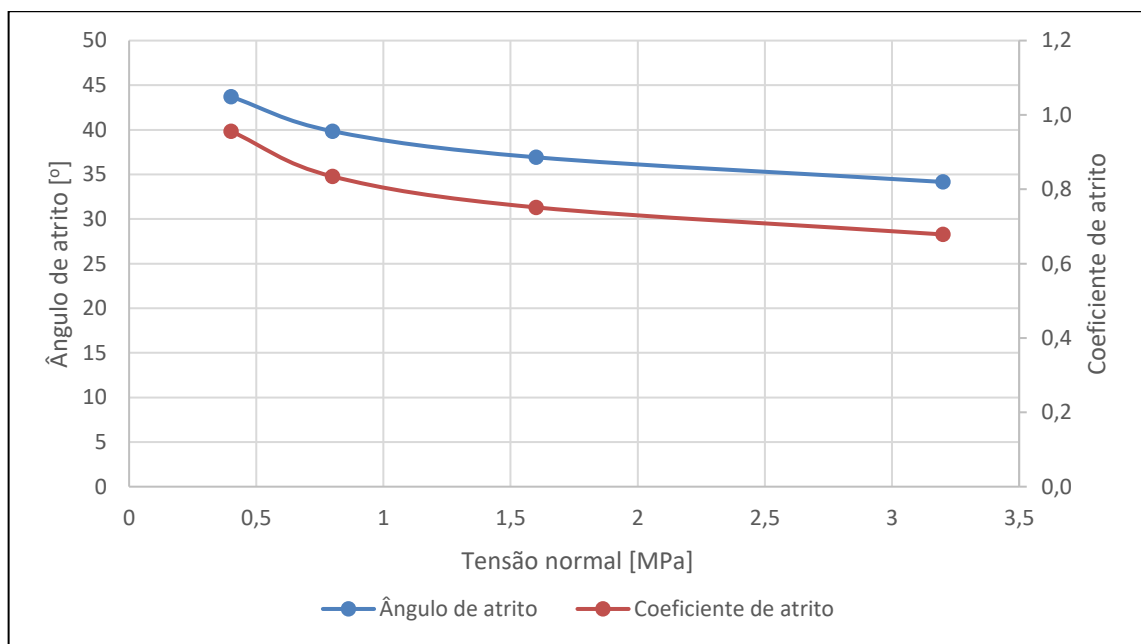


Fig. 29 - Relação entre o ângulo de atrito e a tensão normal.

Para modelar esta relação usou-se uma equação exponencial, que se encontra na equação (13). Com ela foi possível identificar o que seria o ângulo de atrito referente a tensão normal nula e o valor mínimo do ângulo de atrito que representaria o ângulo de atrito do ensaio relativo a tensões normais muito elevadas. Este valor, que vai ser referido como ϕ_{reg} , seria então a segunda estimativa para o ângulo de atrito residual do critério de Barton.

A acrescentar aos parâmetros a e b da equação, o ângulo de atrito referente a tensão nula foi indicado como sendo o parâmetro y_0 e o que representaria a assíntota horizontal como y_{inf} .

$$y = y_{inf} + ae^{b\sigma_n} \quad (13)$$

O cálculo destes parâmetros foi realizado através de iterações em que se ajustava, através do método dos mínimos quadrados, o posicionamento da curva da equação (13) com os valores do ensaio realizado. Esta aproximação foi realizada numa rotina em Excel em que os valores para os parâmetros de y_{inf} , a e b de: 30, 30, -1 para o ângulo de atrito e 1, 1 e -1 para o coeficiente de atrito. Esta regressão é exemplificada, na Fig. 30.

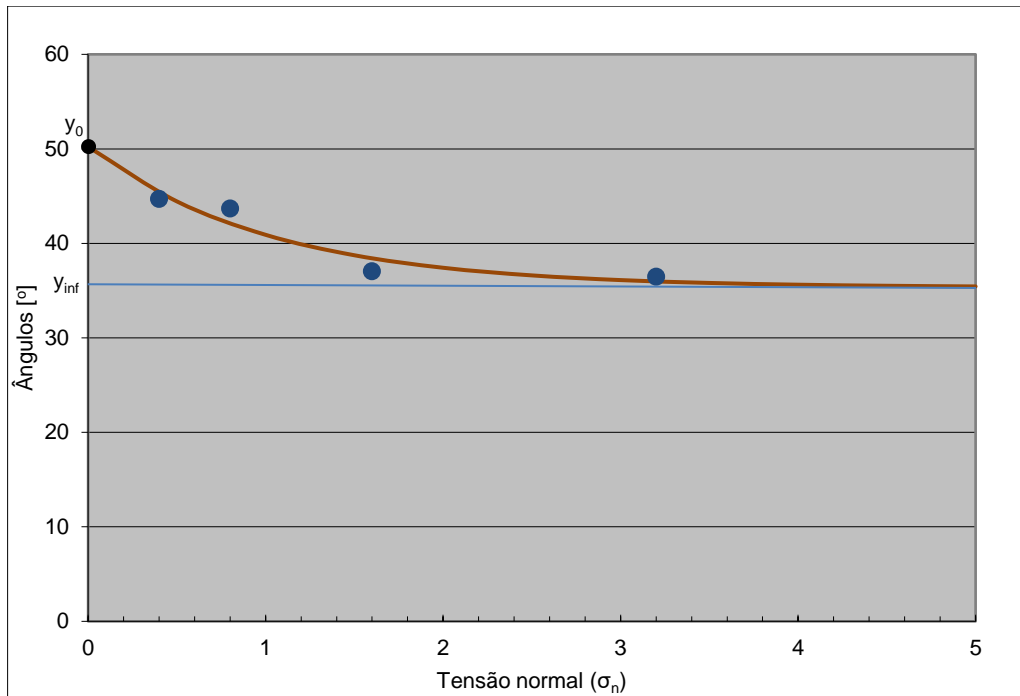


Fig. 30 - Regressão exponencial do ensaio H65 do grupo Fridão (Montante).

Os resultados destes cálculos, os parâmetros da equação (13), y_{inf} , a e b , bem como o valor de y_0 , são apresentadas nas tabelas do Anexo A. Nessas tabelas não se encontram os valores dos parâmetros das regressões em que a equação não permitiu um ajuste aos valores experimentais, o que aconteceu para cerca de 1/3 dos ensaios (32,2%). Foi realizada uma análise dos ensaios em que esta situação acontecia e concluiu-se que a maioria destes casos se verificava quando o valor da coesão do critério de Mohr-Coulomb era próximo de 0, o que implicava os valores de ϕ_i serem muito semelhantes e a equação (13) não se adaptar adequadamente.

Como reconhecido, a resistência ao corte das descontinuidades inclui uma parcela relacionada com o atrito que é função da tensão normal. No caso do critério de Coulomb é uma relação linear definida pelo

coeficiente de atrito entre as superfícies. Assim, quando se realizam cálculos relacionados com a resistência ao corte não devem ser usados os ângulos de atrito, mas sim os coeficientes. Neste sentido foram também realizadas as regressões dos valores dos coeficientes de atrito de cada deslizamento $\tan \phi_i$ em função da tensão normal seguindo uma função do tipo da equação ((13)).

Os resultados são também apresentados no Anexo A e verifica-se que neste caso a percentagem de ensaios em que a equação (13) não permite uma aproximação aos valores dos ensaios (56,0%) é ainda maior que no caso dos ângulos de atrito. Apesar destes resultados não terem sido utilizados em seguida, encontra-se representada na Fig. 31 a relação entre os valores de y_{inf} calculados com os valores de ϕ_i e de $\tan \phi_i$ dos ensaios em que foi possível calcular os valores dos parâmetros de ambas as regressões.

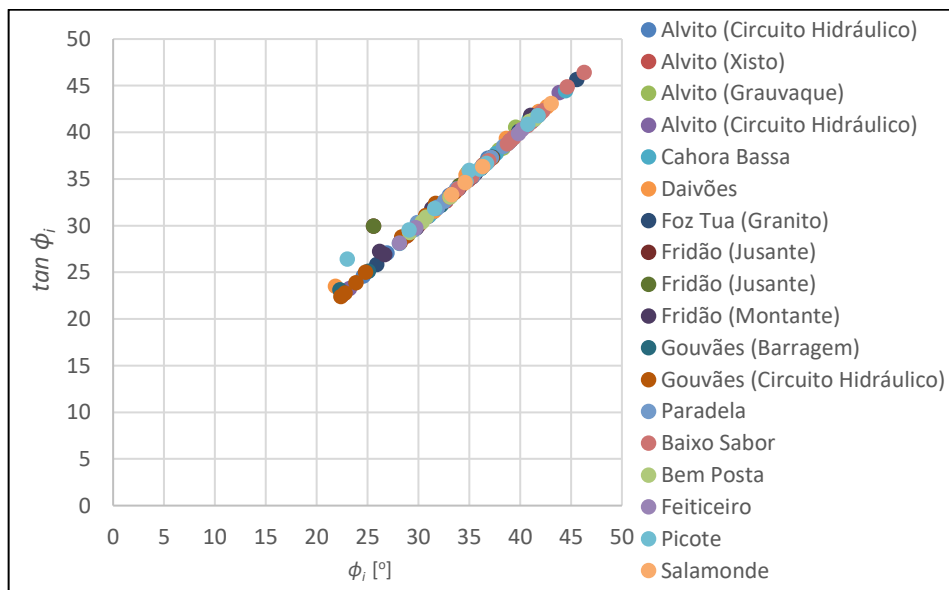


Fig. 31 - Relação entre os ϕ_{reg} e os coeficientes de atrito da regressão em graus.

Este gráfico (Fig. 31) permite concluir que a utilização para os cálculos dos valores dos ângulos de atrito em graus ou dos respetivos coeficientes ($\tan \phi$) levam a resultados bastante aproximados. Os desvios são, no geral, inferiores a 1°. Assim, mesmo sendo matematicamente mais correto a utilização dos coeficientes para os cálculos, fica justificada a utilização dos ângulos que vai ser seguida neste trabalho. Acresce que no critério de Barton e nas análises desse autor todos os cálculos são também executados com ângulos.

Finalmente, apresenta-se na Fig. 32 a comparação entre as duas estimativas consideradas para os valores dos ângulos de atrito residuais, o ângulo de atrito do critério de Mohr-Coulomb ϕ_{MC} e o ângulo de atrito da regressão dos valores dos ângulos de atrito dos quatro deslizamentos ϕ_{reg} .

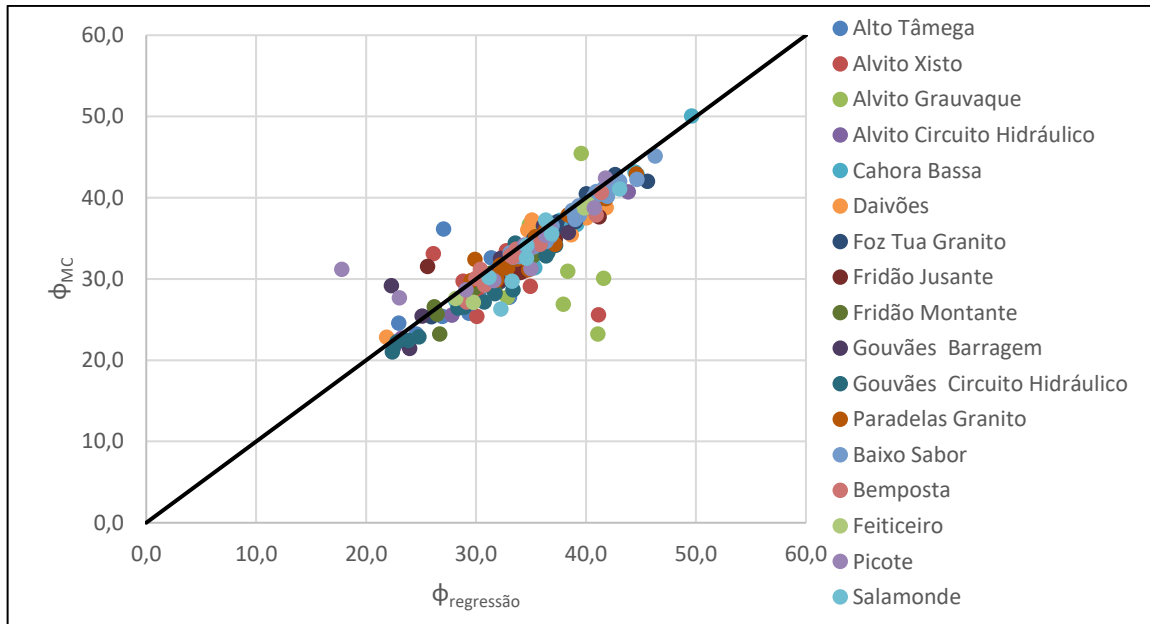


Fig. 32 - Comparação do ângulo de Mohr-Coulomb com o ângulo de atrito retirado da regressão.

4.3. ESTIMATIVA DO ÂNGULO DE DILATÂNCIA INICIAL (i_0)

Como Patton (1966) indica que por causa da existência da rugosidade das descontinuidades o ângulo de atrito que foi indicado por Mohr-Coulomb teria um acréscimo dessa inclinação que seria necessária para superar essa irregularidade apresentada nas paredes das diaclases, existiu a necessidade de identificar o que seria considerado como o ângulo de dilatância inicial (i_0). Este ângulo corresponde à inclinação do deslocamento normal do provete no caso de a tensão normal ser nula ou muito baixa

Além dos valores da tensão normal, da tensão de corte para cada deslizamento, e dos parâmetros do critério de Mohr-Coulomb, como são medidos os deslocamentos normais, outros parâmetros fornecidos pelos ensaios de deslizamento foram a dilatância e o seu respetivo ângulo de dilatância, para cada tensão normal do ensaio.

Ao comparar os resultados da dilatância e dos ângulos de dilatância em função da tensão normal, foi possível perceber que os dois apresentam o mesmo comportamento. Este comportamento é também semelhante ao apresentado para os valores do ângulo de atrito de cada deslizamento, como indica a Fig. 33. Dessa forma, tanto como no caso dos ângulos de atrito, a dilatância também apresenta uma diminuição não-linear com a tensão normal, tendo uma tendência para uma assíntota horizontal.

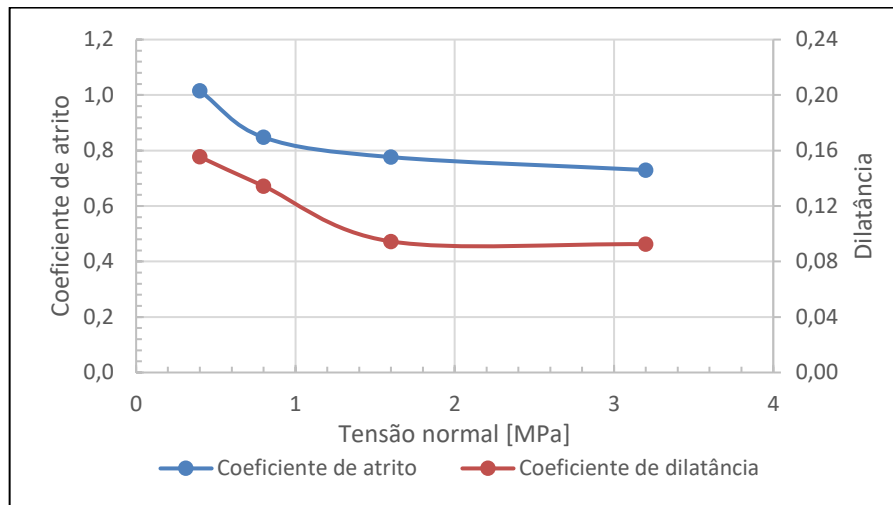


Fig. 33 - Gráfico comparativo entre os coeficientes de atrito e a dilatância.

Tal como realizado para os ângulos de atrito, foi possível utilizar a mesma regressão exponencial para analisar os valores da dilatância e do ângulo de dilatância (equação (13)), com valores iniciais para os parâmetros y_{inf} , a e b de: 10, 10, -1 para o ângulo de dilatância e 1, 1, -1 para a dilatância. Dessa forma, foi possível a determinação, através de cálculos semelhantes aos anteriores, dos valores para o parâmetro da dilatância inicial (i_0). Esse parâmetro, que representa o ângulo de dilatância quando existe uma tensão normal muito baixa (por exemplo, o peso da metade superior do provete), pode ser aproximado pelo valor da equação (13) quando a tensão normal é nula, como se representa na Fig. 34.

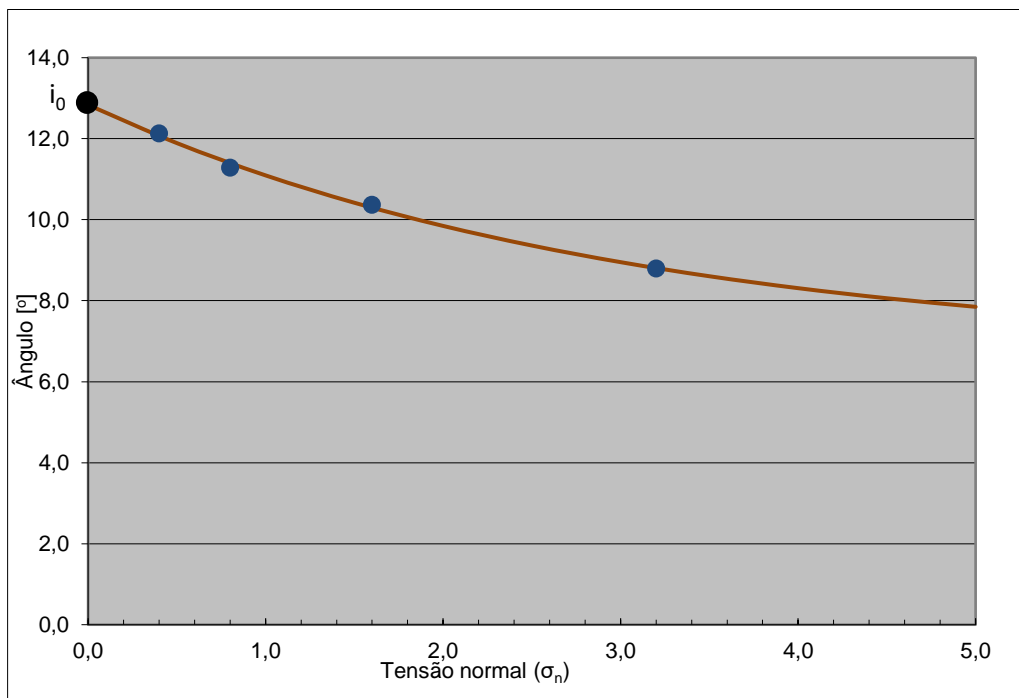


Fig. 34 - Regressão do ângulo de dilatância do ensaio F27 do grupo Foz Tua (Granito).

Nas Tabelas 67 a 99 do Anexo A encontram-se os valores dos parâmetros da regressão para a dilatância e para o ângulo de dilatância. Pode-se verificar que em mais de metade dos ensaios a equação (13) não permitiu obter resultados, pois nesses casos os resultados não se adequavam a equação (13), utilizada para a modelação.

4.4. ANÁLISE COMPARATIVA COM OS RESULTADOS DOS PRIMEIROS DESLIZAMENTOS

A partir da Fig. 26, no caso dos deslizamentos a tensões normais muito baixas (próximas de 0), pode considerar-se que a resistência ao corte resulta da componente do ângulo de atrito residual ϕ_r e do efeito da dilatância d_0 , sendo a componente relacionada com a rotura das asperezas (S_A) aproximadamente nula. Usando as duas estimativas consideradas anteriormente (ϕ_{MC} e ϕ_{reg}) para o ângulo de atrito residual ϕ_r de cada ensaio e tendo em conta que i_0 representa a soma das componentes d_0 e S_A , foram calculadas estimativas do ângulo de atrito dos primeiros deslizamentos de cada ensaio, $\phi_{i=1}$.

Na Fig. 35 encontram-se representados para os ensaios do grupo de Paradela a soma dos valores de ϕ_{MC} , a laranja, e i_0 , a cinzento. Na mesma figura encontram-se os valores do ângulo de atrito para o primeiro ensaio de deslizamento dos mesmos ensaios.

Não foi feita a comparação com os valores de ângulo de atrito dos restantes três deslizamentos porque após o primeiro deslizamento é natural que a rugosidade das descontinuidades tenha sofrido algum desgaste e não se apresente nas mesmas condições.

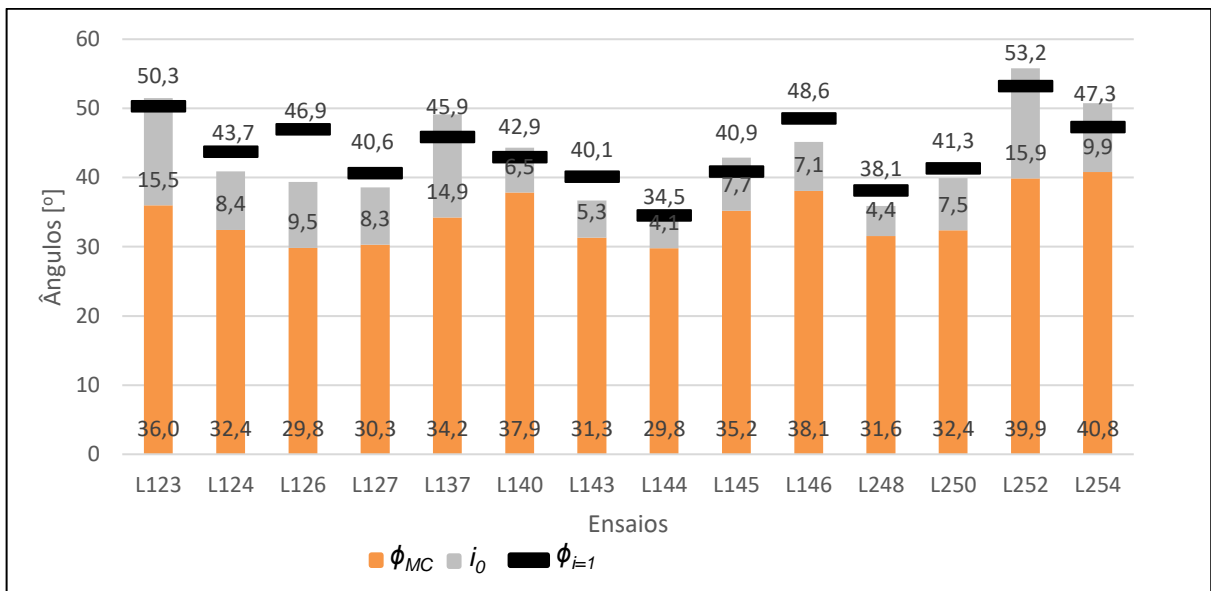


Fig. 35 - Gráfico comparativo entre o ϕ_{MC} combinado com o i_0 e o ϕ_r do ensaio com tensão normal igual a 0,4 MPa do grupo de Paradela.

Os gráficos comparativos relativos aos demais grupos estão incluídos no anexo B, nas Figs. 1 a 17. Na Fig. 36 está a comparação de todos os valores calculados a partir de $\phi_{MC} + i_0$ com os resultados experimentais referentes aos primeiros deslizamentos $\phi_{i=1}$.

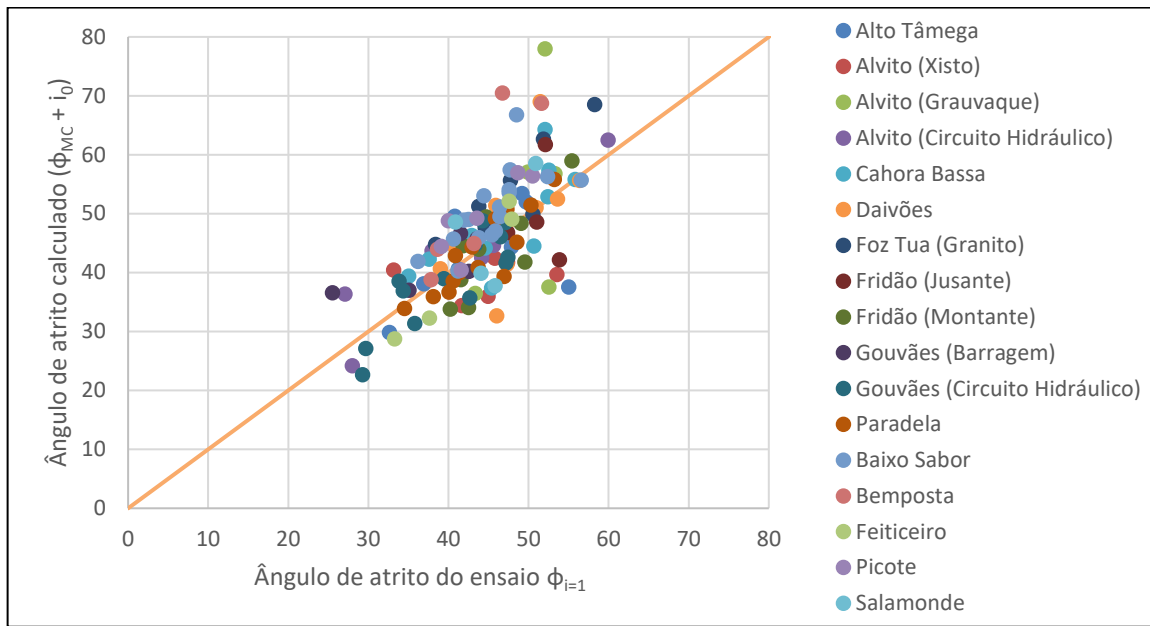


Fig. 36 - Gráfico comparativo do ângulo de atrito residual calculado ($\phi_{MC} + i_0$) e o ângulo de atrito do ensaio $\phi_{i=1}$.

Foi feita uma análise semelhante usando agora os valores das regressões dos ângulos de atrito como estimativa dos ângulos de atrito residuais ($\phi_{reg} + i_0$) e comparando com os resultados experimentais referentes aos primeiros deslizamentos $\phi_{i=1}$. Na Fig. 37 encontram-se representados para os ensaios do grupo de Paradela a soma dos valores de ϕ_{reg} , a azul, e i_0 , a amarelo.

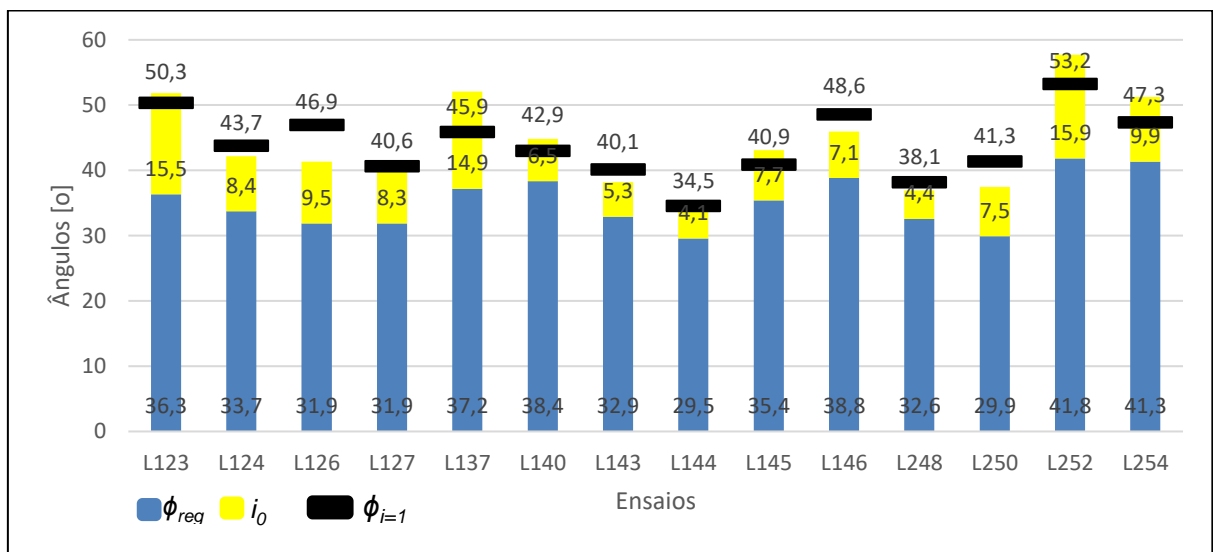


Fig. 37 - Gráfico comparativo entre o $\phi_{regressão}$ combinado com o i_0 e o ϕ_r do ensaio com tensão normal igual a 0,4 MPa, do grupo de Paradela.

Os gráficos comparativos relativos aos demais grupos estão incluídos no anexo B, nas Figuras 18 a 34. Na Fig. 38 está a comparação de todos os valores calculados a partir de $\phi_{reg} + i_0$ com os resultados experimentais referentes aos primeiros deslizamentos $\phi_{i=1}$.

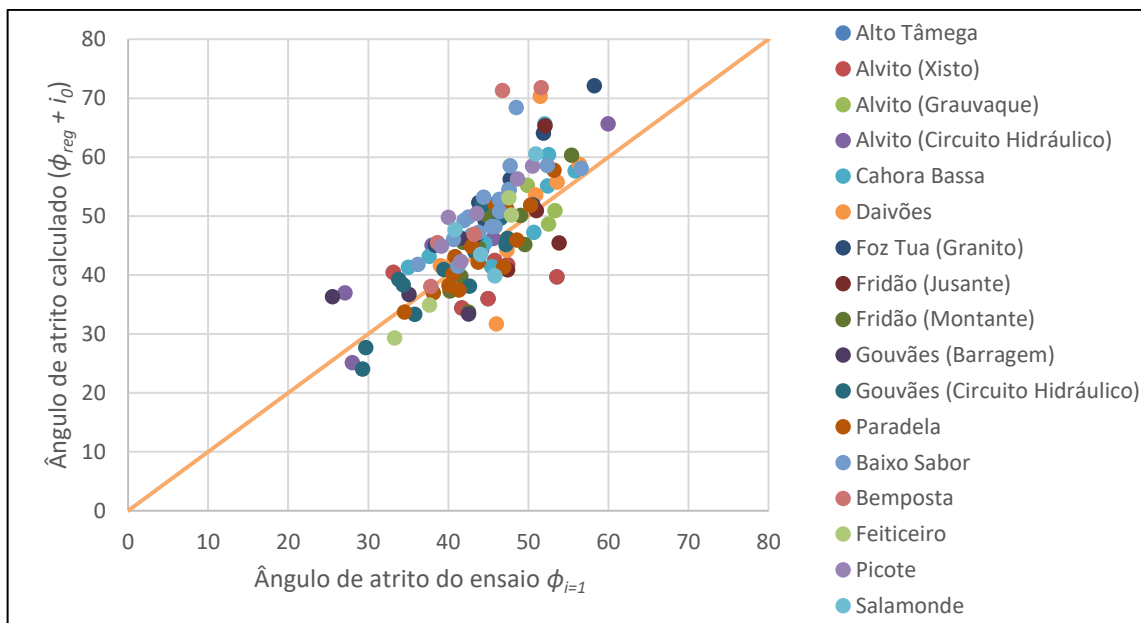


Fig. 38 - Gráfico comparativo do ângulo de atrito residual calculado ($\phi_{regressão} + i_0$) e o ângulo de atrito do ensaio $\phi_{i=1}$.

A Fig. 36 e 38 são muito semelhantes. Somente se nota uma tendência para os desvios serem, neste caso, um pouco superiores aos anteriores no sentido positivo.

Na Tabela 9, para os desvios entre valores calculados e valores dos ensaios utilizando ϕ_{MC} e ϕ_{reg} para estimativas do ângulo de atrito residual, apresentam-se as suas médias aritméticas e desvios padrão. Sendo assim, foi possível verificar se os valores calculados estavam aproximados dos valores ensaiados.

Tabela 9 - Erros dos ensaios.

Local	Sub-divisão	Número de ensaios	Média aritmética		Desvio Padrão	
			ϕ_{MC}	ϕ_{reg}	ϕ_{MC}	ϕ_{reg}
Alto Tâmega	Granito	11	0,252	-1,777	6,962	5,924
Alvito	Xisto	6	5,318	0,680	8,028	6,076
Alvito	Grauvaque	5	-2,943	-7,403	14,196	17,064
Alvito	Circuito Hidráulico	6	-1,850	27,412	4,889	31,112
Cahora Bassa	Granito	11	-1,066	-3,006	5,573	5,819
Daivões	Granito	10	-0,883	-2,046	7,569	7,910
Foz Tua	Granito	8	-7,701	-8,943	9,087	10,044
Fridão	Jusante	4	1,277	0,475	7,686	8,497
Fridão	Montante	9	1,653	0,215	4,984	4,456
Gouvães	Barragem	5	-3,589	41,249	5,695	41,468
Gouvães	Circuito Hidráulico	13	1,335	-0,702	4,178	3,935
Paradela	Granito	14	0,686	-0,164	3,128	3,241
Baixo Sabor	Granito	19	-6,530	-7,595	9,669	10,380
Bemposta	Granito	5	-9,776	-11,078	13,329	14,610
Feiticeiro	Granito	4	1,046	-0,265	4,225	3,851
Picote	Granito	6	-5,477	-6,451	6,366	7,052
Salamonde	Granito	4	-0,777	-2,448	7,052	6,610

A análise destes resultados não é fácil, pois a maioria dos conjuntos não tem um número de ensaios que se possa considerar estatisticamente representativo (superior a 20), alguns conjuntos têm mesmo um número de ensaios muito reduzido (inferiores a 10) e existem ensaios com desvios muito altos (superiores a 20°). Caso fosse feita uma análise particular destes casos, estes últimos valores poderiam justificar ser retirados destes cálculos estatísticos.

Para completar esta análise foram produzidos os histogramas das frequências relativas dos desvios para os locais com mais de 10 ensaios considerados, que se encontram nas Fig. 39 a 44. Nestes histogramas as barras a azul correspondem aos desvios dos valores calculados com ϕ_{MC} e as barras a vermelho aos desvios dos valores calculados com ϕ_{reg} .

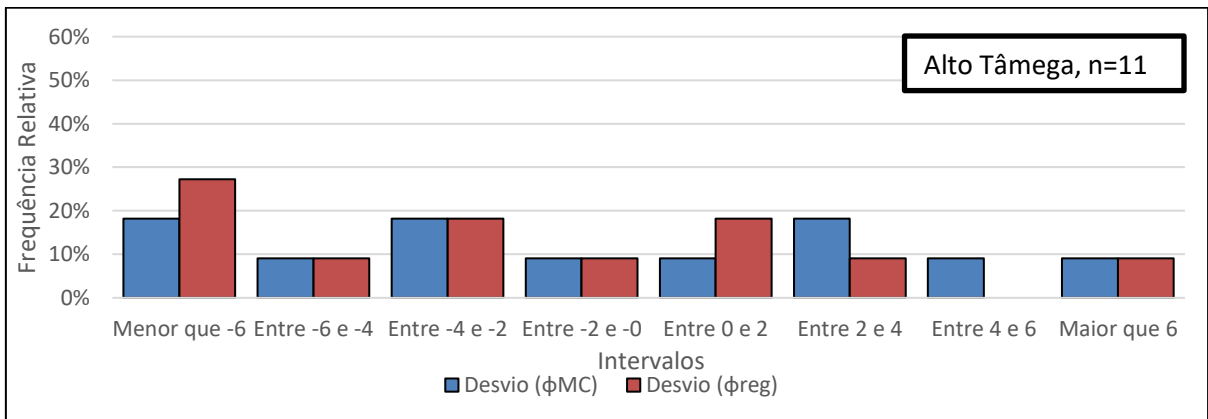


Fig. 39 - Histograma dos desvios do grupo referido.

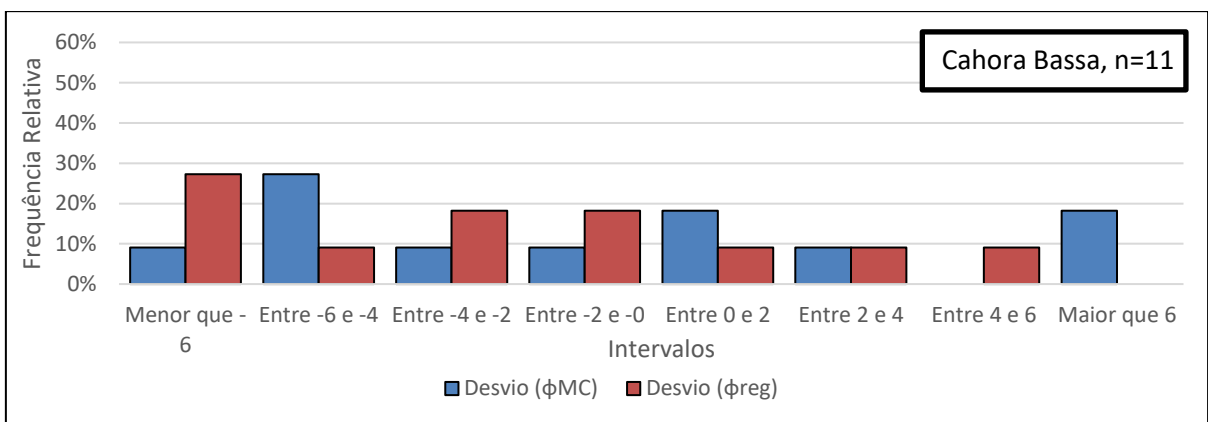


Fig. 40 - Histograma dos desvios do grupo referido.

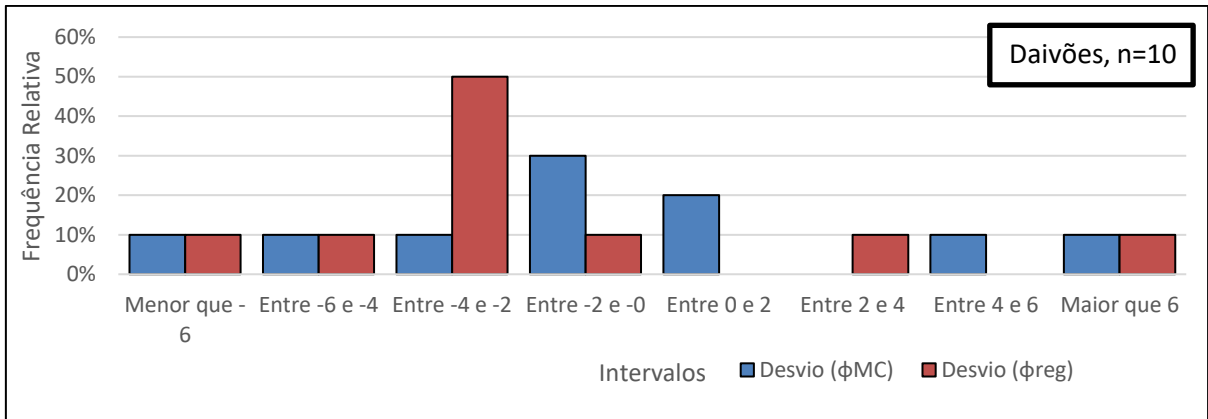


Fig. 41 - Histograma dos desvios do grupo referido.

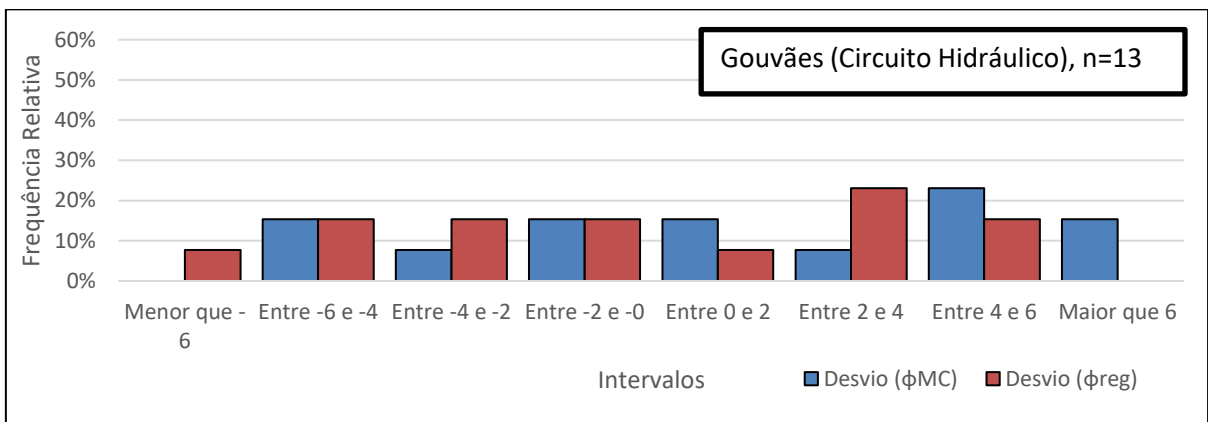


Fig. 42 - Histograma dos desvios do grupo referido.

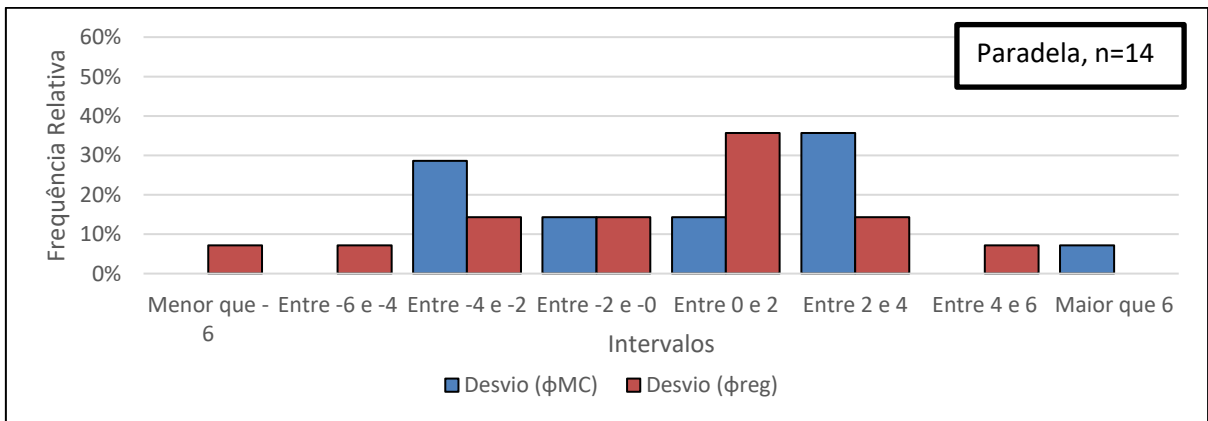


Fig. 43 - Histograma dos desvios do grupo referido.

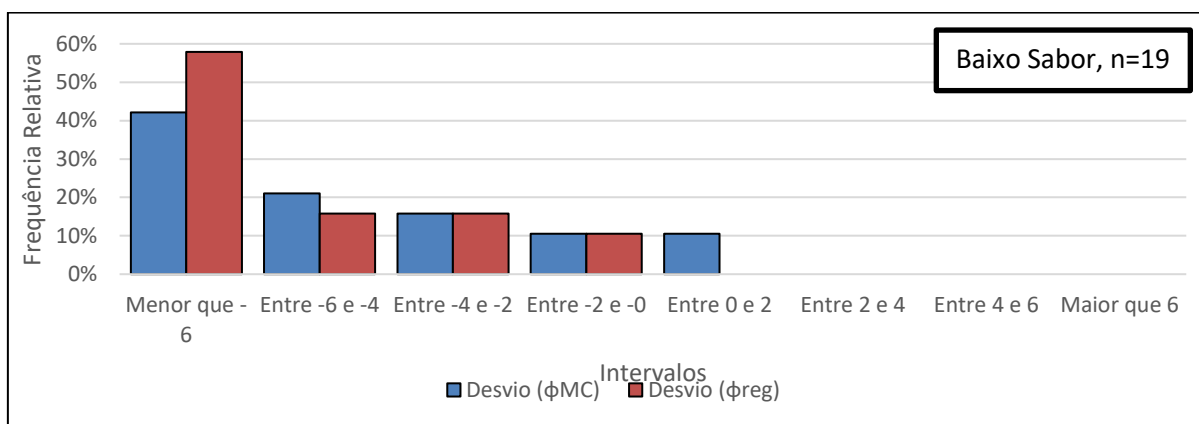


Fig. 44 - Histograma dos desvios do grupo referido.

Estes histogramas mostram que os ensaios tiveram uma tendência maior para um erro negativo, onde o resultado dos valores calculados seriam ligeiramente acima dos valores do ângulo de atrito do primeiro deslizamento dos ensaios, o que pode ser verificado através do ligeiro deslocamento para a esquerda.

Também é possível perceber uma pequena diferença entre os dois grupos nos histogramas da Fig. 45 em que se encontram todos os ensaios, tendo o grupo relativo ao ângulo de atrito de Mohr-Coulomb uma frequência maior dos desvios entre -2° e 1° , enquanto o grupo do ângulo de atrito da regressão teve desvios mais concentrados no intervalo de -4° e -1° .

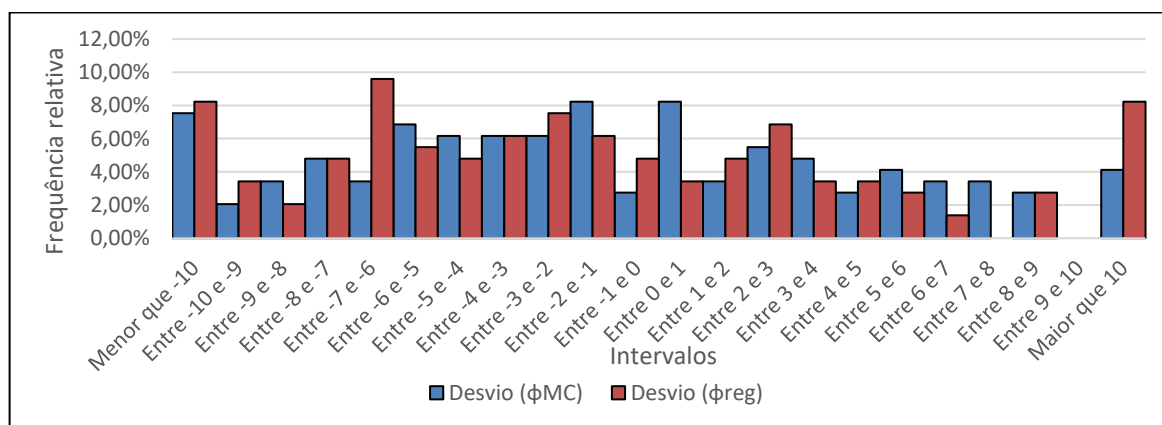


Fig. 45 - Gráfico das frequências relativas da diferença entre os valores calculados e os valores do ensaio a 0,4 MPa.

4.5. DETERMINAÇÃO DO JCS E JRC

A relação descrita por Barton (1973) para o comportamento da resistência ao corte tem como principais condicionantes a resistência das paredes das descontinuidades e a sua rugosidade. Esses parâmetros *JCS* e *JRC*, respectivamente, têm diferentes métodos de determinação, podendo ser estimados em laboratório ou nos locais das obras através de ensaios *in-situ*.

O parâmetro do *JCS* tem extrema importância porque a resistência e a deformação das camadas próximas das paredes das descontinuidades são o que condiciona o seu comportamento mecânico. Esse parâmetro varia de acordo com a litologia e as condições como as descontinuidades se apresentam, sendo elas secas ou húmidas, e especialmente com o seu grau de alteração. No caso de as descontinuidades serem recentes, Barton refere que o valor de *JCS* é igual ao valor para da resistência à

compressão simples da rocha (Uniaxial Compressive Strength - UCS). Quando as paredes das descontinuidades já se encontram alteradas, devido às condições a que foram sujeitas durante os ciclos geológicos, o valor de JCS deve diminuir, passando a ser uma percentagem de UCS.

Neste estudo o parâmetro JCS foi estimado a partir dos valores de ensaios à compressão simples executados para os estudos dos mesmos locais de onde foram retirados os ensaios de deslizamento. Levando em atenção os locais e as litologias, elaborou-se a Tabela 10, em que se encontra um conjunto de parâmetros estatísticos acerca dos valores de UCS dos ensaios de compressão simples, como número de ensaios considerados, média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo.

Tabela 10- Estatísticas de UCS para cada litologia dos grupos de ensaios.

Local	Litologia	Número de ensaios	Média	Mediana	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Alto Tâmega	Granito	105,0	54,0	51,3	23,5	12,7	157,0
	Grauvaque	23,0	40,0	30,9	23,6	10,1	87,4
Alvito (Barragem)	Grauvaque-xisto	1,0	30,6				
	Xisto	10,0	20,8	13,7	18,9	4,2	61,6
	Xisto-grauvaque	12,0	27,6	18,6	26,5	1,6	83,3
Alvito (CH)	Metagrauvaque	3,0	25,1	25,3	3,2	21,8	28,2
	Metagrauvaque e xisto	10,0	20,7	16,2	13,3	7,8	50,3
Cahora Bassa	Aplito	4,0	199,1	195,6	23,9	175,5	229,8
	Granito	61,0	139,6	144,0	39,6	29,6	244,0
	Lamprófiro	5,0	58,9	63,9	24,0	29,4	89,5
Daivões	Granito	176,0	72,0		81,2	3,6	160,8
Foz Tua	Granito	32,0	148,4	147,9	32,37	56,6	201,0
Foz Tua 2	Granito	18,0	125,3	121,0	26,7	85,2	189,6
	Metagrauvaque	5,0	93,8	102,4	51,4	21,2	158,9
Fridão (Jusante)	Granito	12,0	95,7	93,7	9,72	75,0	111,8
Fridão (Montante)	Granito	27,0	42,2	38,1	29,35	8,4	140,1
Gouvães	Granito	10,0	153,4	167,6	38,50	50,9	179,1
Paradela	Episienito	2,0	129,8	129,8	10,1	122,6	136,9
	Granito	44,0	79,1	95,6	44,2	5,4	146,7
	Migmatito	1,0	88,2				
	Paragnaisse	3,0	48,5	50,2	17,4	30,4	65,0
Baixo Sabor	Granito	18,0	95,8	98,7	50,77	11,6	178,6
	Granito	18,0	66,8	65,1	15,1	42,8	96,2
Bemposta	Pegmatito	7,0	87,1	88,6	22,7	48,0	119,0
	Migmatito	15,0	46,2	47,7	22,0	20,8	90,4
Feiticeiro	Granito	13,0	82,6	71,8	26,4	45,8	130,3
Picote	Granito	19,0	65,6	67,9	27,1	15,9	128,1
Salamonde	Granito	23,0	71,9	66,1	41,74	11,3	139,3

De acordo com as formulações do critério de Barton (equação (5)) é possível calcular os valores de qualquer um dos coeficientes, JCS e JRC , a partir dos resultados de um ensaio de deslizamento desde que sejam conhecidos os restantes parâmetros. Assim, para calcular JRC conhecido o ângulo de atrito de um ensaio de deslizamento (ϕ_{ensaio}) executado a uma tensão normal (σ_n) e os parâmetros JCS e ϕ_r , a equação toma a forma seguinte:

$$JRC = \frac{\phi_{ensaio} - \phi_{MC}}{\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)} \quad (14)$$

Por seu lado, para calcular JCS conhecido o ângulo de atrito de um ensaio de deslizamento (ϕ_{ensaio}) executado a uma tensão normal (σ_n) e os parâmetros JRC e ϕ_r , a equação toma a forma seguinte:

$$JCS = \sigma_n 10^{\left(\frac{\phi_{ensaio} - \phi_{MC}}{JRC}\right)} \quad (15)$$

Uma simples análise da equação do critério de Barton (equação (5)), e das duas equações anteriores, mostra que os dois parâmetros JCS e JRC não são independentes, apesar de as metodologias indicadas para a sua determinação (referidas na secção 13) seguirem caminhos totalmente independentes (ensaios de *tilt* para JRC e determinações com martelo de Schmidt para JCS).

Considerando os resultados do primeiro ensaio de deslizamento ($\phi_{i=1}$) e utilizando o ângulo de atrito de Mohr-Coulomb (ϕ_{MC}) como aproximação do ângulo de atrito residual (ϕ_r), a equação (15) passa a ter a seguinte forma:

$$JRC = \frac{\phi_{i=1} - \phi_{MC}}{\log_{10}\left(\frac{JCS}{0,4}\right)} \quad (16)$$

De forma semelhante, a equação (16) passa a:

$$JCS = 0,4 \cdot 10^{\left(\frac{\phi_{i=1} - \phi_{MC}}{JRC}\right)} \quad (17)$$

Nestas equações foi considerada a tensão normal igual a 0,4 MPa porque é o valor usado na maioria dos ensaios, mas deve mencionar-se que foram usados nos cálculos os valores de 0,25 e 0,5 MPa nos grupos de Feiticeiro e Picote.

Como os valores de JCS e JRC estão ligados entre si, calculou-se para todos os ensaios a sua relação usando as fórmulas anteriores. Na Fig. 46 encontra-se um exemplo dos gráficos obtidos, em que foram usados o intervalo de 0 a 20 para o parâmetro JRC e para o parâmetro JCS o intervalo 40 a 120 MPa. Os gráficos dos restantes grupos, que apresentam uma tendência semelhante com um incremento não linear acentuado de JRC com a diminuição de JCS , encontram-se nas Fig. 35 a 52 do Anexo B. No gráfico da Fig. 46 percebe-se que para uma gama de valores de JCS entre 40 e 80 MPa, que se assume como usual para este parâmetro, a variação do JRC é de cerca de 2, que se pode considerar aceitável.

Lembra-se que os perfis de rugosidade propostos por Barton & Choubey (1977) para a determinação de *JRC* por inspeção visual das descontinuidades consideram grupos com gamas de variação de 2.

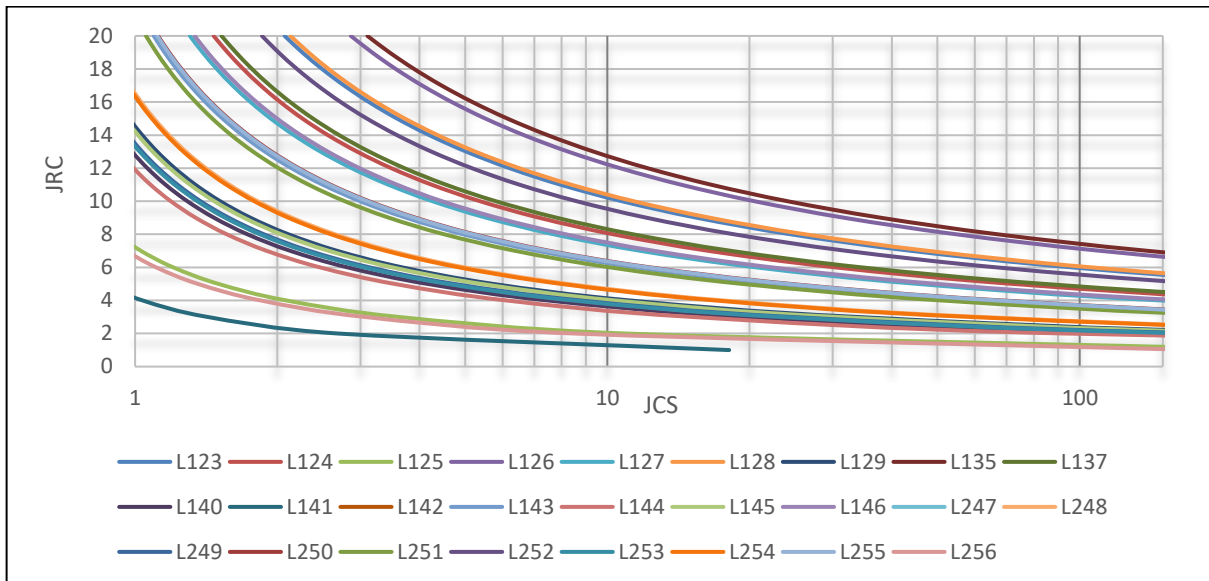


Fig. 46 - Gráfico comparativo entre o JCS e JRC, relativo ao grupo de Paradela.

Após a determinação das relações entre os valores de *JCS* e *JRC* para todos os ensaios, foi necessário tentar perceber quais seriam os intervalos de valores mais adequados.

Como Barton afirma que o *JCS* pode ser estimado como uma percentagem da resistência a compressão simples da rocha em função da alteração das paredes da descontinuidade, foram consideradas as estatísticas dos valores de *UCS* para as litologias de cada grupo de ensaios que se encontram apresentadas na Tabela 10.

Para delimitar um pouco mais a gama de variação da relação entre *JRC* e *JCS* foram considerados alguns valores indicativos para *JCS*, sendo observada a gama de *JCS* entre o valor médio mais um desvio padrão e o valor médio menos um desvio padrão. Por outro, foram considerados valores de *JCS* iguais a 1/2, 1/4 e 1/8 de *UCS*. Na Fig. 47 encontram-se representados estes valores para o conjunto de ensaios da litologia do granito do local de Paradela em que *UCS* era de 79,1 MPa e o desvio padrão de 44,2 MPa.

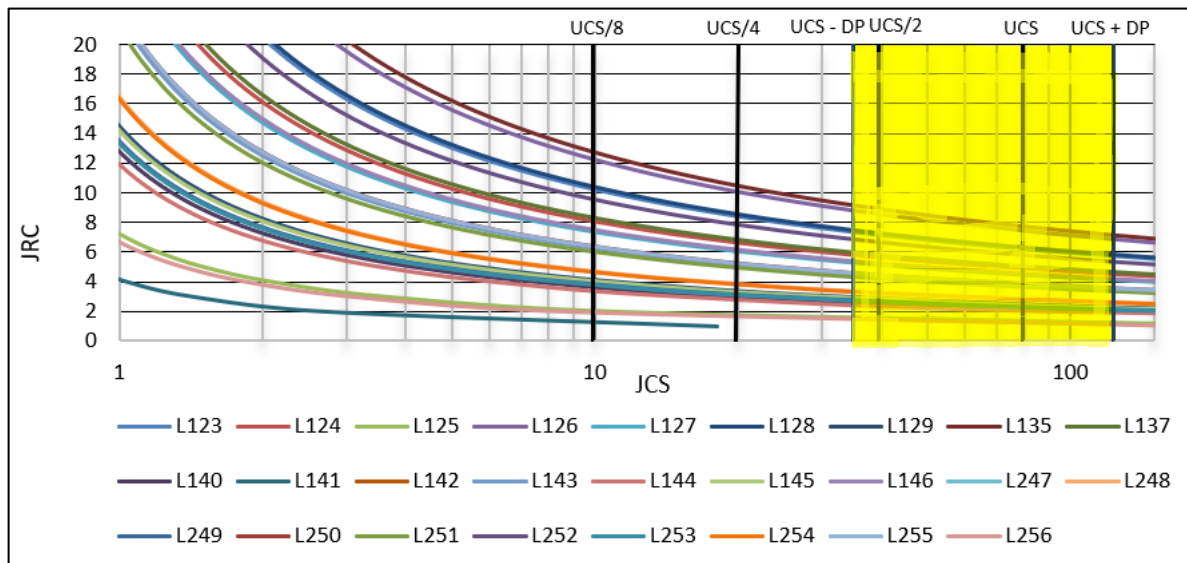


Fig. 47 - Gráfico de $\log_{10}(JCS)$ x JRC de todos os ensaios do grupo de Paradela, com indicação do intervalo estipulado através do UCS.

Para perceber as gamas de variação da relação entre *JRC* e *JCS*, foram calculados os valores de *JRC* considerando *JCS* igual a UCS, UCS/2, UCS/4 e UCS/8. Com esses valores de *JRC* foram construídos os histogramas da Fig. 48 em que os *JRC* se encontram agrupados segundo os mesmos intervalos dos perfis de rugosidade de Barton & Choubey (1977). Os histogramas para os restantes conjuntos encontram-se nas Figs. 53 a 70 de Anexo B.

A análise desses histogramas mostra que existem vários conjuntos de ensaios em que a variação de *JCS* não provoca diferenças muito importantes nos histogramas, que existem conjuntos em que considerar *JCS* igual a UCS (as paredes das descontinuidades seriam de rocha sã) leva a que as descontinuidades tenham de ser consideradas lisas ou muito pouco rugosas e que, ao contrário, considerar valores de *JCS* muito baixos (iguais a UCS/8) leva a considerar descontinuidades muito rugosas, o que não está de acordo com a experiência existente. Assim, como principal conclusão desta análise, verifica-se que considerar valores de *JCS* próximos de UCS/2, para além de corresponder a valores dentro da gama de resultados existentes na literatura, conduz a valores de *JRC* dentro das variações habitualmente reconhecidas para provetes de ensaios de laboratório com dimensões da ordem de 10 cm de comprimento.

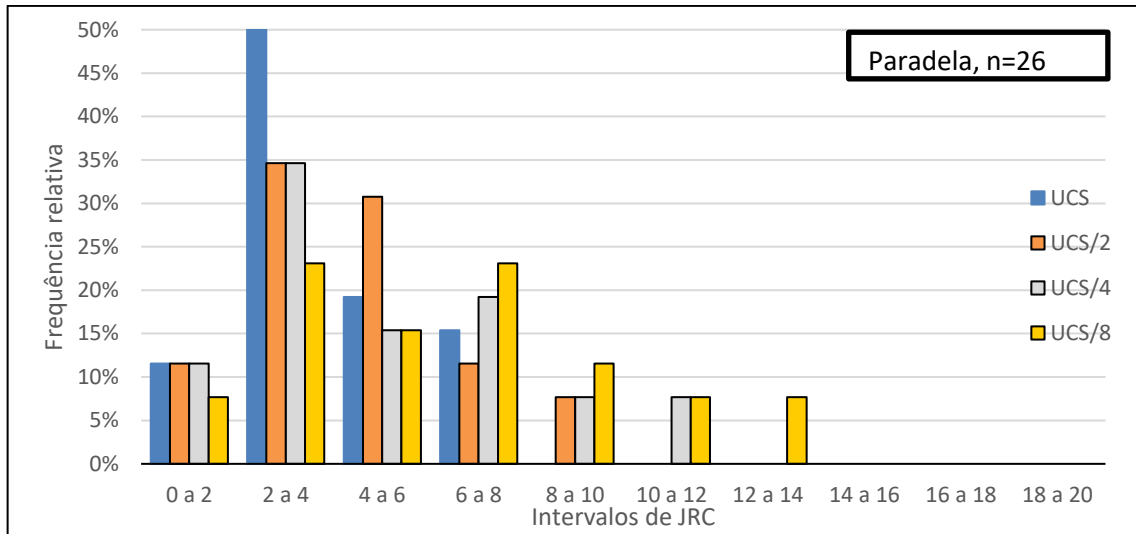


Fig. 48 - Histograma comparativo do JRC de UCS, UCS/2, UCS/4 e UCS/8.

Na Fig. 49 encontram-se uma representação gráfica dos pares de valores (JRC , JCS) em que JRC foi calculado para JCS igual a $UCS/2$, mas arredondado a um valor inteiro. Neste conjunto estão os resultados de todos os ensaios com exceção dos que tinham valores de coesão próxima de 0 e que levavam a que o ângulo de atrito fosse quase igual ao ângulo de atrito residual e em consequência os valores de JRC e JCS próximos de 0 também.

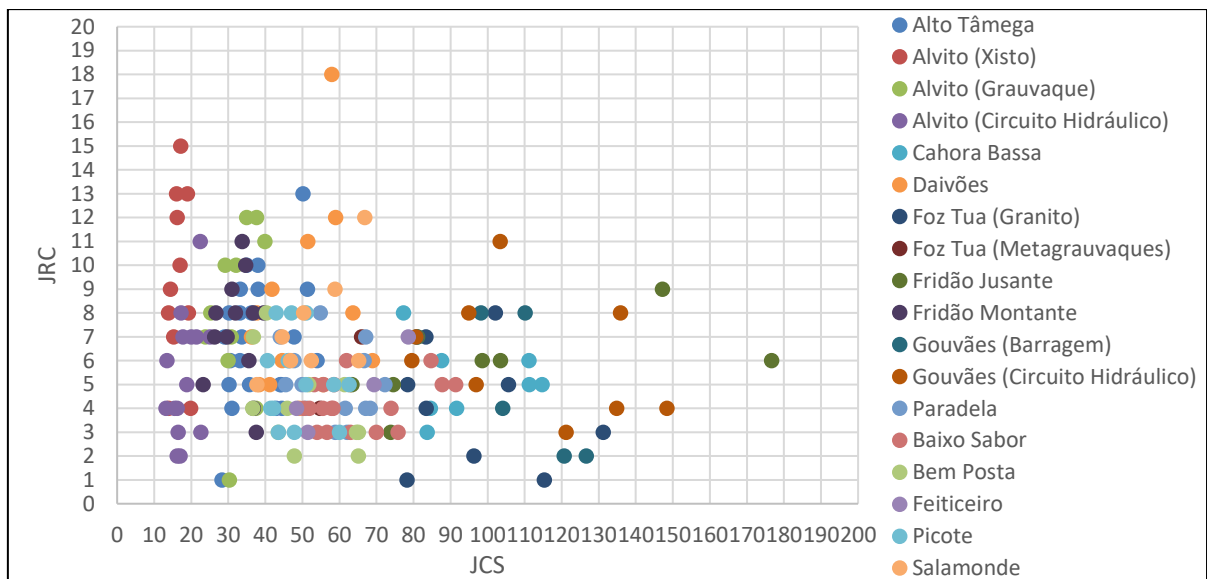


Fig. 49 - Valores de JCS e JRC dentro do intervalo de UCS e UCS/2.

A partir destes resultados foram construídos para cada um dos locais e litologias histogramas dos valores de JRC e JCS . No caso que tem vindo a ser usado como exemplo, o histograma de frequências relativas de JRC encontra-se na Fig. 50 e o histograma de frequências relativas de JCS encontra-se na Fig. 51. Os gráficos referentes aos demais grupos podem ser verificados nas Figs 71 a 88 e 89 a 106, respetivamente, do Anexo B.

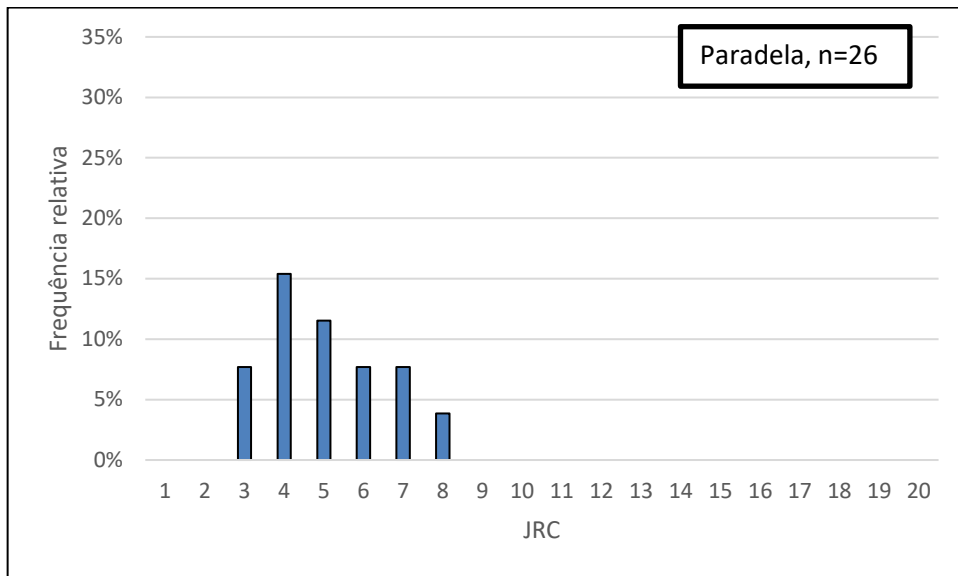


Fig. 50 - Histograma dos valores de JRC para o grupo referenciado.

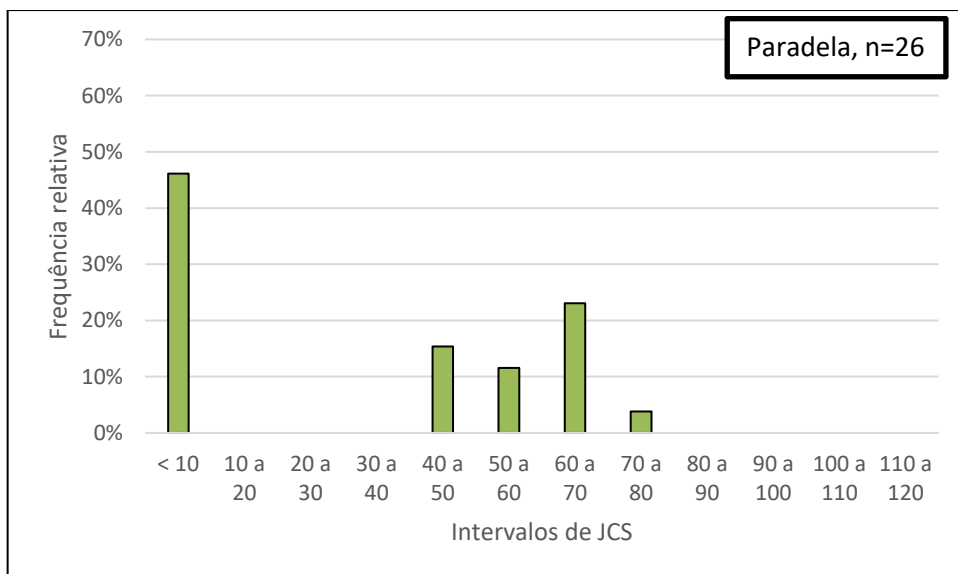


Fig. 51 - Histograma dos valores de JCS para o grupo referenciado.

Os histogramas construídos desta forma podem ser utilizados para caracterizar a resistência das paredes (*JCS*) e a rugosidade (*JRC*) das descontinuidades ensaiadas a partir dos resultados dos ensaios de deslizamento, atingindo um resultado semelhante ao que Barton alcança através da sua metodologia em que considera os testes com martelo de Schmidt, os ensaios de *tilt* ou a comparação com perfis tipo (Fig. 2).

5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O principal objetivo deste trabalho foi determinar os parâmetros de resistência de descontinuidades rochosas através do resultado de ensaios de deslizamento. Foram realizados ao todo 332 ensaios de deslizamento de diaclases, provenientes de vários locais com diferentes litologias, realizados no LNEC seguindo o procedimento LMR 04 (LNEC, 2017).

Para determinar esses parâmetros, Barton indicou uma metodologia para os parâmetros de resistência da rocha. Essa metodologia depende de métodos indiretos, como os ensaios de *tilt*, *pull* e *push* e o martelo de Schmidt, para determinação dos parâmetros JRC , JCS e ϕ_r , mas inclui também ensaios de deslizamento de diaclases e a consideração dos critérios de Mohr-Coulomb e de Patton. Desse modo, a utilização dos resultados de ensaios de deslizamento seriam uma hipótese alternativa para substituir esses ensaios indiretos.

Em uma primeira etapa, calculou-se através do critério de Mohr-Coulomb uma primeira estimativa para o ângulo de atrito residual (ϕ_r), através da relação quase linear entre a tensão de corte e a tensão normal determinadas durante os ensaios de deslizamento. Considerou-se uma segunda hipótese que levou em conta a possibilidade de haver uma diminuição do ângulo de atrito residual devido ao desgaste que o provete apresenta após a execução de cada deslizamento. Com isso, foi realizada uma modelação através de uma equação exponencial com os resultados dos valores de um ângulo de atrito para cada tensão do ensaio de deslizamento $\phi_{i=1, \dots, 4}$, com o objetivo de calcular uma outra estimativa para o ângulo de atrito residual (ϕ_r).

Vale salientar que essa modelação também foi realizada usando os coeficientes de atrito para cada tensão do ensaio de deslizamento. Assim, foi possível verificar que os valores calculados através do coeficiente de atrito e o ângulo de atrito eram muito aproximados, demonstrando que é aceitável a utilização para os cálculos dos parâmetros de Barton dos valores dos ângulos em graus, apesar de matematicamente ser mais correta a utilização dos valores dos coeficientes de atrito. Com base nessa conclusão, os restantes cálculos realizados neste trabalho foram feitos com os valores dos ângulos, da mesma forma que Barton realizou os seus cálculos

Em alguns dos ensaios, o modelo utilizado não se adaptou aos valores, por motivos particulares de cada ensaio realizado, não tendo sido possível calcular os seus parâmetros para uma parcela de cerca de 1/3 no caso da utilização dos ângulos de atrito de cada deslizamento e de cerca de metade no caso da utilização dos coeficientes de atrito de cada deslizamento. Verificou-se que nestes casos as diaclases ensaiadas tinham uma coesão muito baixa e que assim os valores dos ângulos de atrito de cada

deslizamento eram muito semelhantes, que a equação exponencial, que considera uma diminuição de ϕ_i com o aumento da tensão normal, não seja adequada.

Posteriormente, a modelação com a mesma equação exponencial foi realizada para os valores da dilatância e do ângulo de dilatância determinados a partir dos valores dos deslocamentos normais e tangenciais medidos durante os ensaios de deslizamento. Neste caso, determinaram-se os valores do ângulo de dilatância inicial (i_0), que representa o ângulo de dilatância quando somente existe uma tensão normal muito baixa.

Como referido, na modelação dos ângulos de atrito e, em especial, dos ângulos de dilatância em função da tensão normal, existiram ensaios em que a equação exponencial usada não se conseguiu adaptar. Nestes casos seria conveniente realizar uma análise mais detalhada dos resultados, procurando valores anómalos que possam não ser considerados ou determinando outras estimativas dos parâmetros, tais como a média ou o máximo dos valores considerados. Poderia ainda ser feita a observação das fotografias dos provetes ensaiados para avaliar a sua rugosidade e desgaste das superfícies e tentar retirar conclusões acerca destes fatores, de forma a fundamentar a conclusão de que muitos dos casos se devem a descontinuidades lisas ou pouco rugosas.

De acordo com Barton, para as tensões normais relativamente baixas, a resistência tangencial é dada pela soma das parcelas da dilatância e do ângulo de atrito residual. Assim, foram efetuadas as comparações entre a soma da dilatância com ϕ_r , considerando o ângulo de atrito de Mohr-Coulomb (ϕ_{MC}) ou o ângulo de atrito calculado a partir da regressão (ϕ_{reg}), e o ângulo de atrito do primeiro ensaio de deslizamento ($\phi_{i=1}$). Foi possível concluir que as aproximações eram razoáveis, na maioria dos casos com desvios inferiores a 5°, apesar de se verificarem casos com desvios superiores a 10°, e que os desvios eram menores quando se considerava o ângulo de atrito residual igual ao ângulo de atrito do critério de Mohr-Coulomb, apesar de a diferença ser relativamente pequena.

Em uma segunda etapa, onde procedeu-se a um conjunto de cálculos relativamente aos parâmetros de Barton (JRC e JCS), em que se começou por determinar estimativas para JCS a partir de valores da resistência à compressão uniaxial (UCS), obtidos de ensaios realizados sobre as mesmas litologias que os ensaios de deslizamento. Tendo em atenção que a resistência das paredes de descontinuidades naturais, alteradas pelos processos geológicos, devem ser uma percentagem da resistência da rocha sã, foram consideradas várias possibilidades para os valores de JCS , entre os valores de UCS e de UCS/8.

Como estes dois parâmetros não são independentes, como facilmente se conclui da equação (5), foram calculadas as relações entre ambos para cada um dos ensaios considerados. A análise dos gráficos destas relações mostrou que existia o aumento de JRC como resultados de uma diminuição de JCS desde um valor igual a UCS até um valor da ordem de UCS/2, mas que essa variação era menor que 2, que corresponderia assim apenas ao acréscimo de uma classe relativamente aos perfis de rugosidade tipo que Barton indicou. Para valores de JCS inferiores a UCS/2, que já se encontram um pouco fora da gama de valores encontrados na literatura, o aumento de JRC passa a ser bastante mais acentuado.

Foram também analisadas várias alternativas para o valor de JCS (UCS, UCS/2, UCS/4 e UCS/8) que permitiram concluir que os valores de JRC calculados tomando JCS igual a UCS/2 se encontravam em linha com resultados experimentais obtidos anteriormente nos estudos de Barton & Choubey (1977) e Barton, (1971).

Considerando assim valores de JCS próximos de UCS/2, foram calculados os valores de JRC respetivos e construídos, para cada um dos conjuntos de ensaios, histogramas para estes dois parâmetros que correspondem aos histogramas apresentados por Barton.

Como conclusão geral, neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia que mostrou ser possível determinar os parâmetros do critério de Barton (JRC , JCS e ϕ_r) a partir dos resultados de ensaios de ensaios de deslizamento de descontinuidades (relações entre as tensões normal e tangencial e entre os deslocamentos normais e tangenciais).

Deve salientar-se que os resultados experimentais usados neste trabalho vêm de conjuntos de ensaios realizados de acordo com o procedimento mencionado (LMR 04), que não tinham como objetivo a determinação dos parâmetros do critério de Barton.

Como desenvolvimento futuro, para consolidar a metodologia proposta, ela poderia ser aplicada a um conjunto de ensaios de descontinuidades em que a tensão normal do primeiro deslizamento não seria igual, alguns provetes seriam ensaiados com σ_n igual a 0,4 MPa, outros a 0,8 MPa, outros a 1,6 MPa e outros a 3,2 MPa, por exemplo, e em que seriam também executados os ensaios indiretos de *tilt* e com martelo de Schmidt, propostos por Barton e Choubey (1977)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barton, & Choubey. (1977). The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice. In *Rock Mechanics* (Vol. 10).
- Barton, N. R. (1971). A relationship between joint roughness and joint shear strength. *Norges Geotekniske Institutt*.
- Barton, N. R. (1973). Review of a new shear-strength criterion for rock joints. *Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam*.
- da Silva, G. D. G. (2015). *COMPARAÇÃO DOS MODELOS DE COULOMB E DE BARTON PARA A RESISTÊNCIA TANGENCIAL DE DESCONTINUIDADES ROCHOSAS*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.
- Hoek, E. (2007). *PRACTICAL ROCK ENGINEERING*.
- Lima, C., Menezes, J. E., & Topa Gomes, A. (2018). *GEOLOGIA DE ENGENHARIA. Capítulo 4. DESCONTINUIDADES*.
- LNEC. (2017). *ENSAIOS PARA A DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA E DEFORMABILIDADE DE DESCONTINUIDADES ROCHOSAS*.
- Miguel Rodrigues Carvalhais Matos Fernandes, L. (2019). *INFLUÊNCIA DO DESGASTE DA SUPERFÍCIE DE DESCONTINUIDADES ROCHOSAS NA SUA RESISTÊNCIA TANGENCIAL*. <http://www.fe.up.pt>
- Muralha, J., Grasselli, G., Tatone, B., Blümel, M., Chryssanthakis, P., & Yujing, J. (2013). ISRM suggested method for laboratory determination of the shear strength of rock joints: Revised version. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47(1), 291–302. <https://doi.org/10.1007/s00603-013-0519-z>
- Rocha, M. (1981). *Mecânica das Rochas*. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Topa Gomes, A. (2020). *Obras Subterrâneas*. FEUP.
- Fonte: <https://edisciplinas.usp.br>; Acesso em 12/09/2023 às 16:30

ANEXO A

TABELAS DE CÁLCULO

A. GRUPO 1: TABELAS DOS CÁLCULOS DOS PARÂMETROS DE MOHR - COULOMB.

Tabela 11 - Grupo Alto Tâmega.

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
0,4	0,458	0,280	0,541	0,520	0,351	0,345	0,346	0,374	0,418	0,325	0,354	0,513	0,351	0,300
0,8	0,725	0,590	0,711	0,574	0,561	0,524	0,601	0,517	0,937	0,526	0,545	0,773	0,428	0,510
1,6	1,240	1,127	1,302	1,316	1,049	0,893	1,133	0,973	1,406	1,107	1,165	1,684	0,848	0,910
3,2	2,026	2,121	2,400	2,284	1,955	2,118	2,144	1,705	2,196	2,339	1,868	3,299	1,649	1,636
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
c (Mpa)	0,278	0,052	0,222	0,182	0,115	0,010	0,092	0,167	0,340	- 0,022	0,161	0,045	0,101	0,127
tg(ϕ)	0,556	0,652	0,678	0,661	0,576	0,640	0,643	0,483	0,600	0,731	0,548	1,015	0,479	0,475
ϕ_{MC} (°)	29,1	33,1	34,1	33,5	29,9	32,6	32,7	25,8	30,9	36,2	28,7	45,4	25,6	25,4
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
0,4	0,216	0,183	0,288	0,142	0,177	0,170	0,250	0,170	0,313	0,062	0,170	0,325	0,155	0,169
0,8	0,226	0,126	0,290	0,162	0,166	0,123	0,224	0,148	0,263	0,074	0,175	0,291	0,109	0,139
1,6	0,185	0,109	0,263	0,099	0,153	0,099	0,204	0,088	0,235	0,011	0,107	0,247	0,108	0,068
3,2	0,125	0,091	0,225	0,069	0,137	0,097	0,193	0,012	0,166	0,040	0,125	0,189	0,092	0,013
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
0,4	12,2	10,4	16,1	8,1	10,0	9,6	14,0	9,7	17,4	3,6	9,6	18,0	8,8	9,6
0,8	12,7	7,2	16,2	9,2	9,4	7,0	12,6	8,4	14,8	4,2	9,9	16,2	6,2	7,9
1,6	10,5	6,2	14,8	5,6	8,7	5,6	11,6	5,1	13,2	0,6	6,1	13,9	6,1	3,9
3,2	7,1	5,2	12,7	3,9	7,8	5,6	10,9	0,7	9,5	2,3	7,1	10,7	5,2	0,7

Tabela 12 - Continuação grupo Alto Tâmega.

Tensão Tangencial												
σ_n (MPa)	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
0,4	0,396	0,278	0,256	0,572	0,330	0,442	0,428	0,297	0,356	0,464	0,472	0,301
0,8	0,712	0,535	0,434	0,641	0,535	0,622	0,765	0,477	0,503	0,759	0,726	0,562
1,6	1,132	0,903	0,775	1,116	0,927	1,096	1,236	0,882	1,090	1,357	1,305	0,896
3,2	2,027	1,584	1,461	1,992	2,395	2,044	2,739	1,709	2,028	2,404	2,512	1,575
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb												
	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
c (Mpa)	0,211	0,139	0,087	0,291	- 0,071	0,183	0,061	0,081	0,077	0,209	0,154	0,168
tg(ϕ)	0,571	0,457	0,429	0,526	0,745	0,579	0,820	0,507	0,612	0,692	0,733	0,444
ϕ_{MC} (°)	29,7	24,6	23,2	27,8	36,7	30,1	39,4	26,9	31,5	34,7	36,3	23,9
Dilatância (-)												
σ_n (MPa)	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
0,4	0,273	0,079	0,096	0,146	0,161	0,233	0,261	0,108	0,309	0,281	0,248	0,086
0,8	0,243	0,099	0,086	0,134	0,147	0,211	0,241	0,082	0,244	0,237	0,230	0,100
1,6	0,211	0,076	0,053	0,126	0,146	0,187	0,194	0,082	0,218	0,199	0,194	0,037
3,2	0,190	0,069	0,019	0,125	0,159	0,156	0,183	0,036	0,199	0,167	0,171	0,006
Ângulo de dilatância												
σ_n (MPa)	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
0,4	15,3	4,5	5,5	8,3	9,1	13,1	14,6	6,1	17,2	15,7	14,0	4,9
0,8	13,6	5,7	4,9	7,6	8,3	11,9	13,5	4,7	13,7	13,3	13,0	5,7
1,6	11,9	4,4	3,1	7,2	8,3	10,6	11,0	4,7	12,3	11,3	11,0	2,1
3,2	10,7	3,9	1,1	7,1	9,1	8,8	10,4	2,1	11,3	9,5	9,7	0,3

Tabela 13 - Grupo Alvito (Xisto).

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
0,4	0,253	0,197	0,249	0,435	0,399	0,282	0,542	0,389	0,189	0,411	0,161	0,401	0,286	0,470
0,8	0,409	0,496	0,496	0,695	0,598	0,463	0,739	0,603	0,365	0,753	0,329	0,571	0,495	0,750
1,6	0,829	0,793	0,891	0,989	1,182	0,959	0,893	1,096		1,089	0,672	0,856	1,182	1,389
3,2	1,735	1,546	1,615	2,331	2,058	1,782	2,631	1,684	0,867	2,158	1,310	2,276	2,099	
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
c (Mpa)	0,002	0,059	0,091	0,103	0,160	0,059	0,278	0,052	0,222	0,182	0,092	0,167	- 0,022	0,161
tg(ϕ)	0,537	0,466	0,481	0,673	0,600	0,541	0,556	0,652	0,678	0,661	0,643	0,483	0,731	0,548
ϕ_{MC} (°)	28,2	25,0	25,7	33,9	30,9	28,4	29,1	33,1	34,1	33,5	32,7	25,8	36,2	28,7
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
0,4	0,039	- 0,002	0,040	0,085	0,081	0,047	0,147	0,109	0,025	0,122	0,032	0,116	0,011	0,175
0,8	0,018	0,002	0,006	0,087	0,062	0,046	0,129	0,115	0,031	0,099	0,034	0,098	0,017	0,017
1,6	0,019	- 0,013	0,024	0,009	0,056	0,041	0,080	0,056		0,063	0,028	0,093	0,011	0,109
3,2	0,015	- 0,015	- 0,001	0,051	0,028	0,008	0,051	0,014	0,009	0,036	0,038	0,073	0,005	
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
0,4	2,2	- 0,1	2,3	4,9	4,6	2,7	8,3	6,2	1,4	7,0	1,9	6,6	0,6	9,9
0,8	1,0	0,1	0,3	5,0	3,6	2,6	7,3	6,5	1,8	5,7	1,9	5,6	0,9	0,9
1,6	1,1	- 0,7	1,4	0,5	3,2	2,3	4,5	3,2		3,6	1,6	5,3	0,6	6,2
3,2	0,9	- 0,9	- 0,1	2,9	1,6	0,5	2,9	0,8	0,5	2,0	2,2	4,2	0,3	

Tabela 14 - Continuação grupo Alvito (Xisto).

Tensão Tangencial			
σ_n (MPa)	B535	B536	B537
0,4	0,435	0,356	0,261
0,8	0,704	0,555	0,461
1,6	1,448	0,885	0,911
3,2	2,695	1,944	1,720
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb			
	B535	B536	B537
c (Mpa)	0,101	0,127	0,211
tg(ϕ)	0,479	0,475	0,571
ϕ_{MC} (°)	25,6	25,4	29,7
Dilatância (-)			
σ_n (MPa)	B535	B536	B537
0,4	0,212	0,103	0,176
0,8	0,182	0,075	0,158
1,6	0,181	0,068	0,148
3,2	0,166	0,057	0,126
Ângulo de dilatância			
σ_n (MPa)	B535	B536	B537
0,4	12,0	5,9	10,0
0,8	10,3	4,3	9,0
1,6	10,3	3,9	8,4
3,2	9,4	3,3	7,2

Tabela 15 - Grupo Alvito (Grauvaque).

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
0,4	0,238	0,410	0,649	0,460	0,275	0,378	0,537	0,193	0,422	0,362	0,475	0,513	0,272	0,522
0,8	0,577	0,759	0,937	0,514	0,434	0,635	0,861	0,538	0,785	0,595	0,801	0,822	0,544	0,752
1,6	1,014	1,355	1,638	1,292		1,268	1,600	1,015	1,478	1,153	1,402	1,457	1,039	1,320
3,2	1,908	2,356	2,958	2,227		2,525	2,691	1,710	2,811	2,025	2,362	2,841	1,983	2,451
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
c (Mpa)	0,061	0,190	0,299	0,115	0,010	0,340	0,045	0,139	0,087	0,291	- 0,071	0,183	0,061	0,081
tg(ϕ)	0,582	0,686	0,831	0,576	0,640	0,600	1,015	0,457	0,429	0,526	0,745	0,579	0,820	0,507
ϕ_{MC} (°)	30,2	34,5	39,7	29,9	32,6	30,9	45,4	24,6	23,2	27,8	36,7	30,1	39,4	26,9
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
0,4	0,065	0,108	0,234	0,149	0,042	0,085	0,193	0,095	0,136	0,125	0,180	0,175	0,032	0,173
0,8	0,059	0,094	0,120	0,136	0,028	0,081	0,176	0,109	0,139	- 0,024	0,146	0,147	0,045	0,165
1,6	0,030	0,073	0,120	0,098		0,069	0,170	0,097	0,131	0,016	0,138	0,143	0,056	0,147
3,2	0,037	0,025	0,105	0,054		0,067	0,148	0,077	0,114	0,013	0,139	0,148	0,041	0,136
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
0,4	3,7	6,2	13,2	8,5	2,4	4,9	10,9	5,4	7,7	7,1	10,2	9,9	1,8	9,8
0,8	3,4	5,4	6,8	7,7	1,6	4,6	10,0	6,2	7,9	- 1,4	8,3	8,4	2,6	9,3
1,6	1,7	4,2	6,9	5,6		4,0	9,6	5,6	7,4	0,9	7,8	8,2	3,2	8,4
3,2	2,1	1,4	6,0	3,1		3,9	8,4	4,4	6,5	0,7	7,9	8,4	2,3	7,8

Tabela 16 - Grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
0,4	0,260	0,274	0,284	0,213	0,205	0,246	0,223	0,191	0,336	0,311	0,389	0,691	0,409	0,405
0,8	0,566	0,568	0,427	0,374	0,359	0,426	0,320	0,329	0,508	0,475	0,660	1,074	0,706	0,566
1,6	0,996	1,140	0,795	0,688	0,691	0,904	0,766	0,642	0,963	0,911	1,128	1,735	1,229	1,134
3,2	1,789	2,347	1,487	1,326	1,371	1,574	1,360	1,333	1,747	1,822	2,120	3,116	2,314	2,203
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
c (Mpa)	0,101	- 0,028	0,097	0,055	0,029	0,071	0,041	0,008	0,126	0,060	0,152	0,363	0,149	0,093
tg(ϕ)	0,535	0,740	0,434	0,397	0,418	0,478	0,417	0,411	0,509	0,547	0,615	0,860	0,677	0,656
ϕ_{MC} (°)	28,1	36,5	23,5	21,7	22,7	25,5	22,7	22,3	27,0	28,7	31,6	40,7	34,1	33,3
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
0,4	0,076	0,153	0,077	0,030	0,107	0,029	0,025	0,021	0,079	0,099	0,166	0,316	0,177	0,126
0,8	0,073	0,082	0,070	0,008	0,087	0,022	0,034	0,010	0,046	0,046	0,142	0,260	0,165	0,122
1,6	0,048	0,133	0,084	0,002	0,091	0,014	0,027	- 0,008	0,016	0,035	0,116	0,197	0,152	0,117
3,2	0,031	0,124	0,058	- 0,019	0,078	0,002	0,069	0,008	0,014	0,025	0,090	0,153	0,124	0,090
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
0,4	4,3	8,7	4,4	1,7	6,1	1,7	1,4	1,2	4,5	5,6	9,4	17,5	10,0	7,2
0,8	4,2	4,7	4,0	0,5	5,0	1,3	2,0	0,6	2,7	2,6	8,1	14,6	9,4	7,0
1,6	2,7	7,6	4,8	0,1	5,2	0,8	1,5	- 0,4	0,9	2,0	6,6	11,2	8,6	6,7
3,2	1,8	7,0	3,3	- 1,1	4,5	0,1	3,9	0,5	0,8	1,4	5,1	8,7	7,1	5,1

Tabela 17 - Continuação grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

Tensão Tangencial								
σ_n (MPa)	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
0,4	0,300	0,312	0,266	0,200	0,198	0,202	0,263	0,210
0,8	0,546	0,512	0,560	0,403	0,361	0,239	0,366	0,285
1,6	1,056	0,980	1,054	0,757	0,696	0,831	0,906	0,574
3,2	1,988	1,894	2,056	1,545	1,503	1,591	1,708	1,449
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb								
	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
c (Mpa)	0,069	0,072	0,034	0,009	- 0,013	- 0,066	0,012	- 0,052
tg(ϕ)	0,603	0,568	0,634	0,478	0,468	0,521	0,532	0,454
ϕ_{MC} (°)	31,1	29,6	32,4	32,4	25,6	25,1	27,5	24,4
Dilatância (-)								
σ_n (MPa)	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
0,4	0,124	0,154	0,112	0,028	0,051	0,071	0,080	0,125
0,8	0,105	0,109	0,107	0,025	0,014	0,049	0,072	0,110
1,6	0,084	0,099	0,092	0,020	0,029	0,030	0,072	0,069
3,2	0,065	0,080	0,072	0,003	0,027	0,011	0,045	0,035
Ângulo de dilatância								
σ_n (MPa)	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
0,4	7,1	8,8	6,4	1,6	2,9	4,1	4,6	7,1
0,8	6,0	6,2	6,1	1,5	0,8	2,8	4,1	6,3
1,6	4,8	5,6	5,3	1,1	1,6	1,7	4,1	4,0
3,2	3,7	4,6	4,1	0,2	1,5	0,6	2,6	2,0

Tabela 18 - Grupo Cahora Bassa.

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
0,4	0,394	0,520	0,513	0,488	0,487	0,425	0,583	0,406	0,308	0,377	0,460	0,522	0,417	0,405
0,8	0,702	0,796	0,834	0,771	0,847	0,988	1,163	0,598	0,585	0,597	0,815	0,805	0,877	0,679
1,6	1,272	1,346	1,588	1,306	1,331	1,821	2,072	1,240	0,911	1,073	1,481	1,531	1,415	1,387
3,2	2,384	2,624	3,118	2,273	3,240	3,377	3,964	2,085	1,785	2,059	2,781	2,683	2,757	2,475
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
c (Mpa)	0,127	0,191	0,107	0,258	0,004	0,099	0,155	0,168	0,122	0,122	0,145	0,219	0,142	0,120
tg(ϕ)	0,708	0,753	0,937	0,634	0,981	1,036	1,194	0,610	0,517	0,603	0,826	0,778	0,816	0,745
ϕ_{MC} (°)	35,3	37,0	43,1	32,4	44,5	46,0	50,0	31,4	27,3	31,1	39,6	37,9	39,2	36,7
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
0,4	0,134	0,194	0,304	0,153	0,266	0,418	0,329	0,094	0,154	0,144	0,133	0,290	0,217	0,145
0,8	0,128	0,138	0,251	0,127	0,254	0,167	0,394	0,080	0,111	0,147	0,141	0,233	0,217	0,151
1,6	0,105	0,116	0,223	0,055	0,231	0,136	0,318	0,072	0,083	0,131	0,119	0,183	0,176	0,163
3,2	0,104	0,090	0,198	0,019	0,214	0,127	0,289	0,058	0,082	0,116	0,112	0,127	0,134	0,127
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
0,4	7,6	11,0	16,9	8,7	14,9	22,7	18,2	5,4	8,8	8,2	7,6	16,2	12,2	8,3
0,8	7,3	7,9	14,1	7,2	14,3	9,5	21,5	4,6	6,3	8,4	8,0	13,1	12,2	8,6
1,6	6,0	6,6	12,6	3,1	13,0	7,7	17,6	4,1	4,7	7,5	6,8	10,4	10,0	9,3
3,2	5,9	5,1	11,2	1,1	12,1	7,2	16,1	3,3	4,7	6,6	6,4	7,2	7,6	7,2

Tabela 19 - Continuação grupo Cahora Bassa.

Tensão Tangencial						
σ_n (MPa)	D390	D391	D392	D393	D394	D395
0,4	0,450	0,374	0,362	0,589	0,280	0,372
0,8	0,664	0,643	0,766	1,004	0,483	0,698
1,6	1,259	0,981	1,567	1,683	1,015	1,325
3,2	2,460	2,155	2,981	3,206	1,830	2,504
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb						
	D390	D391	D392	D393	D394	D395
c (Mpa)	0,116	0,093	0,020	0,229	0,065	0,086
tg(ϕ)	0,728	0,631	0,933	0,928	0,558	0,759
ϕ_{MC} (°)	36,1	32,2	43,0	42,9	29,2	37,2
Dilatância (-)						
σ_n (MPa)	D390	D391	D392	D393	D394	D395
0,4	0,128	0,092	0,221	0,225	0,136	0,146
0,8	0,135	0,105	0,213	0,227	0,117	0,148
1,6	0,126	0,054	0,204	0,217	0,104	0,122
3,2	0,117	0,094	0,180	0,213	0,102	0,109
Ângulo de dilatância						
σ_n (MPa)	D390	D391	D392	D393	D394	D395
0,4	7,3	5,3	12,5	12,7	7,7	8,3
0,8	7,7	6,0	12,0	12,8	6,7	8,4
1,6	7,2	3,1	11,5	12,2	5,9	7,0
3,2	6,7	5,4	10,2	12,0	5,8	6,2

Tabela 20 - Grupo Daivões.

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
0,4	0,413	0,494	0,427	0,354	0,324	0,543	0,374	0,498	0,503	0,493	0,530	0,408	0,602	0,415
0,8	0,756	0,608	0,663	0,688	0,579	0,795	0,774	0,748	0,899	0,773	0,936	0,668	0,921	0,709
1,6	1,402	0,806	1,256	1,289	1,006	1,383	1,444	1,417	1,591	1,432	1,704	1,155	1,584	1,088
3,2	2,462	1,103	2,342	2,394	1,993	2,013	2,711	2,861	2,989	2,632	3,060		2,850	1,635
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
c (Mpa)	0,168	0,431	0,137	0,096	0,086	0,399	0,087	0,099	0,172	0,180	0,209	0,164	0,284	0,330
tg(ϕ)	0,727	0,215	0,690	0,723	0,593	0,523	0,826	0,855	0,882	0,768	0,899	0,621	0,804	0,421
ϕ_{Mc} (°)	36,0	12,1	34,6	35,9	30,7	27,6	39,6	40,5	41,4	37,5	42,0	31,8	38,8	22,8
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
0,4	0,226	0,061	0,189	0,172	0,098	0,223	0,262	0,216	0,305	0,221	0,243	0,105	0,249	0,095
0,8	0,184	- 0,011	0,151	0,121	0,069	0,158	0,224	0,169	0,221	0,201	0,242	0,036	0,200	0,048
1,6	0,155	- 0,017	0,117	0,106	0,055	0,124	0,192	0,147	0,190	0,174	0,218	0,008	0,161	- 0,009
3,2	0,123	- 0,004	0,090	0,093	0,052	- 0,008	0,107	0,035	0,169	0,131	0,178		0,117	- 0,038
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
0,4	12,7	3,5	10,7	9,8	5,6	12,6	14,7	12,2	16,9	12,5	13,7	6,0	14,0	5,4
0,8	10,4	- 0,6	8,6	6,9	4,0	9,0	12,6	9,6	12,4	11,4	13,6	2,1	11,3	2,7
1,6	8,8	- 1,0	6,7	6,0	3,2	7,0	10,9	8,4	10,7	9,9	12,3	0,5	9,2	- 0,5
3,2	7,0	- 0,3	5,1	5,3	3,0	- 0,5	6,1	2,0	9,6	7,5	10,1	0,0	6,7	- 2,2

Tabela 21 - Continuação grupo Daivões.

Tensão Tangencial				
σ_n (MPa)	E622	E623	E624	E625
0,4	0,434	0,543	0,344	0,403
0,8	0,631	0,820	0,575	0,598
1,6	1,143	1,471	1,024	1,175
3,2	2,133	2,528	2,457	2,410
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb				
	E622	E623	E624	E625
c (Mpa)	0,165	0,273	- 0,041	0,053
tg(ϕ)	0,614	0,712	0,760	0,729
ϕ_{MC} (°)	31,5	35,4	37,2	36,1
Dilatância (-)				
σ_n (MPa)	E622	E623	E624	E625
0,4	0,152	0,293	0,119	0,171
0,8	0,138	0,275	0,103	0,170
1,6	0,123	0,253	0,091	0,161
3,2	0,114	0,209	0,065	0,144
Ângulo de dilatância				
σ_n (MPa)	E622	E623	E624	E625
0,4	8,7	16,3	6,8	9,7
0,8	7,9	15,4	5,9	9,6
1,6	7,0	14,2	5,2	9,1
3,2	6,5	11,8	3,7	8,2

Tabela 22 - Grupo Foz Tua (Granito).

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
0,4	0,394	0,276	0,295	0,390	0,500	0,543	0,486	0,298	0,646	0,474	0,407	0,384	0,350	0,510
0,8	0,685	0,538	0,722	0,815	1,129	1,034	0,743	0,469	0,871	0,783	0,783	0,689	0,740	0,884
1,6	1,216	0,785	1,106	1,417	1,869	1,751	1,327	1,068	1,721	1,723	1,347	1,270	1,342	1,480
3,2	2,283	1,637	2,445	2,814	2,811	3,182	2,584	2,178	3,113	3,240	2,545	2,442	2,712	2,911
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
c (Mpa)	0,137	0,098	0,021	0,078	0,395	0,237	0,153	- 0,025	0,237	0,051	0,141	0,096	0,034	0,169
tg(ϕ)	0,671	0,474	0,747	0,854	0,788	0,927	0,754	0,686	0,901	1,002	0,753	0,733	0,835	0,852
ϕ_{MC} (°)	33,9	25,4	36,8	40,5	38,2	42,8	37,0	34,4	42,0	45,1	37,0	36,3	39,9	40,4
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
0,4	0,196	0,022	0,202	0,284	0,440	0,264	0,215	0,193	0,354	0,302	0,095	0,238	0,235	0,300
0,8	0,177	0,023	0,193	0,242	0,390	0,268	0,200	0,145	0,298	0,272	0,107	0,212	0,183	0,250
1,6	0,118	- 0,043	0,166	0,182	0,330	0,245	0,183	0,175	0,252	0,236	0,072	0,182	0,165	0,195
3,2	0,093	- 0,017	0,135	0,163	0,147	0,221	0,155	0,149	0,252	0,219	0,106	0,150	0,156	0,185
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
0,4	11,1	1,2	11,4	15,9	23,7	14,8	12,1	10,9	19,5	16,8	5,5	13,4	13,2	16,7
0,8	10,0	1,3	10,9	13,6	21,3	15,0	11,3	8,2	16,6	15,2	6,1	12,0	10,4	14,0
1,6	6,7	- 2,5	9,4	10,3	18,2	13,8	10,4	9,9	14,2	13,3	4,1	10,3	9,4	11,0
3,2	5,3	- 1,0	7,7	9,3	8,3	12,5	8,8	8,5	14,1	12,3	6,1	8,5	8,8	10,5

Tabela 23 - Continuação grupo Foz Tua (Granito).

Tensão Tangencial											
σ_n (MPa)	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
0,4	0,324	0,457	0,356	0,317	0,380	0,368	0,343	0,389	0,586	0,440	0,462
0,8	0,628	0,670	0,712	0,612	0,678	0,559	0,576	0,671	0,985	0,801	0,828
1,6	1,154	1,454	1,453	1,179	1,344	1,060	1,013	1,196	1,814	1,495	1,453
3,2	2,285	2,816	2,928	2,348	2,774	1,947	1,780	1,716	3,138	2,738	2,595
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb											
	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
c (Mpa)	0,053	0,058	- 0,018	0,027	0,004	0,129	0,163	0,295	0,267	0,143	0,203
tg(ϕ)	0,697	0,861	0,920	0,724	0,860	0,569	0,510	0,465	0,909	0,817	0,754
ϕ_{MC} (°)	34,9	40,7	42,6	35,9	40,7	29,7	27,0	24,9	42,3	39,3	37,0
Dilatância (-)											
σ_n (MPa)	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
0,4	0,135	0,230	0,250	0,126	0,195	0,083	0,156	0,258	0,298	0,248	0,225
0,8	0,129	0,160	0,189	0,103	0,156	0,191	0,131	0,231	0,313	0,213	0,191
1,6	0,103	0,150	0,188	0,075	0,152	0,153	0,084	0,124	0,283	0,196	0,173
3,2	0,053	0,153	0,161	0,051	0,135	0,113	- 0,016	- 0,354	0,192	0,176	0,096
Ângulo de dilatância											
σ_n (MPa)	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
0,4	7,7	13,0	14,0	7,2	11,0	4,7	8,9	14,4	16,6	13,9	12,7
0,8	7,4	9,1	10,7	5,9	8,9	10,8	7,4	13,0	17,4	12,1	10,8
1,6	5,9	8,5	10,7	4,3	8,6	8,7	4,8	7,1	15,8	11,1	9,8
3,2	3,1	8,7	9,2	2,9	7,7	6,5	- 0,9	- 19,5	10,8	10,0	5,5

Tabela 24 - Grupo Foz Tua (Metagrauvaque).

Tensão Tangencial			
σ_n (MPa)	F113	F114	F115
0,4	0,425	0,336	0,321
0,8	0,589	0,421	0,532
1,6	1,170	1,074	1,321
3,2	2,088	1,986	2,462
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb			
	F113	F114	F115
c (Mpa)	0,159	0,035	- 0,013
tg(ϕ)	0,606	0,613	0,781
ϕ_{MC} (°)	31,2	31,5	38,0
Dilatância (-)			
σ_n (MPa)	F113	F114	F115
0,4	0,169	0,072	0,198
0,8	0,092	0,007	0,193
1,6	0,119	0,062	0,177
3,2	0,027	0,030	0,117
Ângulo de dilatância			
σ_n (MPa)	F113	F114	F115
0,4	9,6	4,1	11,2
0,8	5,2	0,4	10,9
1,6	6,8	3,6	10,0
3,2	1,6	1,7	6,6

Tabela 25 - Grupo Fridão (Jusante).

Tensão Tangencial											
σ_n (MPa)	G51	G52	G53	G54	G55	G56	G57	G58	G59	G60	G61
0,4	0,548	0,334	0,349	0,494	0,388	0,514	0,435	0,270	0,463	0,379	0,241
0,8	0,874	0,666	0,696	0,802	0,620	0,770	0,736	0,475	0,804	0,628	0,717
1,6	1,262	1,322	1,172	1,305	1,094	1,521	1,383	0,873	1,490	1,143	1,256
3,2	2,251	2,172	2,491	2,459	1,989	2,646	2,163	1,626	2,644	2,156	2,365
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb											
	G51	G52	G53	G54	G55	G56	G57	G58	G59	G60	G61
c (Mpa)	0,340	0,148	0,042	0,219	0,165	0,206	0,259	0,086	0,186	0,123	0,043
tg(ϕ)	0,595	0,650	0,757	0,697	0,572	0,771	0,614	0,483	0,776	0,635	0,734
ϕ_{MC} (°)	30,8	33,0	37,1	34,9	29,8	37,6	31,5	25,8	37,8	32,4	36,3
Dilatância (-)											
σ_n (MPa)	G51	G52	G53	G54	G55	G56	G57	G58	G59	G60	G61
0,4	0,145	0,203	0,306	0,210	0,141	0,239	0,139	- 0,014	0,241	0,070	0,177
0,8	0,125	0,160	0,278	0,220	0,157	0,190	0,114	- 0,008	0,188	0,041	0,143
1,6	0,045	0,143	0,271	0,159	0,143	0,182	0,110	- 0,002	0,176	0,052	0,065
3,2	- 0,007	0,113	0,251	0,147	0,127	0,171	0,107	- 0,017	0,066	0,039	0,052
Ângulo de dilatância											
σ_n (MPa)	G51	G52	G53	G54	G55	G56	G57	G58	G59	G60	G61
0,4	8,3	11,5	17,0	11,9	8,0	13,4	7,9	- 0,8	13,5	4,0	10,0
0,8	7,1	9,1	15,5	12,4	8,9	10,8	6,5	- 0,5	10,6	2,3	8,1
1,6	2,6	8,1	15,2	9,0	8,1	10,3	6,3	- 0,1	10,0	3,0	3,7
3,2	- 0,4	6,4	14,1	8,4	7,2	9,7	6,1	- 1,0	3,8	2,2	3,0

Tabela 26 - Grupo Fridão (Montante).

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75
0,4	0,322	0,367	0,355	0,396	0,580	0,338	0,469	0,393	0,383	0,410	0,339	0,353	0,392	0,358
0,8	0,711	0,626	0,665	0,764	0,985	0,478	0,688	0,630	0,667	0,713	0,435	0,562	0,838	0,650
1,6	1,275	1,103	1,025	1,207	1,706	0,889	1,089	1,205	1,196	1,268	0,767	1,144	1,567	1,110
3,2	2,299	1,783	1,932	2,364	2,928	1,524	1,984	2,185	2,058	1,825	1,652	2,192	2,660	2,193
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75
c (Mpa)	0,113	0,220	0,169	0,150	0,304	0,164	0,247	0,137	0,186	0,311	0,078	0,066	0,171	0,103
tg(ϕ)	0,692	0,500	0,550	0,689	0,831	0,429	0,540	0,644	0,593	0,495	0,480	0,665	0,796	0,650
ϕ_{MC} (°)	34,7	26,6	28,8	34,6	39,7	23,2	28,4	32,8	30,7	26,3	25,6	33,6	38,5	33,0
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75
0,4	0,151	0,120	0,160	0,218	0,304	0,110	0,168	0,166	0,198	0,190	0,080	0,147	0,241	0,133
0,8	0,152	0,094	0,148	0,193	0,280	0,045	0,125	0,163	0,164	0,196	0,072	0,148	0,207	0,101
1,6	0,135	0,091	0,129	0,141	0,232	0,016	0,069	0,153	0,138	0,159	0,076	0,142	0,197	0,079
3,2	0,117	0,064	0,113	0,112	0,203	-0,024	0,037	0,120	0,108	0,083	0,049	0,129	0,167	0,075
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75
0,4	8,6	6,9	9,1	12,3	16,9	6,3	9,5	9,4	11,2	10,7	4,6	8,4	13,5	7,6
0,8	8,7	5,4	8,4	10,9	15,6	2,6	7,1	9,3	9,3	11,1	4,1	8,4	11,7	5,8
1,6	7,7	5,2	7,4	8,0	13,1	0,9	3,9	8,7	7,9	9,0	4,4	8,1	11,1	4,5
3,2	6,7	3,7	6,4	6,4	11,5	-1,4	2,1	6,8	6,1	4,7	2,8	7,4	9,5	4,3

Tabela 27 - Continuação grupo Fridão (Montante).

Tensão Tangencial	
σ_n (MPa)	H76
0,4	0,461
0,8	0,773
1,6	1,181
3,2	2,361
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb	
	H76
c (Mpa)	0,188
tg(ϕ)	0,670
ϕ_{MC} (°)	33,8
Dilatância (-)	
σ_n (MPa)	H76
0,4	0,214
0,8	0,181
1,6	0,141
3,2	0,107
Ângulo de dilatância	
σ_n (MPa)	H76
0,4	12,1
0,8	10,2
1,6	8,0
3,2	6,1

Tabela 28 - Grupo Gouvães (Barragem).

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
0,4	0,320	0,354	0,233	0,304	0,363	0,347	0,191	0,377	0,434	0,363	0,192	0,347	0,381	0,367
0,8		0,638	0,359	0,642	0,573	0,514	0,397	0,592	0,624	0,646	0,345	0,634	0,632	0,727
1,6	1,483	1,115	0,976	1,138	1,188	0,754	1,001	1,163	0,959	1,035	0,768	1,323	1,046	1,175
3,2	2,268	2,431	2,125	2,580	2,342	1,456	1,954	2,636	2,118	2,500	1,503	2,299	2,149	1,978
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
c (Mpa)	0,170	0,023	- 0,121	- 0,045	0,041	0,178	- 0,071	- 0,036	0,126	- 0,006	- 0,009	0,102	0,107	0,225
tg(ϕ)	0,685	0,741	0,696	0,808	0,717	0,393	0,638	0,819	0,605	0,761	0,474	0,699	0,630	0,558
ϕ_{MC} (°)	34,4	36,5	34,8	38,9	35,6	21,5	32,5	39,3	31,2	37,3	25,4	35,0	32,2	29,2
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
0,4	0,195	0,159	0,031	0,084	0,122	0,020	0,040	0,176	0,140	0,150	0,111	0,219	0,199	0,182
0,8		0,143	0,019	0,066	0,070	0,020	0,025	0,176	0,116	0,152	0,107	0,199	0,165	0,171
1,6	0,158	0,144	0,010	0,060	0,059	- 0,046	0,025	0,172	0,117	0,141	0,086	0,185	0,129	0,153
3,2	0,133	0,133	0,003	0,066	0,049	- 0,164	0,016	0,140	0,058	0,119	0,072	0,132	0,095	0,131
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
0,4	11,0	9,0	1,8	4,8	7,0	1,1	2,3	10,0	8,0	8,5	6,3	12,4	11,3	10,3
0,8		8,1	1,1	3,8	4,0	1,1	1,4	10,0	6,6	8,6	6,1	11,3	9,4	9,7
1,6	9,0	8,2	0,6	3,4	3,4	- 2,6	1,4	9,8	6,7	8,0	4,9	10,5	7,4	8,7
3,2	7,6	7,6	0,2	3,8	2,8	- 9,3	0,9	8,0	3,3	6,8	4,1	7,5	5,4	7,5

Tabela 29 - Continuação grupo Gouvães (Barragem).

Tensão Tangencial				
σ_n (MPa)	I268	I269	I270	I271
0,4	0,353	0,361	0,568	0,281
0,8	0,615	0,498	0,813	0,544
1,6	1,187	1,109	1,659	0,902
3,2		2,026	2,549	1,640
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb				
	I268	I269	I270	I271
c (Mpa)	0,067	0,082	0,319	0,128
tg(ϕ)	0,697	0,611	0,719	0,476
ϕ_{MC} (°)	34,9	31,4	35,7	25,4
Dilatância (-)				
σ_n (MPa)	I268	I269	I270	I271
0,4	0,231	0,309	0,252	0,139
0,8	0,212	0,110	0,212	0,106
1,6	0,205	0,094	0,184	0,071
3,2		0,081	0,066	0,062
Ângulo de dilatância				
σ_n (MPa)	I268	I269	I270	I271
0,4	13,0	17,2	14,1	7,9
0,8	12,0	6,3	12,0	6,1
1,6	11,6	5,4	10,4	4,1
3,2		4,6	3,8	3,5

Tabela 30 - Grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	J626	J627	J628	J629	J630	J631	J632	J633	J634	J635	J636	J637	J638	J639
0,4	0,287	0,329	0,435	0,575	0,378	0,274	0,369	0,151	0,339	0,292	0,390	0,422	0,268	0,228
0,8	0,451	0,532	0,622	0,755	0,560	0,463	0,515	0,321	0,565	0,707	0,617	0,628	0,465	0,400
1,6	0,851	1,006	1,061	1,176	0,990	0,748	0,911	0,595	1,064	1,161	1,304	1,272	0,861	0,668
3,2	1,575	1,716	1,864	2,092	2,269	1,441	1,748	1,114	1,949	2,160	2,265	2,202	1,726	1,379
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	J626	J627	J628	J629	J630	J631	J632	J633	J634	J635	J636	J637	J638	J639
c (Mpa)	0,096	0,151	0,226	0,330	0,022	0,112	0,137	0,036	0,114	0,111	0,127	0,163	0,048	0,056
tg(ϕ)	0,463	0,496	0,513	0,546	0,685	0,413	0,499	0,340	0,576	0,646	0,678	0,645	0,522	0,409
ϕ_{MC} (°)	24,9	26,4	27,2	28,6	34,4	22,4	26,5	18,8	30,0	32,9	34,1	32,8	27,5	22,2
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	J626	J627	J628	J629	J630	J631	J632	J633	J634	J635	J636	J637	J638	J639
0,4	0,139	0,155	0,219	0,158	0,159	0,174	0,153	0,022	0,191	0,155	0,209	0,193	0,150	0,047
0,8	0,019	0,141	0,182	0,174	0,143	0,114	0,147	0,009	0,191	0,180	0,167	0,186	0,122	0,037
1,6	0,047	0,086	0,132	0,132	0,116	0,088	0,131	0,006	0,166	0,152	0,139	0,125	0,104	- 0,004
3,2	0,041	0,105	0,096	0,096	0,092	0,055	0,105	0,002	0,118	0,141	0,110	0,101	0,091	- 0,010
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	J626	J627	J628	J629	J630	J631	J632	J633	J634	J635	J636	J637	J638	J639
0,4	7,9	8,8	12,4	9,0	9,0	9,8	8,7	1,3	10,8	8,8	11,8	10,9	8,5	2,7
0,8	1,1	8,0	10,3	9,9	8,1	6,5	8,4	0,5	10,8	10,2	9,5	10,6	6,9	2,1
1,6	2,7	4,9	7,5	7,5	6,6	5,0	7,5	0,4	9,4	8,7	7,9	7,1	5,9	- 0,2
3,2	2,3	6,0	5,5	5,5	5,3	3,2	6,0	0,1	6,7	8,0	6,3	5,8	5,2	- 0,6

Tabela 31 - Continuação grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

Tensão Tangencial						
σ_n (MPa)	J640	J641	J642	J643	J644	J645
0,4	0,224	0,273	0,211	0,432	0,430	0,288
0,8	0,369	0,363	0,355	0,632	0,622	0,467
1,6	0,685	0,772	0,802	1,150	1,262	0,846
3,2	1,297	1,438	1,538	1,923	2,236	1,470
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb						
	J640	J641	J642	J643	J644	J645
c (Mpa)	0,067	0,070	0,005	0,230	0,153	0,135
tg(ϕ)	0,384	0,428	0,481	0,536	0,656	0,422
ϕ_{MC} (°)	21,0	23,2	25,7	28,2	33,3	22,9
Dilatância (-)						
σ_n (MPa)	J640	J641	J642	J643	J644	J645
0,4	0,021	0,097	0,106	0,208	0,229	0,133
0,8	0,016	0,031	0,072	0,185	0,190	0,113
1,6	0,003	0,047	0,004	0,141	0,156	0,088
3,2	- 0,015	0,028	0,058	0,087	0,116	0,044
Ângulo de dilatância						
σ_n (MPa)	J640	J641	J642	J643	J644	J645
0,4	1,2	5,6	6,1	11,7	12,9	7,6
0,8	0,9	1,7	4,1	10,5	10,7	6,5
1,6	0,2	2,7	0,2	8,0	8,9	5,0
3,2	- 0,8	1,6	3,3	5,0	6,6	2,5

Tabela 32 - Grupo Paradela.

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
0,4	0,482	0,383	0,353	0,428	0,343	0,627	0,322	0,459	0,412	0,372	0,316	0,364	0,337	0,275
0,8	0,910	0,668	0,834	0,553	0,586	1,069	0,669	0,666	0,646	0,689	0,690	0,626	0,564	0,454
1,6	1,433	1,202	1,439	0,993	1,073	1,839	1,196	1,237	1,298	1,358	1,286	1,288	1,071	0,883
3,2	2,569	2,171	2,644	1,999	1,982	3,253	2,175	2,134	2,298	2,548	2,427	2,453	2,035	1,862
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
c (Mpa)	0,258	0,153	0,122	0,132	0,119	0,303	0,114	0,218	0,143	0,076	0,063	0,054	0,088	0,010
tg(ϕ)	0,727	0,635	0,797	0,574	0,585	0,930	0,651	0,604	0,681	0,777	0,744	0,752	0,609	0,573
ϕ_{MC} (°)	36,0	32,4	38,6	29,8	30,3	42,9	33,1	31,1	34,2	37,9	36,7	37,0	31,3	29,8
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
0,4	0,195	0,133	0,196	0,114	0,102	0,317	0,049	0,196	0,228	0,103	0,184	0,194	0,078	0,063
0,8	0,133	0,109	0,228	0,096	0,070	0,314	0,035	0,114	0,195	0,102	0,168	0,166	0,067	0,050
1,6	0,092	0,102	0,152	0,035	0,050	0,293	0,018	0,171	0,169	0,082	0,142	0,140	0,058	0,036
3,2	0,052	0,078	0,096	0,013	0,032	0,259	- 0,025	0,118	0,142	0,063	0,123	0,108	0,051	0,005
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
0,4	11,0	7,6	11,1	6,5	5,8	17,6	2,8	11,1	12,8	5,9	10,4	11,0	4,5	3,6
0,8	7,6	6,2	12,9	5,5	4,0	17,4	2,0	6,5	11,0	5,8	9,5	9,4	3,9	2,9
1,6	5,3	5,8	8,6	2,0	2,9	16,3	1,0	9,7	9,6	4,7	8,1	8,0	3,3	2,0
3,2	3,0	4,4	5,5	0,7	1,8	14,5	- 1,5	6,7	8,1	3,6	7,0	6,2	2,9	0,3

Tabela 33 - Continuação grupo Paradela.

Tensão Tangencial												
σ_n (MPa)	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
0,4	0,346	0,453	0,231	0,314	0,354	0,352	0,337	0,535	0,271	0,433	0,489	0,304
0,8	0,656	0,691	0,659	0,564	0,659	0,678	0,577	0,859	0,535	0,810	0,897	0,626
1,6	1,115	1,266	1,134	1,071	1,213	1,205	1,179	1,479	1,042	1,407	1,635	1,072
3,2	2,338	2,623	2,232	2,035	2,407	2,152	2,056	2,874	1,826	2,867	3,009	2,260
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb												
	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
c (Mpa)	0,055	0,083	0,023	0,074	0,062	0,145	0,112	0,183	0,092	0,085	0,166	0,030
tg(ϕ)	0,706	0,783	0,694	0,614	0,731	0,634	0,617	0,836	0,551	0,863	0,894	0,690
ϕ_{MC} (°)	35,2	38,1	34,8	31,6	36,2	32,4	31,7	39,9	28,9	40,8	41,8	34,6
Dilatância (-)												
σ_n (MPa)	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
0,4	0,120	0,109	0,120	0,070	0,088	0,119	0,128	0,233	0,067	0,143	0,210	0,090
0,8	0,106	0,106	0,069	0,065	0,077	0,107	0,058	0,185	0,042	0,125	0,227	0,090
1,6	0,093	0,082	0,071	0,056	0,080	0,091	0,125	0,151	0,031	0,096	0,186	0,063
3,2	0,079	0,072	0,069	0,044	0,066	0,069	0,068	0,109	-0,001	0,080	0,204	0,073
Ângulo de dilatância												
σ_n (MPa)	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
0,4	6,8	6,2	6,8	4,0	5,0	6,8	7,3	13,1	3,8	8,2	11,9	5,1
0,8	6,1	6,0	3,9	3,7	4,4	6,1	3,3	10,5	2,4	7,1	12,8	5,1
1,6	5,3	4,7	4,1	3,2	4,6	5,2	7,1	8,6	1,8	5,5	10,5	3,6
3,2	4,5	4,1	3,9	2,5	3,8	4,0	3,9	6,2	0,0	4,6	11,5	4,2

Tabela 34 - Grupo Baixo Sabor.

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
0,4	0,383	0,507	0,438	0,392	0,440	0,541	0,395	0,485	0,360	0,422	0,328	0,384	0,469	0,420
0,8	0,659	0,781	0,800	0,752	0,786	0,966	0,752	0,784	0,674	0,767	0,604	0,669	0,673	0,731
1,6	1,194	1,381	1,522	1,463	1,504	1,793	1,465	1,480	1,284	1,456	1,133	1,175	1,421	1,336
3,2	2,423	2,725	2,885	2,810	2,882	3,361	2,837	2,833	2,582	2,809	2,129	2,275	2,599	2,590
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
c (Mpa)	0,071	0,153	0,102	0,061	0,093	0,158	0,055	0,130	0,035	0,085	0,087	0,117	0,125	0,108
tg(ϕ)	0,730	0,797	0,873	0,862	0,873	1,005	0,872	0,844	0,794	0,852	0,641	0,673	0,777	0,774
ϕ_{MC} (°)	36,1	38,6	41,1	40,8	41,1	45,1	41,1	40,2	38,4	40,4	32,7	33,9	37,8	37,8
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
0,4	0,133	0,151	0,185	0,191	0,208	0,326	0,160	0,167	0,153	0,221	0,078	0,153	0,195	0,165
0,8	0,138	0,171	0,158	0,163	0,192	0,265	0,166	0,188	0,139	0,221	0,053	0,123	0,087	0,141
1,6	0,104	0,160	0,141	0,146	0,190	0,253	0,140	0,170	0,112	0,195	0,071	0,091	0,102	0,121
3,2	0,092	0,167	0,125	0,118	0,186	0,256	0,115	0,147	0,104	0,160	0,054	0,083	0,102	0,113
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
0,4	7,6	8,6	10,5	10,8	11,8	18,0	9,1	9,5	8,7	12,4	4,5	8,7	11,0	9,4
0,8	7,8	9,7	9,0	9,3	10,9	14,8	9,4	10,6	7,9	12,4	3,1	7,0	5,0	8,0
1,6	6,0	9,1	8,0	8,3	10,8	14,2	7,9	9,7	6,4	11,0	4,1	5,2	5,8	6,9
3,2	5,3	9,5	7,1	6,7	10,6	14,3	6,5	8,4	6,0	9,1	3,1	4,8	5,8	6,4

Tabela 35 - Continuação grupo Baixo Sabor.

Tensão Tangencial												
σ_n (MPa)	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34
0,4	0,350	0,413	0,406	0,606	0,293	0,451	0,452	0,417	0,422	0,329	0,438	0,412
0,8	0,606	0,713	0,678	0,965	0,597	0,814	0,741	0,793	0,823	0,646	0,825	0,736
1,6	1,104	1,278	1,242	1,694	1,080	1,553	1,347	1,435	1,527	1,288	1,465	1,275
3,2	2,152	2,399	2,335	3,146	2,144	2,975	2,616	2,794	2,633	2,379	2,725	2,325
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb												
	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34
c (Mpa)	0,088	0,140	0,131	0,241	0,046	0,096	0,126	0,095	0,181	0,065	0,150	0,173
tg(ϕ)	0,643	0,707	0,690	0,908	0,655	0,901	0,775	0,843	0,780	0,730	0,809	0,676
ϕ_{MC} (°)	32,7	35,3	34,6	42,2	33,2	42,0	37,8	40,1	38,0	36,1	39,0	34,1
Dilatância (-)												
σ_n (MPa)	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34
0,4	0,097	0,076	0,155	0,225	0,107	0,114	0,276	0,190	0,221	0,102	0,191	0,159
0,8	0,081	0,169	0,134	0,178	0,084	0,156	0,179	0,188	0,203	0,086	0,164	0,118
1,6	0,054	0,118	0,094	0,180	0,056	0,158	0,165	0,158	0,191	0,074	0,149	0,089
3,2	0,049	0,094	0,092	0,133	0,049	0,163	0,126	0,134	0,139	0,063	0,151	0,072
Ângulo de dilatância												
σ_n (MPa)	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34
0,4	5,5	4,3	8,8	12,7	6,1	6,5	15,4	10,8	12,5	5,8	10,8	9,1
0,8	4,7	9,6	7,7	10,1	4,8	8,9	10,2	10,6	11,5	4,9	9,3	6,7
1,6	3,1	6,7	5,4	10,2	3,2	9,0	9,4	9,0	10,8	4,2	8,5	5,1
3,2	2,8	5,4	5,3	7,6	2,8	9,2	7,2	7,7	7,9	3,6	8,6	4,1

Tabela 36 - Continuação grupo Baixo Sabor.

Tensão Tangencial					
σ_n (MPa)	M35	M36	M37	M39	M40
0,4	0,420	0,367	0,352	0,343	0,519
0,8	0,712	0,681	0,636	0,655	0,814
1,6	1,356	1,245	1,311	1,259	1,444
3,2	2,548	2,387	2,540	2,424	2,732
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb					
	M35	M36	M37	M39	M40
c (Mpa)	0,115	0,093	0,030	0,059	0,187
tg(ϕ)	0,762	0,718	0,786	0,741	0,793
ϕ_{MC} (°)	37,3	35,7	38,2	36,6	38,4
Dilatância (-)					
σ_n (MPa)	M35	M36	M37	M39	M40
0,4	0,175	0,196	0,154	0,145	0,226
0,8	0,133	0,190	0,131	0,129	0,201
1,6	0,110	0,129	0,115	0,113	0,114
3,2	0,092	0,104	0,095	0,090	0,120
Ângulo de dilatância					
σ_n (MPa)	M35	M36	M37	M39	M40
0,4	9,9	11,1	8,8	8,3	12,7
0,8	7,6	10,8	7,4	7,3	11,3
1,6	6,3	7,4	6,6	6,4	6,5
3,2	5,3	5,9	5,4	5,1	6,8

Tabela 37 - Grupo Bem Posta.

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
0,4	0,505	0,348	0,403	0,276	0,316	0,379	0,272	0,351	0,351	0,337	0,328	0,376	0,261	0,311
0,8	0,777	0,682	0,693	0,554	0,616	0,674	0,581	0,463	0,666	0,882	0,616	0,633	0,478	0,523
1,6	1,498	1,180	1,229	1,065	1,050	0,988	0,816	1,050	1,355	1,321	1,091	1,016	0,994	0,868
3,2	2,663	2,238	2,316	1,639	1,963	2,213	1,917	2,211	2,466	2,277	2,140	1,833	1,865	2,003
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
c (Mpa)	0,194	0,113	0,139	0,165	0,118	0,094	0,037	- 0,010	0,076	0,222	0,080	0,194	0,036	0,018
tg(ϕ)	0,778	0,666	0,681	0,479	0,579	0,646	0,573	0,686	0,756	0,655	0,642	0,513	0,576	0,605
ϕ_{MC} (°)	37,9	33,7	34,3	25,6	30,1	32,9	29,8	34,4	37,1	33,2	32,7	27,2	29,9	31,2
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
0,4	0,396	0,273	0,262	0,182	0,251	0,492	0,095	0,530	0,207	0,233	0,096	0,264	0,328	0,103
0,8	0,358	0,265	0,227	0,173	0,257	0,137	0,089	0,170	0,120	0,184	0,148	0,213	0,142	0,091
1,6	0,190	0,236	0,316	0,149	0,170	0,089	0,068	0,174	0,101	0,164	0,115	0,168	0,124	0,070
3,2	0,222	0,146	0,122	0,104	0,177	0,038	0,069	0,134	0,093	0,078	0,105	0,117	0,133	0,071
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
0,4	21,6	15,3	14,7	10,3	14,1	26,2	5,5	27,9	11,7	13,1	5,5	14,8	18,1	5,9
0,8	19,7	14,8	12,8	9,8	14,4	7,8	5,1	9,6	6,9	10,4	8,4	12,0	8,1	5,2
1,6	10,8	13,3	17,5	8,5	9,6	5,1	3,9	9,8	5,8	9,3	6,6	9,5	7,1	4,0
3,2	12,5	8,3	6,9	6,0	10,1	2,2	4,0	7,7	5,3	4,5	6,0	6,7	7,6	4,1

Tabela 38 - Continuação grupo Bem Posta.

Tensão Tangencial				
σ_n (MPa)	N15	N16	N17	N18
0,4	0,320	0,425	0,393	0,268
0,8	0,546	0,778	0,757	0,445
1,6	1,026	1,439	1,429	1,009
3,2	1,887	2,834	2,493	1,883
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb				
	N15	N16	N17	N18
c (Mpa)	0,105	0,081	0,153	0,022
tg(ϕ)	0,560	0,858	0,743	0,586
ϕ_{MC} (°)	29,2	40,6	36,6	30,4
Dilatância (-)				
σ_n (MPa)	N15	N16	N17	N18
0,4	0,206	0,327	0,323	0,047
0,8	0,170	0,235	0,268	0,044
1,6	0,151	0,181	0,195	0,041
3,2	0,135	0,171	0,059	0,029
Ângulo de dilatância				
σ_n (MPa)	N15	N16	N17	N18
0,4	11,6	18,1	17,9	2,7
0,8	9,7	13,2	15,0	2,5
1,6	8,6	10,2	11,0	2,4
3,2	7,7	9,7	3,4	1,6

Tabela 39 - Grupo Feiticeiro.

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
0,4	0,230	0,280	0,248	0,292	0,164	0,387	0,192	0,126	0,193	0,209	0,167	0,204	0,155	0,225
0,8	0,354	0,485	0,453	0,348	0,279	0,585	0,301	0,261	0,293	0,284	0,340	0,360	0,300	0,333
1,6	0,702	0,868	0,789	0,708	0,534	1,170	0,571	0,526	0,606	0,658	0,638	0,670	0,619	0,644
3,2	1,298	1,652	1,434	1,344	1,074	2,196	1,091	1,042	1,076	1,310	1,297	1,325	1,159	1,212
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
c (Mpa)	0,066	0,089	0,103	0,089	0,022	0,102	0,053	- 0,001	0,062	0,008	0,008	0,038	0,020	0,067
tg(ϕ)	0,618	0,782	0,670	0,623	0,523	1,049	0,518	0,523	0,513	0,648	0,642	0,641	0,575	0,572
ϕ_{MC} (°)	31,7	38,0	33,8	31,9	27,6	46,4	27,4	27,6	27,1	33,0	32,7	32,7	29,9	29,8
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
0,4	0,135	0,210	0,111	0,119	0,013	0,254	0,074	0,002	0,019	0,074	0,055	0,076	0,098	0,000
0,8	0,138	0,200	0,116	0,081	0,009	0,272	0,070	- 0,004	- 0,005	0,063	0,055	0,074	0,081	0,050
1,6	0,126	0,177	0,107	0,081	0,007	0,279	0,047	- 0,005	- 0,018	0,066	0,050	0,068	0,062	0,050
3,2	0,113	0,148	0,065	0,079	0,005	0,263	0,021	- 0,008	- 0,018	0,064	0,048	0,057	0,061	0,046
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
0,4	7,7	11,9	6,4	6,8	0,7	14,3	4,2	0,1	1,1	4,2	3,1	4,3	5,6	0,0
0,8	7,8	11,3	6,6	4,7	0,5	15,2	4,0	- 0,2	- 0,3	3,6	3,1	4,3	4,6	2,9
1,6	7,2	10,1	6,1	4,6	0,4	15,6	2,7	- 0,3	- 1,0	3,8	2,9	3,9	3,6	2,9
3,2	6,4	8,4	3,7	4,5	0,3	14,7	1,2	- 0,4	- 1,0	3,6	2,8	3,3	3,5	2,6

Tabela 40 - Continuação grupo Feiticeiro.

Tensão Tangencial			
σ_n (MPa)	O60	O61	O62
0,4	0,277	0,170	0,274
0,8	0,498	0,329	0,495
1,6	0,868	0,661	0,913
3,2	1,691	1,356	1,706
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb			
	O60	O61	O62
c (Mpa)	0,081	- 0,008	0,082
tg(ϕ)	0,803	0,679	0,815
ϕ_{MC} (°)	38,8	34,2	39,2
Dilatância (-)			
σ_n (MPa)	O60	O61	O62
0,4	0,160	0,051	0,199
0,8	0,159	0,047	0,181
1,6	0,124	0,047	0,149
3,2	0,109	0,043	0,127
Ângulo de dilatância			
σ_n (MPa)	O60	O61	O62
0,4	9,1	2,9	11,3
0,8	9,0	2,7	10,3
1,6	7,1	2,7	8,5
3,2	6,2	2,4	7,2

Tabela 41 - Grupo Picote.

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
0,4	0,560	0,353	0,465	0,475	0,607	0,568	0,529	0,480	0,537	0,478	0,481	0,492	0,444	0,304
0,8	0,836	0,710	0,775	0,785	0,980	0,908	0,859	0,640	0,797	0,801	0,894	0,729	0,739	0,614
1,6	1,588	1,384	1,454	1,396	1,804	1,709	1,734	1,363	1,617	1,504	1,475	1,320	1,367	1,211
3,2	3,142	2,337	2,924	2,789	3,402	3,731	2,640	3,139	2,632	2,323	3,068	2,839	2,446	2,398
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
c (Mpa)	0,130	0,144	0,080	0,120	0,195	0,016	0,306	- 0,061	0,259	0,294	0,107	0,071	0,176	0,012
tg(ϕ)	0,748	0,561	0,706	0,662	0,802	0,914	0,605	0,782	0,607	0,524	0,732	0,679	0,572	0,597
ϕ_{MC} (°)	36,8	29,3	35,2	33,5	38,7	42,4	31,2	38,0	31,2	27,7	36,2	34,2	29,8	30,8
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
0,4	0,182	0,175	0,158	0,169	0,171	0,196	0,125	0,154	0,184	0,157	0,215	0,196	0,154	0,142
0,8	0,212	0,117	0,155	0,120	0,120	0,168	0,159	0,110	0,098	0,126	0,216	0,272	0,133	0,106
1,6	0,154	0,052	0,092	0,051	0,122	0,126	0,095	0,107	0,118	0,061	0,173	0,288	0,082	0,087
3,2	0,007	- 0,005	0,064	0,043	0,092	0,119	0,068	0,021	0,072	0,010	0,137	0,091	0,026	0,056
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
0,4	10,3	10,0	9,0	9,6	9,7	11,1	7,1	8,7	10,4	8,9	12,1	11,1	8,7	8,1
0,8	12,0	6,7	8,8	6,8	6,9	9,5	9,0	6,3	5,6	7,2	12,2	15,2	7,6	6,0
1,6	8,7	3,0	5,2	2,9	6,9	7,2	5,4	6,1	6,7	3,5	9,8	16,1	4,7	5,0
3,2	0,4	- 0,3	3,7	2,5	5,3	6,8	3,9	1,2	4,1	0,6	7,8	5,2	1,5	3,2

Tabela 42 - Continuação grupo Picote.

Tensão Tangencial			
σ_n (MPa)	P12B	P13	P14
0,4	0,420	0,407	0,527
0,8	0,737	0,707	1,012
1,6	1,500	1,343	1,853
3,2	2,885	2,323	3,098
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb			
	P12B	P13	P14
c (Mpa)	0,056	0,171	0,265
tg(ϕ)	0,709	0,546	0,724
ϕ_{MC} (°)	35,3	28,6	35,9
Dilatância (-)			
σ_n (MPa)	P12B	P13	P14
0,4	0,199	0,206	0,244
0,8	0,180	0,136	0,225
1,6	0,133	0,102	0,169
3,2	0,105	0,052	0,097
Ângulo de dilatância			
σ_n (MPa)	P12B	P13	P14
0,4	11,3	11,6	13,7
0,8	10,2	7,7	12,7
1,6	7,6	5,8	9,6
3,2	6,0	3,0	5,5

Tabela 43 - Grupo Salamonde.

Tensão Tangencial														
σ_n (MPa)	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
0,4	0,331	0,462	0,333	0,412	0,284	0,387	0,327	0,531	0,346	0,372	0,281	0,403	0,385	0,493
0,8	0,609	0,890	0,752	0,615	0,523	0,530	0,545	0,661	0,614	0,663	0,457	0,696	0,749	0,781
1,6	0,865	1,334	1,239	1,129	0,992	1,130	0,973	1,225	1,116	1,328	0,997	1,241	1,216	1,544
3,2	1,807	2,585	2,292	2,181	1,248	1,947	1,953	1,881	2,467	1,610	1,873	2,409	2,320	2,906
Parâmetros do critério de Mohr - Coulomb														
	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
c (Mpa)	0,131	0,211	0,134	0,126	0,259	0,142	0,077	0,333	- 0,004	0,343	0,036	0,115	0,150	0,125
tg(ϕ)	0,515	0,738	0,680	0,638	0,335	0,571	0,582	0,494	0,760	0,434	0,577	0,715	0,678	0,871
ϕ_{MC} (°)	27,2	36,4	34,2	32,6	18,5	29,7	30,2	26,3	37,2	23,4	30,0	35,6	34,1	41,1
Dilatância (-)														
σ_n (MPa)	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
0,4	0,066	0,251	0,085	0,079	0,049	0,116	0,063	0,128	0,166	0,165	0,073	0,142	0,203	0,241
0,8	- 0,038	0,210	0,083	0,078	0,059	0,067	0,048	0,128	0,156	0,139	0,049	0,119	0,192	0,197
1,6	- 0,100	0,197	0,065	0,054	0,038	0,037	0,004	0,111	0,106	0,105	0,035	0,108	0,157	0,179
3,2	- 0,012	0,096	0,056	0,035	0,017	0,005	- 0,095	- 0,028	0,077	0,040	- 0,125	0,056	0,089	0,160
Ângulo de dilatância														
σ_n (MPa)	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
0,4	3,8	14,1	4,8	4,5	2,8	6,6	3,6	7,3	9,4	9,4	4,2	8,1	11,5	13,5
0,8	- 2,2	11,8	4,7	4,5	3,4	3,8	2,8	7,3	8,9	7,9	2,8	6,8	10,9	11,1
1,6	- 5,7	11,2	3,7	3,1	2,2	2,1	0,2	6,3	6,0	6,0	2,0	6,2	8,9	10,2
3,2	- 0,7	5,5	3,2	2,0	0,9	0,3	- 5,4	- 1,6	4,4	2,3	- 7,1	3,2	5,1	9,1

B. GRUPO 2: REGRESSÃO COM ÂNGULO DE ATRITO E COEFICIENTE DE ATRITO.

Tabela 44 - Grupo Alto Tâmega.

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
0,4	48,8	34,9	53,5	52,4	41,2	40,8	40,9	43,1	46,3	39,1	41,5	52,1	41,3	36,9
0,8	42,2	36,4	41,6	35,7	35,0	33,2	36,9	32,9	49,5	33,3	34,3	44,0	28,2	32,5
1,6	37,8	35,2	39,1	39,4	33,2	29,2	35,3	31,3	41,3	34,7	36,1	46,5	27,9	29,6
3,2	32,3	33,5	36,9	35,5	31,4	33,5	33,8	28,1	34,5	36,2	30,3	45,9	27,3	27,1
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
0,4	1,144	0,699	1,353	1,301	0,877	0,863	0,865	0,935	1,046	0,813	0,885	1,284	0,877	0,751
0,8	0,906	0,737	0,889	0,717	0,701	0,654	0,752	0,646	1,171	0,658	0,681	0,967	0,535	0,637
1,6	0,775	0,705	0,814	0,822	0,655	0,558	0,708	0,608	0,879	0,692	0,728	1,052	0,530	0,569
3,2	0,633	0,663	0,750	0,714	0,611	0,662	0,670	0,533	0,686	0,731	0,584	1,031	0,515	0,511
Regressão com ângulos de atrito														
	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
y_{inf}	31,3		37,8		31,9	31,4	34,1	29,4		27,1	30,4			26,9
a	24,8		60,4		23,2	52,3	13,8	47,7		11,7	14,4			16,0
b	- 0,9		- 3,4		- 2,3	- 4,3	- 1,8	- 3,1		- 0,7	- 0,9			- 1,2
y_0	56,1		98,2		55,1	83,7	47,8	77,1		38,8	44,8			42,9
Regressão com coeficiente de atrito														
	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
y_{inf}					0,626	0,611	0,678							0,511
a					0,759	1,622	0,417							0,408
b					- 2,786	- 4,653	- 2,039							- 1,366
y_0					1,385	2,233	1,095							0,919
y_{inf} (°)					32,055	31,436	34,141							27,076

Tabela 45 - Continuação grupo Alto Tâmega.

Ângulo de atrito para cada tensão normal												
σ_n (MPa)	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
0,4	44,7	34,8	32,6	55,0	39,5	47,9	46,9	36,6	41,7	49,2	49,7	37,0
0,8	41,7	33,8	28,5	38,7	33,8	37,9	43,7	30,8	32,2	43,5	42,2	35,1
1,6	35,3	29,4	25,8	34,9	30,1	34,4	37,7	28,9	34,3	40,3	39,2	29,3
3,2	32,4	26,3	24,5	31,9	36,8	32,6	40,6	28,1	32,4	36,9	38,1	26,2
Coeficiente de atrito para cada tensão normal												
σ_n (MPa)	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
0,4	0,991	0,695	0,640	1,430	0,825	1,106	1,069	0,744	0,890	1,159	1,180	0,753
0,8	0,891	0,669	0,543	0,801	0,669	0,777	0,957	0,596	0,629	0,949	0,908	0,702
1,6	0,707	0,564	0,484	0,698	0,579	0,685	0,772	0,552	0,681	0,848	0,815	0,560
3,2	0,633	0,495	0,456	0,623	0,749	0,639	0,856	0,534	0,634	0,751	0,785	0,492
Regressão com ângulos de atrito												
	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
y_{inf}	30,9	23,0	24,6	33,1		33,1		28,3		36,8	38,4	24,1
a	20,0	14,7	15,8	80,9		43,3		26,8		19,9	32,2	17,5
b	- 0,9	- 0,5	- 1,7	- 3,3		- 2,7		- 2,9		- 1,2	- 2,6	- 0,7
y_0	50,9	37,7	40,4	114,0		76,4		55,2		56,7	70,6	41,6
Regressão com coeficiente de atrito												
	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
y_{inf}	0,602		0,458	0,656		0,655				0,759	0,793	
a	0,587		0,373	4,009		1,594				0,728	1,273	
b	- 0,976		- 1,809	- 4,113		- 3,163				- 1,548	- 2,981	
y_0	1,189		0,831	4,665		2,249				1,488	2,066	
y_{inf} (°)	31,034		24,619	33,246		33,223				37,215	38,432	

Tabela 46 - Grupo Alvito (Xisto).

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
0,4	32,3	26,2	31,9	47,4	45,0	35,2	53,5	44,2	25,3	45,8	21,9	45,1	35,6	49,6
0,8	27,1	31,8	31,8	41,0	36,8	30,1	42,7	37,0	24,5	43,3	22,4	35,5	31,8	43,1
1,6	27,4	26,4	29,1	31,7	36,5	30,9	29,2	34,4	0,0	34,2	22,8	28,2	0,0	0,0
3,2	28,5	25,8	26,8	36,1	32,7	29,1	39,4	27,8	15,2	34,0	22,3	35,4	33,3	0,0
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
0,4	0,633	0,492	0,622	1,088	0,998	0,706	1,354	0,972	0,472	1,029	0,402	1,003	0,715	1,174
0,8	0,511	0,620	0,620	0,869	0,748	0,579	0,924	0,754	0,456	0,941	0,412	0,714	0,619	0,937
1,6	0,518	0,495	0,557	0,618	0,739	0,599	0,558	0,685	0,000	0,681	0,420	0,535		
3,2	0,542	0,483	0,505	0,729	0,643	0,557	0,822	0,526	0,271	0,674	0,409	0,711	0,656	0,000
Regressão com ângulos de atrito														
	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
y_{inf}					34,3	30,0	34,9	26,1		32,7				
a					38,5	580,4	63,6	23,4		22,1				
b					- 3,2	- 11,8	- 3,0	- 0,8		- 1,2				
y_0					72,8	610,4	98,5	49,5		54,9				
Regressão com coeficiente de atrito														
	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
y_{inf}					0,686		0,697			0,640				
a					1,413		2,327			0,668				
b					- 3,783		- 3,138			- 1,230				
y_0					2,099		3,025			1,308				
$y_{inf} (^{\circ})$					34,5		34,9			32,6				

Tabela 47 - Continuação grupo Alvito (Xisto).

Ângulo de atrito para cada tensão normal			
σ_n (MPa)	B535	B536	B537
0,4	47,4	41,7	33,2
0,8	41,3	34,8	29,9
1,6	42,1	29,0	29,7
3,2	40,1	31,3	28,3
Coeficiente de atrito para cada tensão normal			
σ_n (MPa)	B535	B536	B537
0,4	1,087	0,891	0,653
0,8	0,880	0,694	0,576
1,6	0,905	0,553	0,569
3,2	0,842	0,607	0,538
Regressão com ângulos de atrito			
	B535	B536	B537
y_{inf}	41,1	30,1	28,8
a	171,6	33,6	14,0
b	- 8,3	- 2,6	- 3,0
y_0	212,7	63,7	42,8
Regressão com coeficiente de atrito			
	B535	B536	B537
y_{inf}	0,874	0,579	0,551
a	7,000	0,956	0,356
b	- 8,722	- 2,782	- 3,128
y_0	7,874	1,535	0,906
y_{inf} (°)	41,1	30,1	28,8

Tabela 48 - Grupo Alvito (Grauvaque).

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
0,4	30,8	45,7	58,4	49,0	34,5	43,4	53,3	25,7	46,5	42,2	49,9	52,1	34,3	52,5
0,8	35,8	43,5	49,5	32,7	28,5	38,4	47,1	33,9	44,4	36,6	45,0	45,8	34,2	43,2
1,6	32,4	40,3	45,7	38,9		38,4	45,0	32,4	42,7	35,8	41,2	42,3	33,0	39,5
3,2	30,8	36,4	42,7	34,8		38,3	40,1	28,1	41,3	32,3	36,4	41,6	31,8	37,4
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
0,4	0,595	1,025	1,623	1,150	0,687	0,944	1,343	0,482	1,055	0,905	1,187	1,282	0,681	1,305
0,8	0,722	0,949	1,171	0,643	0,542	0,794	1,076	0,672	0,981	0,743	1,002	1,028	0,680	0,940
1,6	0,634	0,847	1,024	0,808		0,792	1,000	0,634	0,923	0,721	0,877	0,911	0,649	0,825
3,2	0,596	0,736	0,924	0,696		0,789	0,841	0,534	0,878	0,633	0,738	0,888	0,620	0,766
Regressão com ângulos de atrito														
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
y_{inf}		32,7	43,3			38,3	39,6		41,1	32,8	34,9	41,6		37,9
a		15,5	32,6			219,5	19,2		8,3	16,0	20,0	26,0		37,6
b		- 0,5	- 2,0			- 9,4	- 1,0		- 1,1	- 1,5	- 0,8	- 2,3		- 2,4
y_0		48,3	75,9			257,8	58,8		49,4	48,8	54,9	67,6		75,5
Regressão com coeficiente de atrito														
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
y_{inf}						0,791	0,856				0,718	0,890		0,785
a						7,222	0,818				0,687	1,107		1,660
b						- 9,624	- 1,392				- 1,006	- 2,595		- 2,907
y_0						8,012	1,674				1,405	1,997		2,445
y_{inf} (°)						38,3	40,6				35,7	41,7		38,1

Tabela 49 - Grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
0,4	33,0	34,4	35,4	28,0	27,1	31,6	29,1	25,6	40,1	37,8	44,2	59,9	45,6	45,4
0,8	35,3	35,4	28,1	25,1	24,2	28,1	21,8	22,4	32,4	30,7	39,5	53,3	41,4	35,3
1,6	31,9	35,5	26,4	23,3	23,4	29,5	25,6	21,9	31,1	29,7	35,2	47,3	37,5	35,3
3,2	29,2	36,3	24,9	22,5	23,2	26,2	23,0	22,6	28,6	29,7	33,5	44,2	35,9	34,5
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
0,4	0,649	0,685	0,710	0,532	0,512	0,615	0,556	0,478	0,841	0,776	0,971	1,728	1,022	1,013
0,8	0,707	0,710	0,534	0,468	0,449	0,533	0,400	0,412	0,636	0,594	0,825	1,343	0,882	0,707
1,6	0,623	0,713	0,497	0,430	0,432	0,565	0,479	0,401	0,602	0,569	0,705	1,084	0,768	0,709
3,2	0,559	0,733	0,465	0,415	0,428	0,492	0,425	0,417	0,546	0,569	0,663	0,974	0,723	0,689
Regressão com ângulos de atrito														
	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
y_{inf}			25,5	22,6	23,2	27,8		22,2	29,6	29,6	33,3	43,9	35,6	34,9
a			34,8	11,4	16,1	52,2		82,3	33,9	64,2	19,3	27,0	17,4	339,0
b			- 3,2	- 1,8	- 3,6	- 6,6		- 8,0	- 2,9	- 5,1	- 1,4	- 1,3	- 1,4	- 8,7
y_0			60,3	33,9	39,3	80,0		104,5	63,5	93,8	52,6	70,9	53,0	373,9
Regressão com coeficiente de atrito														
	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
y_{inf}				0,416	0,430						0,659	0,975	0,719	
a				0,249	0,351						0,589	1,492	0,560	
b				- 1,904	- 3,628						- 1,585	- 1,718	- 1,538	
y_0				0,664	0,781						1,248	2,467	1,279	
$y_{inf} (^{\circ})$				22,6	23,2						33,4	44,3	35,7	

Tabela 50 - Continuação grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

Ângulo de atrito para cada tensão normal								
σ_n (MPa)	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
0,4	36,9	38,0	33,7	26,5	26,4	26,8	33,3	27,7
0,8	34,3	32,6	35,0	26,7	24,3	16,6	24,6	19,6
1,6	33,4	31,5	33,4	25,3	23,5	27,5	29,5	19,7
3,2	31,8	30,6	32,7	25,8	25,2	26,4	28,1	24,4
Coeficiente de atrito para cada tensão normal								
σ_n (MPa)	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
0,4	0,751	0,781	0,666	0,499	0,495	0,505	0,657	0,525
0,8	0,683	0,641	0,700	0,504	0,452	0,299	0,458	0,357
1,6	0,660	0,612	0,659	0,473	0,435	0,519	0,566	0,359
3,2	0,621	0,592	0,642	0,483	0,470	0,497	0,534	0,453
Regressão com ângulos de atrito								
	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
y_{inf}	31,9	31,0						
a	8,1	27,9						
b	- 1,3	- 3,5						
y_0	40,0	58,8						
Regressão com coeficiente de atrito								
	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
y_{inf}		0,600						
a		0,774						
b		- 3,644						
y_0		1,374						
y_{inf} (°)		31,0						

Tabela 51 - Grupo Cahora Bassa.

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
0,4	44,6	52,4	52,1	50,7	50,6	46,7	55,5	45,4	37,6	43,3	49,0	52,5	46,2	45,3
0,8	41,3	44,9	46,2	43,9	46,6	51,0	55,5	36,8	36,2	36,7	45,5	45,2	47,6	40,3
1,6	38,5	40,1	44,8	39,2	39,8	48,7	52,3	37,8	29,7	33,8	42,8	43,7	41,5	40,9
3,2	36,7	39,3	44,3	35,4	45,4	46,5	51,1	33,1	29,1	32,8	41,0	40,0	40,7	37,7
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
0,4	0,986	1,299	1,282	1,221	1,217	1,063	1,457	1,014	0,770	0,943	1,150	1,305	1,042	1,012
0,8	0,878	0,996	1,042	0,964	1,058	1,235	1,454	0,747	0,731	0,746	1,019	1,006	1,096	0,849
1,6	0,795	0,841	0,993	0,816	0,832	1,138	1,295	0,775	0,569	0,670	0,925	0,957	0,884	0,867
3,2	0,745	0,820	0,974	0,710	1,013	1,055	1,239	0,652	0,558	0,643	0,869	0,839	0,862	0,773
Regressão com ângulos de atrito														
	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
y_{inf}	36,5	39,2	44,5	35,1			49,6	35,3	28,2	33,0	40,8	40,9		39,2
a	13,1	31,3	32,6	25,0			7,9	63,0	15,3	27,4	13,5	24,1		25,8
b	- 1,2	- 2,2	- 3,6	- 1,2			- 0,6	- 4,6	- 1,1	- 2,4	- 1,3	- 1,9		- 3,6
y_0	49,6	70,6	77,1	60,1			57,5	98,3	43,5	60,3	54,3	65,0		64,9
Regressão com coeficiente de atrito														
	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
y_{inf}	0,742	0,819	0,982	0,716				0,712	0,534			0,881		
a	0,416	1,310	1,467	0,930				2,399	0,387			1,208		
b	- 1,354	- 2,506	- 3,964	- 1,560				- 5,178	- 1,086			- 2,646		
y_0	1,158	2,129	2,449	1,646				3,111	0,921			2,089		
y_{inf} (°)	36,6	39,3	44,5	35,6				35,4	28,1			41,4		

Tabela 52 - Continuação grupo Cahora Bassa.

Ângulo de atrito para cada tensão normal						
σ_n (MPa)	D390	D391	D392	D393	D394	D395
0,4	48,3	43,1	42,1	55,8	35,0	42,9
0,8	39,7	38,8	43,8	51,4	31,1	41,1
1,6	38,2	31,5	44,4	46,4	32,4	39,6
3,2	37,6	34,0	43,0	45,1	29,8	38,0
Coeficiente de atrito para cada tensão normal						
σ_n (MPa)	D390	D391	D392	D393	D394	D395
0,4	1,124	0,935	0,905	1,473	0,701	0,929
0,8	0,830	0,804	0,958	1,255	0,604	0,872
1,6	0,787	0,613	0,979	1,052	0,635	0,828
3,2	0,769	0,674	0,932	1,002	0,572	0,783
Regressão com ângulos de atrito						
	D390	D391	D392	D393	D394	D395
y_{inf}	37,8	32,7		44,7	31,1	37,7
a	57,9	23,7		19,7	334,0	7,3
b	- 4,3	- 2,0		- 1,4	- 11,1	- 0,9
y_0	95,7	56,4		64,3	365,1	45,0
Regressão com coeficiente de atrito						
	D390	D391	D392	D393	D394	D395
y_{inf}					0,603	0,774
a					14,381	0,223
b					- 12,477	- 0,947
y_0					14,984	0,997
y_{inf} (°)					31,1	37,7

Tabela 53 - Grupo Daivões.

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
0,4	45,9	51,0	46,9	41,5	39,0	53,6	43,1	51,2	51,5	50,9	52,9	45,5	56,4	46,0
0,8	43,4	37,2	39,7	40,7	35,9	44,8	44,1	43,1	48,3	44,0	49,5	39,9	49,0	41,5
1,6	41,2	26,7	38,1	38,9	32,2	40,8	42,1	41,5	44,8	41,8	46,8	35,8	44,7	34,2
3,2	37,6	19,0	36,2	36,8	31,9	32,2	40,3	41,8	43,0	39,4	43,7	0,0	41,7	27,1
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
0,4	1,032	1,235	1,068	0,884	0,810	1,358	0,936	1,246	1,256	1,233	1,324	1,019	1,505	1,037
0,8	0,945	0,760	0,829	0,860	0,724	0,994	0,968	0,935	1,124	0,966	1,170	0,835	1,152	0,886
1,6	0,876	0,504	0,785	0,805	0,629	0,864	0,902	0,885	0,994	0,895	1,065	0,722	0,990	0,680
3,2	0,769	0,345	0,732	0,748	0,623	0,629	0,847	0,894	0,934	0,822	0,956	0,000	0,891	0,511
Regressão com ângulos de atrito														
	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
y_{inf}	34,7	18,3	36,9		31,6	29,5		41,6	42,7	40,1	42,9		41,8	21,9
a	13,3	52,7	33,0		14,5	30,9		64,3	14,0	26,1	13,8		26,8	30,3
b	- 0,5	- 1,2	- 3,0		- 1,6	- 0,7		- 4,8	- 1,1	- 2,2	- 0,9		- 1,6	- 0,6
y_0	48,0	71,0	69,9		46,0	60,4		105,9	56,6	66,1	56,7		68,7	52,1
Regressão com coeficiente de atrito														
	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
y_{inf}	0,712		0,754		0,615				0,925	0,847			0,908	0,435
a	0,397		1,223		0,390				0,556	1,127			1,343	0,812
b	- 0,591		- 3,404		- 1,693				- 1,291	- 2,697			- 2,047	- 0,742
y_0	1,109		1,977		1,005				1,481	1,974			2,251	1,246
y_{inf} (°)	35,5		37,0		31,6				42,8	40,3			42,2	23,5

Tabela 54 - Continuação grupo Daivões.

Ângulo de atrito para cada tensão normal				
σ_n (MPa)	E622	E623	E624	E625
0,4	47,3	53,6	40,7	45,2
0,8	38,2	45,7	35,7	36,8
1,6	35,5	42,6	32,6	36,3
3,2	33,7	38,3	37,5	37,0
Coeficiente de atrito para cada tensão normal				
σ_n (MPa)	E622	E623	E624	E625
0,4	1,085	1,357	0,861	1,007
0,8	0,788	1,025	0,718	0,748
1,6	0,714	0,919	0,640	0,734
3,2	0,667	0,790	0,768	0,753
Regressão com ângulos de atrito				
	E622	E623	E624	E625
y_{inf}	34,3	38,7	35,1	36,6
a	40,2	25,8	59,1	445,8
b	- 2,8	- 1,4	- 5,9	- 9,9
y_0	74,4	64,5	94,2	482,4
Regressão com coeficiente de atrito				
	E622	E623	E624	E625
y_{inf}	0,684	0,820	0,704	
a	1,471	1,187	1,907	
b	- 3,258	- 2,025	- 6,254	
y_0	2,155	2,007	2,611	
y_{inf} (°)	34,4	39,3	35,2	

Tabela 55 - Grupo Foz Tua (Granito).

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
0,4	44,6	34,6	36,4	44,2	51,3	53,6	50,6	36,7	58,2	49,8	45,5	43,8	41,2	51,9
0,8	40,6	33,9	42,1	45,5	54,7	52,3	42,9	30,4	47,4	44,4	44,4	40,8	42,8	47,9
1,6	37,2	26,1	34,6	41,5	49,4	47,6	39,7	33,7	47,1	47,1	40,1	38,4	40,0	42,8
3,2	35,5	27,1	37,4	41,3	41,3	44,8	38,9	34,2	44,2	45,4	38,5	37,3	40,3	42,3
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
0,4	0,986	0,691	0,737	0,974	1,249	1,358	1,215	0,746	1,616	1,185	1,018	0,959	0,875	1,275
0,8	0,856	0,672	0,902	1,018	1,411	1,293	0,929	0,586	1,088	0,979	0,979	0,862	0,925	1,105
1,6	0,760	0,491	0,691	0,886	1,168	1,094	0,829	0,668	1,076	1,077	0,842	0,794	0,839	0,925
3,2	0,713	0,511	0,764	0,879	0,879	0,994	0,807	0,681	0,973	1,013	0,795	0,763	0,847	0,910
Regressão com ângulos de atrito														
	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
y_{inf}	35,4	25,9		40,0		42,7	39,0		45,6		37,3	37,3		41,8
a	15,9	15,3		6,2		14,5	34,0		82,3		11,6	11,9		19,0
b	- 1,4	- 1,2		- 0,6		- 0,6	- 2,7		- 4,7		- 0,8	- 1,5		- 1,5
y_0	51,3	41,3		46,2		57,1	73,0		127,9		49,0	49,2		60,8
Regressão com coeficiente de atrito														
	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
y_{inf}	0,712	0,484					0,813		1,023			0,763		0,896
a	0,503	0,362					1,378		5,210			0,377		0,756
b	- 1,525	- 1,188					- 3,076		- 5,434			- 1,641		- 1,696
y_0	1,214	0,847					2,190		6,233			1,139		1,652
y_{inf} (°)	35,4	25,8					39,1		45,7			37,3		41,8

Tabela 56 - Continuação grupo Foz Tua (Granito).

Ângulo de atrito para cada tensão normal											
σ_n (MPa)	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
0,4	39,0	48,8	41,7	38,4	43,6	42,6	40,6	44,2	55,7	47,8	49,1
0,8	38,1	40,0	41,7	37,4	40,3	34,9	35,8	40,0		45,0	46,0
1,6	35,8	42,3	42,2	36,4	40,0	33,5	32,3	36,8	48,6	43,1	42,2
3,2	35,5	41,3	42,5	36,3	40,9	31,3	29,1	28,2	44,4	40,6	39,0
Coeficiente de atrito para cada tensão normal											
σ_n (MPa)	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
0,4	0,810	1,142	0,890	0,792	0,951	0,921	0,857	0,972	1,464	1,101	1,156
0,8	0,785	0,838	0,891	0,765	0,848	0,699	0,720	0,839	1,231	1,001	1,035
1,6	0,721	0,909	0,908	0,737	0,840	0,662	0,633	0,748	1,134	0,934	0,908
3,2	0,714	0,880	0,915	0,734	0,867	0,608	0,556	0,536	0,981	0,856	0,811
Regressão com ângulos de atrito											
	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
y_{inf}	35,2			36,2		32,2	28,7	0,8		39,9	37,8
a	6,2			4,3		35,7	18,1	45,7		10,7	15,5
b	- 1,2			- 1,6		- 3,1	- 1,1	- 0,2		- 0,8	- 0,8
y_0	41,5			40,5		67,9	46,8	46,4		50,6	53,3
Regressão com coeficiente de atrito											
	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
y_{inf}				0,732						0,842	
a				0,119						0,371	
b				- 1,659						- 0,957	
y_0				0,850						1,213	
y_{inf} (°)				36,2						40,1	

Tabela 57. Grupo Foz Tua (Metagrauvaque).

Ângulo de atrito para cada tensão normal			
σ_n (MPa)	F113	F114	F115
0,4	46,735	40,045	38,724
0,8	36,374	27,762	33,605
1,6	36,170	33,866	39,537
3,2	33,130	31,823	37,574
Coeficiente de atrito para cada tensão normal			
σ_n (MPa)	F113	F114	F115
0,4	1,062469	0,840424	0,801834
0,8	0,736556	0,526398	0,664523
1,6	0,731095	0,671103	0,825419
3,2	0,652649	0,620593	0,769368
Regressão com ângulos de atrito			
y_{inf}	34,57513		
a	77,11035		
b	-		
y_0	4,62025		
y_0	111,6855		
Regressão com coeficiente de atrito			
y_{inf}			
a			
b			
y_0			
y_{inf} (°)			

Tabela 58 - Grupo Fridão (Jusante).

Ângulo de atrito para cada tensão normal											
σ_n (MPa)	G51	G52	G53	G54	G55	G56	G57	G58	G59	G60	G61
0,4	53,9	39,8	41,1	51,0	44,1	52,1	47,4	34,0	49,2	43,4	31,1
0,8	47,5	39,8	41,0	45,1	37,8	43,9	42,6	30,7	45,2	38,1	41,9
1,6	38,3	39,6	36,2	39,2	34,4	43,5	40,8	28,6	43,0	35,5	38,1
3,2	35,1	34,2	37,9	37,5	31,9	39,6	34,1	26,9	39,6	34,0	36,5
Coeficiente de atrito para cada tensão normal											
σ_n (MPa)	G51	G52	G53	G54	G55	G56	G57	G58	G59	G60	G61
0,4	1,370	0,834	0,872	1,236	0,969	1,285	1,088	0,674	1,158	0,947	0,602
0,8	1,092	0,833	0,870	1,002	0,776	0,963	0,920	0,594	1,006	0,785	0,897
1,6	0,789	0,826	0,733	0,815	0,684	0,950	0,865	0,545	0,931	0,714	0,785
3,2	0,704	0,679	0,778	0,769	0,622	0,827	0,676	0,508	0,826	0,674	0,739
Regressão com ângulos de atrito											
	G51	G52	G53	G54	G55	G56	G57	G58	G59	G60	G61
y_{inf}	34,0			37,2	32,1	41,2	25,6	26,9	38,9	34,2	
a	32,0			25,4	22,8	35,5	23,9	11,9	14,1	19,9	
b	- 1,2			- 1,5	- 1,6	- 3,0	- 0,3	- 1,3	- 0,9	- 1,9	
y_0	66,1			62,6	54,9	76,7	49,5	38,8	53,1	54,1	
Regressão com coeficiente de atrito											
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541
y_{inf}	0,682			0,762		0,882	0,576				
a	1,224			0,955		1,784	0,605				
b	- 1,418			- 1,746		- 3,732	- 0,538				
y_0	1,906			1,717		2,666	1,181				
y_{inf} (°)	34,3			37,3		41,4	29,9				

Tabela 59 - Grupo Fridão (Montante).

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75
0,4	38,8	42,5	41,6	44,7	55,4	40,2	49,6	44,5	43,8	45,7	40,2	41,5	44,4	41,8
0,8	41,6	38,1	39,7	43,7	50,9	30,8	40,7	38,2	39,8	41,7	28,6	35,1	46,3	39,1
1,6	38,6	34,6	32,6	37,0	46,8	29,0	34,2	37,0	36,8	38,4	25,6	35,6	44,4	34,7
3,2	35,7	29,1	31,1	36,5	42,5	25,5	31,8	34,3	32,7	29,7	27,3	34,4	39,7	34,4
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75
0,4	0,805	0,917	0,886	0,990	1,451	0,846	1,174	0,982	0,958	1,026	0,846	0,884	0,980	0,895
0,8	0,888	0,783	0,832	0,955	1,231	0,597	0,860	0,787	0,834	0,891	0,544	0,702	1,048	0,813
1,6	0,797	0,689	0,640	0,754	1,066	0,555	0,681	0,753	0,747	0,792	0,480	0,715	0,979	0,694
3,2	0,718	0,557	0,604	0,739	0,915	0,476	0,620	0,683	0,643	0,570	0,516	0,685	0,831	0,685
Regressão com ângulos de atrito														
	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75
y_{inf}		26,2	29,8	35,3	41,1	26,7	31,7	35,1	31,3	- 4,2	26,5	35,0		34,0
a		20,2	17,9	14,9	19,5	37,3	34,9	23,1	16,4	52,1	93,6	409,4		14,3
b		- 0,6	- 0,9	- 1,0	- 0,8	- 2,6	- 1,7	- 2,3	- 0,7	- 0,1	- 4,8	- 10,4		- 1,4
y_0		46,4	47,8	50,2	60,6	64,0	66,7	58,2	47,7	47,9	120,1	444,4		48,3
Regressão com coeficiente de atrito														
	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75
y_{inf}		0,515	0,572	0,706	0,895	0,507	0,624		0,621					0,673
a		0,531	0,490	0,455	0,839	1,130	1,246		0,472					0,413
b		- 0,759	- 0,984	- 1,011	- 1,068	- 3,030	- 2,056		- 0,900					- 1,493
y_0		1,046	1,062	1,161	1,734	1,637	1,871		1,094					1,086
y_{inf} (°)		27,3	29,7	35,2	41,8	26,9	32,0		31,8					34,0

Tabela 60 - Continuação grupo Fridão (Montante).

Ângulo de atrito para cada tensão normal	
σ_n (MPa)	H76
0,4	49,1
0,8	44,0
1,6	36,4
3,2	36,4
Coeficiente de atrito para cada tensão normal	
σ_n (MPa)	H76
0,4	1,153
0,8	0,966
1,6	0,738
3,2	0,738
Regressão com ângulos de atrito	
	H76
y_{inf}	35,6
a	25,8
b	- 1,6
y_0	61,4
Regressão com coeficiente de atrito	
	H76
y_{inf}	0,715
a	0,880
b	- 1,701
y_0	1,595
y_{inf} (°)	35,6

Tabela 61 - Grupo Gouvães (Barragem).

v														
σ_n (MPa)	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
0,4	38,7	41,5	30,2	37,3	42,3	41,0	25,5	43,3	47,3	42,2	25,6	40,9	43,6	42,5
0,8		38,6	24,2	38,8	35,6	32,7	26,4	36,5	37,9	38,9	23,3	38,4	38,3	42,3
1,6	42,8	34,9	31,4	35,4	36,6	25,2	32,0	36,0	30,9	32,9	25,6	39,6	33,2	36,3
3,2	35,3	37,2	33,6	38,9	36,2	24,5	31,4	39,5	33,5	38,0	25,2	35,7	33,9	31,7
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
0,4	0,801	0,886	0,583	0,761	0,908	0,869	0,478	0,944	1,084	0,908	0,480	0,868	0,952	0,918
0,8		0,798	0,449	0,803	0,716	0,643	0,496	0,740	0,780	0,808	0,431	0,792	0,789	0,909
1,6	0,927	0,697	0,610	0,711	0,743	0,471	0,626	0,727	0,600	0,647	0,480	0,827	0,654	0,734
3,2	0,709	0,760	0,664	0,806	0,732	0,455	0,611	0,824	0,662	0,781	0,470	0,718	0,672	0,618
Regressão com ângulos de atrito														
	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
y_{inf}		36,1				24,0	32,2		32,2				33,3	22,3
a		15,9				35,4	- 11,8		45,1				24,2	23,5
b		- 2,6				- 1,8	- 1,2		- 2,7				- 2,1	- 0,3
y_0		52,0				59,4	20,4		77,2				57,5	45,8
Regressão com coeficiente de atrito														
	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
y_{inf}		0,730					0,629						0,656	0,427
a		0,466					- 0,269						0,729	0,590
b		- 2,696					- 1,233						- 2,231	- 0,361
y_0		1,196					0,361						1,385	1,017
y_{inf} (°)		36,1					32,2						33,3	23,1

Tabela 62 - Continuação grupo Gouvães (Barragem).

Ângulo de atrito para cada tensão normal				
σ_n (MPa)	I268	I269	I270	I271
0,4	41,4	42,0	54,8	35,1
0,8	37,6	31,9	45,5	34,2
1,6	36,6	34,7	46,0	29,4
3,2		32,3	38,5	27,1
Coeficiente de atrito para cada tensão normal				
σ_n (MPa)	I268	I269	I270	I271
0,4	0,883	0,901	1,419	0,703
0,8	0,769	0,623	1,016	0,680
1,6	0,742	0,693	1,037	0,564
3,2		0,633	0,797	0,512
Regressão com ângulos de atrito				
	I268	I269	I270	I271
y_{inf}			38,4	25,1
a			21,9	13,4
b			- 0,9	- 0,6
y_0			60,3	38,5
Regressão com coeficiente de atrito				
	I268	I269	I270	I271
y_{inf}				0,469
a				0,318
b				- 0,655
y_0				0,787
y_{inf} (°)				25,1

Tabela 63 - Grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	J626	J627	J628	J629	J630	J631	J632	J633	J634	J635	J636	J637	J638	J639
0,4	35,6	39,4	47,4	55,2	43,3	34,4	42,7	20,7	40,2	36,1	44,3	46,5	33,8	29,7
0,8	29,4	33,6	37,9	43,3	35,0	30,0	32,8	21,9	35,2	41,5	37,7	38,1	30,2	26,6
1,6	28,0	32,2	33,6	36,3	31,7	25,1	29,7	20,4	33,6	36,0	39,2	38,5	28,3	22,7
3,2	26,2	28,2	30,2	33,2	35,3	24,3	28,6	19,2	31,3	34,0	35,3	34,5	28,3	23,3
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	J626	J627	J628	J629	J630	J631	J632	J633	J634	J635	J636	J637	J638	J639
0,4	0,716	0,823	1,088	1,438	0,944	0,684	0,922	0,377	0,846	0,729	0,974	1,055	0,670	0,570
0,8	0,564	0,665	0,777	0,944	0,700	0,578	0,643	0,401	0,706	0,884	0,772	0,785	0,582	0,500
1,6	0,532	0,629	0,663	0,735	0,619	0,467	0,569	0,372	0,665	0,726	0,815	0,795	0,538	0,418
3,2	0,492	0,536	0,582	0,654	0,709	0,450	0,546	0,348	0,609	0,675	0,708	0,688	0,539	0,431
Regressão com ângulos de atrito														
	J626	J627	J628	J629	J630	J631	J632	J633	J634	J635	J636	J637	J638	J639
y_{inf}	26,8	28,4	30,7	33,4	33,6	23,9	29,0		31,8		37,2	36,4	28,2	22,8
a	26,5	17,1	34,8	45,5	72,4	19,6	48,1		17,0		109,0	51,7	16,4	15,1
b	- 2,8	- 1,2	- 1,9	- 1,9	- 5,0	- 1,5	- 3,1		- 1,8		- 6,9	- 4,1	- 2,7	- 1,9
y_0	53,4	45,5	65,5	78,9	106,0	43,5	77,0		48,8		146,2	88,0	44,7	37,9
Regressão com coeficiente de atrito														
	J626	J627	J628	J629	J630	J631	J632	J633	J634	J635	J636	J637	J638	J639
y_{inf}		0,549	0,603		0,665	0,443	0,554				0,761	0,739	0,537	0,420
a		0,479	1,231		2,325	0,465	1,481				4,215	2,004	0,405	0,333
b		- 1,498	- 2,347		- 5,296	- 1,615	- 3,488				- 7,459	- 4,625	- 2,778	- 1,951
y_0		1,028	1,834		2,989	0,908	2,035				4,976	2,743	0,942	0,754
y_{inf} (°)		28,8	31,1		33,6	23,9	29,0				37,3	36,5	28,2	22,8

Tabela 64 – Continuação grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

Ângulo de atrito para cada tensão normal						
σ_n (MPa)	J640	J641	J642	J643	J644	J645
0,4	29,3	34,3	27,9	47,2	47,1	35,8
0,8	24,7	24,4	23,9	38,3	37,9	30,3
1,6	23,2	25,8	26,6	35,7	38,3	27,9
3,2	22,1	24,2	25,7	31,0	34,9	24,7
Coeficiente de atrito para cada tensão normal						
σ_n (MPa)	J640	J641	J642	J643	J644	J645
0,4	0,561	0,682	0,529	1,080	1,075	0,721
0,8	0,461	0,453	0,444	0,790	0,777	0,583
1,6	0,428	0,482	0,502	0,719	0,789	0,529
3,2	0,405	0,449	0,480	0,601	0,699	0,459
Regressão com ângulos de atrito						
	J640	J641	J642	J643	J644	J645
y_{inf}	22,4			31,7	36,6	24,8
a	18,6			28,4	78,7	18,2
b	- 2,5			- 1,6	- 5,0	- 1,3
y_0	40,9			60,1	115,2	43,0
Regressão com coeficiente de atrito						
	J640	J641	J642	J643	J644	J645
y_{inf}	0,412			0,634	0,743	0,467
a	0,421			1,057	3,035	0,458
b	- 2,613			- 2,199	- 5,532	- 1,531
y_0	0,833			1,691	3,778	0,925
y_{inf} (°)	22,4			32,4	36,6	25,0

Tabela 65 - Grupo Paradela.

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
0,4	50,3	43,7	41,4	46,9	40,6	57,5	38,8	48,9	45,9	42,9	38,3	42,3	40,1	34,5
0,8	48,7	39,8	46,2	34,6	36,2	53,2	39,9	39,8	38,9	40,7	40,8	38,1	35,2	29,6
1,6	41,8	36,9	42,0	31,8	33,9	49,0	36,8	37,7	39,1	40,3	38,8	38,8	33,8	28,9
3,2	38,8	34,2	39,6	32,0	31,8	45,5	34,2	33,7	35,7	38,5	37,2	37,5	32,4	30,2
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
0,4	1,204	0,956	0,883	1,070	0,857	1,567	0,805	1,148	1,030	0,931	0,790	0,910	0,842	0,688
0,8	1,138	0,835	1,043	0,691	0,732	1,337	0,836	0,833	0,808	0,861	0,863	0,783	0,705	0,567
1,6	0,895	0,751	0,900	0,620	0,671	1,149	0,747	0,773	0,811	0,849	0,804	0,805	0,669	0,552
3,2	0,803	0,678	0,826	0,625	0,620	1,017	0,680	0,667	0,718	0,796	0,759	0,767	0,636	0,582
Regressão com ângulos de atrito														
	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
y_{inf}	36,3	33,7		31,9	31,9	44,6		34,8	37,2	38,4			32,9	29,5
a	19,1	14,9		82,6	15,5	18,5		32,4	36,3	6,2			20,3	1263,7
b	- 0,7	- 1,0		- 4,2	- 1,5	- 0,9		- 2,1	- 3,6	- 0,9			- 2,6	- 13,8
y_0	55,4	48,6		114,4	47,3	63,1		67,2	73,5	44,6			53,2	1293,2
Regressão com coeficiente de atrito														
	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
y_{inf}	0,737	0,673		0,622	0,625				0,761	0,795			0,647	0,567
a	0,664	0,449		2,929	0,444				1,383	0,193			0,601	41,035
b	- 0,776	- 1,193		- 4,691	- 1,655				- 4,101	- 1,029			- 2,835	- 14,564
y_0	1,401	1,122		3,551	1,068				2,145	0,988			1,248	41,602
y_{inf} (°)	36,4	33,9		31,9	32,0				37,3	38,5			32,9	29,6

Tabela 66 - Continuação grupo Paradela.

Ângulo de atrito para cada tensão normal												
σ_n (MPa)	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
0,4	40,9	48,6	30,0	38,1	41,5	41,3	40,1	53,2	34,2	47,3	50,7	37,3
0,8	39,3	40,8	39,5	35,2	39,5	40,3	35,8	47,0	33,8	45,4	48,3	38,1
1,6	34,9	38,4	35,3	33,8	37,2	37,0	36,4	42,7	33,1	41,3	45,6	33,8
3,2	36,1	39,3	34,9	32,4	36,9	33,9	32,7	41,9	29,7	41,9	43,2	35,2
Coeficiente de atrito para cada tensão normal												
σ_n (MPa)	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
0,4	0,865	1,132	0,578	0,785	0,886	0,879	0,842	1,338	0,678	1,084	1,222	0,761
0,8	0,819	0,863	0,824	0,705	0,824	0,848	0,722	1,074	0,669	1,013	1,121	0,783
1,6	0,697	0,791	0,709	0,669	0,758	0,753	0,737	0,924	0,651	0,879	1,022	0,670
3,2	0,731	0,820	0,698	0,636	0,752	0,673	0,642	0,898	0,571	0,896	0,940	0,706
Regressão com ângulos de atrito												
	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
y_{inf}	35,4	38,8		32,6	36,8	29,9	32,2	41,8		41,3	42,4	
a	11,2	49,7		10,2	9,3	13,6	9,6	25,3		11,7	11,4	
b	- 1,7	- 4,1		- 1,6	- 1,6	- 0,4	- 0,7	- 2,0		- 1,6	- 0,8	
y_0	46,7	88,5		42,8	46,0	43,5	41,8	67,1		53,0	53,8	
Regressão com coeficiente de atrito												
	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
y_{inf}	0,711	0,805		0,640		0,585		0,897		0,879		
a	0,319	1,891		0,281		0,359		1,102		0,406		
b	- 1,677	- 4,384		- 1,699		- 0,446		- 2,289		- 1,614		
y_0	1,030	2,696		0,921		0,944		1,998		1,284		
y_{inf} (°)	35,4	38,8		32,6		30,3		41,9		41,3		

Tabela 67 - Grupo Baixo Sabor.

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
0,4	43,8	51,7	47,6	44,4	47,7	53,5	44,7	50,5	42,0	46,5	39,4	43,8	49,5	46,4
0,8	39,5	44,3	45,0	43,2	44,5	50,4	43,2	44,4	40,1	43,8	37,1	39,9	40,1	42,4
1,6	36,7	40,8	43,6	42,4	43,2	48,2	42,5	42,8	38,8	42,3	35,3	36,3	41,6	39,9
3,2	37,1	40,4	42,0	41,3	42,0	46,4	41,6	41,5	38,9	41,3	33,6	35,4	39,1	39,0
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
0,4	0,958	1,266	1,094	0,980	1,100	1,353	0,988	1,213	0,899	1,054	0,821	0,959	1,173	1,051
0,8	0,824	0,976	1,000	0,940	0,982	1,208	0,940	0,980	0,842	0,959	0,755	0,837	0,841	0,914
1,6	0,747	0,863	0,951	0,915	0,940	1,120	0,915	0,925	0,803	0,910	0,708	0,735	0,888	0,835
3,2	0,757	0,852	0,902	0,878	0,901	1,050	0,887	0,885	0,807	0,878	0,665	0,711	0,812	0,809
Regressão com ângulos de atrito														
	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
y_{inf}	36,8	40,4	42,0	40,9	42,2	46,3	41,5	42,0	38,8	41,4	33,4	35,2		39,0
a	19,5	32,9	9,0	4,6	11,5	11,6	4,9	27,7	8,3	9,9	8,9	16,3		15,7
b	- 2,6	- 2,7	- 1,2	- 0,8	- 1,9	- 1,2	- 1,2	- 3,0	- 2,4	- 1,6	- 1,0	- 1,6		- 1,9
y_0	56,3	73,3	51,0	45,6	53,8	57,9	46,4	69,7	47,0	51,2	42,3	51,6		54,7
Regressão com coeficiente de atrito														
	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
y_{inf}	0,749		0,903	0,869	0,910	1,051			0,803			0,707		0,811
a	0,618		0,325	0,150	0,437	0,522			0,255			0,504		0,543
b	- 2,701		- 1,385	- 0,830	- 2,115	- 1,409			- 2,414			- 1,724		- 2,051
y_0	1,367		1,229	1,020	1,346	1,573			1,058			1,211		1,354
y_{inf} (°)	36,8		42,1	41,0	42,3	46,4			38,8			35,3		39,0

Tabela 68 - Continuação grupo Baixo Sabor.

Ângulo de atrito para cada tensão normal															
σ_n (MPa)	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37
0,4	41,2	45,9	45,4	56,6	36,2	48,4	48,5	46,2	46,5	39,5	47,6	45,9	46,4	42,5	41,3
0,8	37,1	41,7	40,3	50,3	36,7	45,5	42,8	44,8	45,8	38,9	45,9	42,6	41,6	40,4	38,5
1,6	34,6	38,6	37,8	46,6	34,0	44,1	40,1	41,9	43,7	38,8	42,5	38,5	40,3	37,9	39,3
3,2	33,9	36,9	36,1	44,5	33,8	42,9	39,3	41,1	39,5	36,6	40,4	36,0	38,5	36,7	38,4
Coeficiente de atrito para cada tensão normal															
σ_n (MPa)	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37
0,4	0,876	1,031	1,015	1,516	0,732	1,127	1,130	1,043	1,055	0,824	1,095	1,031	1,050	0,917	0,879
0,8	0,758	0,892	0,848	1,206	0,746	1,018	0,926	0,992	1,028	0,808	1,031	0,920	0,889	0,851	0,795
1,6	0,690	0,799	0,776	1,059	0,675	0,971	0,842	0,897	0,955	0,805	0,916	0,797	0,847	0,778	0,820
3,2	0,672	0,750	0,730	0,983	0,670	0,930	0,818	0,873	0,823	0,743	0,852	0,727	0,796	0,746	0,794
Regressão com ângulos de atrito															
	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37
y_{inf}	33,9	36,8	36,4	44,6	33,1	43,1	39,4	40,7			39,3	35,2	39,0	36,5	
a	16,3	16,0	19,0	23,4	4,6	10,2	23,6	8,7			11,4	15,6	17,6	9,7	
b	- 2,0	- 1,4	- 1,9	- 1,7	- 0,7	- 1,7	- 2,4	- 1,1			- 0,8	- 1,0	- 2,2	- 1,2	
y_0	50,2	52,7	55,3	68,0	37,7	53,3	63,0	49,4			50,7	50,9	56,6	46,1	
Regressão com coeficiente de atrito															
	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37
y_{inf}	0,673		0,739	0,996	0,651		0,822	0,861			0,822	0,711	0,813	0,740	
a	0,478		0,641	1,205	0,121		0,890	0,294			0,388	0,495	0,643	0,291	
b	- 2,152		- 2,129	- 2,115	- 0,668		- 2,656	- 1,134			- 0,835	- 1,083	- 2,515	- 1,226	
y_0	1,151		1,380	2,201	0,772		1,712	1,155			1,210	1,205	1,455	1,031	
y_{inf} (°)	33,9		36,5	44,9	33,1		39,4	40,7			39,4	35,4	39,1	36,5	

Tabela 69 - Continuação grupo Baixo Sabor.

Ângulo de atrito para cada tensão normal		
σ_n (MPa)	M39	M40
0,4	40,7	52,4
0,8	39,3	45,5
1,6	38,2	42,1
3,2	37,1	40,5
Coeficiente de atrito para cada tensão normal		
σ_n (MPa)	M39	M40
0,4	0,859	1,298
0,8	0,819	1,017
1,6	0,787	0,902
3,2	0,757	0,854
Regressão com ângulos de atrito		
	M39	M40
y_{inf}	36,9	40,7
a	5,4	27,0
b	- 0,9	- 2,1
y_0	42,3	67,7
Regressão com coeficiente de atrito		
	M39	M40
y_{inf}	0,752	0,865
a	0,157	1,171
b	- 0,998	- 2,498
y_0	0,909	2,036
y_{inf} (°)	36,9	40,9

Tabela 70 - Grupo Bem Posta.

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
0,4	51,6	41,0	45,2	34,6	38,3	43,4	34,2	41,2	41,2	40,1	39,3	43,2	33,1	37,8
0,8	44,1	40,4	40,9	34,7	37,6	40,1	36,0	30,1	39,8	47,8	37,6	38,4	30,8	33,2
1,6	43,1	36,4	37,5	33,6	33,3	31,7	27,0	33,3	40,3	39,5	34,3	32,4	31,8	28,5
3,2	39,8	35,0	35,9	27,1	31,5	34,7	30,9	34,6	37,6	35,4	33,8	29,8	30,2	32,0
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
0,4	1,263	0,870	1,007	0,689	0,790	0,947	0,680	0,877	0,876	0,843	0,820	0,939	0,653	0,776
0,8	0,971	0,852	0,866	0,692	0,770	0,843	0,726	0,579	0,832	1,103	0,770	0,792	0,597	0,653
1,6	0,936	0,738	0,768	0,665	0,656	0,617	0,510	0,656	0,847	0,826	0,682	0,635	0,621	0,543
3,2	0,832	0,699	0,724	0,512	0,613	0,692	0,599	0,691	0,771	0,711	0,669	0,573	0,583	0,626
Regressão com ângulos de atrito														
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
y_{inf}	40,9	33,6	35,8		30,0	33,1					33,4	29,1		30,4
a	28,7	10,2	16,8		11,4	22,4					10,1	22,5		25,5
b	- 2,5	- 0,7	- 1,5		- 0,7	- 1,8					- 1,2	- 1,2		- 3,0
y_0	69,6	43,9	52,6		41,4	55,5					43,4	51,6		55,9
Regressão com coeficiente de atrito														
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
y_{inf}	0,874985					0,651669						0,560749		0,586797
a	1,377775					0,644605						0,640524		0,67197
b	- 3,18395					- 1,84246						- 1,30299		- 3,13566
y_0	2,25276					1,296274						1,201273		1,258767
y_{inf} (°)	41,2					33,1						29,3		30,4

Tabela 71 - Continuação grupo Bem Posta.

Ângulo de atrito para cada tensão normal				
σ_n (MPa)	N15	N16	N17	N18
0,4	38,6	46,8	44,5	33,8
0,8	34,3	44,2	43,4	29,1
1,6	32,7	42,0	41,8	32,2
3,2	30,5	41,5	37,9	30,5
Coeficiente de atrito para cada tensão normal				
σ_n (MPa)	N15	N16	N17	N18
0,4	0,800	1,063	0,982	0,670
0,8	0,683	0,973	0,947	0,556
1,6	0,641	0,899	0,893	0,631
3,2	0,590	0,886	0,779	0,588
Regressão com ângulos de atrito				
	N15	N16	N17	N18
y_{inf}	30,8	41,4		
a	14,4	10,7		
b	- 1,6	- 1,7		
y_0	45,1	52,1		
Regressão com coeficiente de atrito				
	N15	N16	N17	N18
y_{inf}	0,598582	0,88239		
a	0,399327	0,374676		
b	- 1,76735	- 1,80953		
y_0	0,997909	1,257067		
y_{inf} (°)	30,9	41,4		

Tabela 72 - Grupo Feiticeiro.

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
0,4	42,6	48,3	44,8	49,4	33,3	57,2	37,6	26,8	37,6	39,9	33,8	39,2	31,8	42,0
0,8	35,3	44,1	42,2	34,8	29,1	49,5	31,0	27,5	30,3	29,6	34,2	35,7	31,0	33,7
1,6	35,1	41,0	38,3	35,3	28,1	49,5	29,7	27,7	31,2	33,4	32,5	33,8	31,8	32,8
3,2	33,0	39,6	35,6	33,9	28,2	47,7	28,6	27,5	28,3	33,2	33,0	33,5	30,1	31,2
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
0,4	0,919	1,122	0,994	1,167	0,657	1,549	0,770	0,506	0,771	0,836	0,668	0,815	0,620	0,900
0,8	0,708	0,970	0,906	0,696	0,557	1,171	0,601	0,521	0,585	0,569	0,680	0,719	0,600	0,667
1,6	0,702	0,868	0,789	0,708	0,534	1,170	0,571	0,526	0,606	0,658	0,638	0,670	0,619	0,644
3,2	0,649	0,826	0,717	0,672	0,537	1,098	0,545	0,521	0,538	0,655	0,648	0,663	0,580	0,606
Regressão com ângulos de atrito														
	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
y_{inf}	34,0	39,5	34,6		28,1				29,7					
a	52,2	16,3	14,4		27,2				99,5					
b	- 4,5	- 1,6	- 0,8		- 6,7				- 10,1					
y_0	86,2	55,8	48,9		55,4				129,3					
Regressão com coeficiente de atrito														
	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
y_{inf}					0,535				0,572					
a					0,672				2,866					
b					- 6,841				- 10,664					
y_0					1,207				3,438					
y_{inf} (°)					28,2				29,8					

Tabela 73 - Continuação grupo Feiticeiro.

Ângulo de atrito para cada tensão normal			
σ_n (MPa)	O60	O61	O62
0,4	47,9	34,3	47,6
0,8	44,9	33,3	44,7
1,6	40,9	33,5	42,4
3,2	40,2	34,1	40,5
Coeficiente de atrito para cada tensão normal			
σ_n (MPa)	O60	O61	O62
0,4	1,107	0,682	1,094
0,8	0,996	0,658	0,990
1,6	0,868	0,661	0,913
3,2	0,845	0,678	0,853
Regressão com ângulos de atrito			
	O60	O61	O62
y_{inf}	39,9		40,2
a	14,4		11,2
b	- 2,2		- 1,7
y_0	54,2		51,4
Regressão com coeficiente de atrito			
	O60	O61	O62
y_{inf}	0,835		0,848
a	0,503		0,394
b	- 2,411		- 1,933
y_0	1,338		1,242
y_{inf} (°)	39,9		40,3

Tabela 74 - Grupo Picote.

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
0,4	48,2	35,2	42,9	43,6	50,5	48,7	46,6	43,8	47,0	43,7	43,9	44,5	41,6	31,3
0,8	39,9	35,4	37,8	38,1	44,4	42,3	40,7	32,6	38,6	38,7	41,8	36,1	36,4	31,6
1,6	38,4	34,7	36,0	34,9	42,0	40,5	40,9	34,3	39,0	36,9	36,4	33,4	34,4	31,2
3,2	38,1	30,3	36,2	34,9	40,4	43,0	33,4	38,1	33,3	30,1	37,5	35,4	31,4	30,9
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
0,4	1,120	0,706	0,931	0,951	1,214	1,136	1,059	0,961	1,074	0,956	0,962	0,984	0,887	0,607
0,8	0,836	0,710	0,775	0,785	0,980	0,908	0,859	0,640	0,797	0,801	0,894	0,729	0,739	0,614
1,6	0,794	0,692	0,727	0,698	0,902	0,854	0,867	0,682	0,809	0,752	0,738	0,660	0,684	0,606
3,2	0,785	0,584	0,731	0,697	0,850	0,933	0,660	0,785	0,658	0,581	0,767	0,710	0,612	0,600
Regressão com ângulos de atrito														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
y_{inf}	38,3		36,1	34,7	40,8	41,8	17,8		35,0	23,0	36,7	34,4	31,6	
a	60,5		28,0	23,6	23,7	100,9	29,7		25,4	22,9	14,2	63,6	16,7	
b	- 3,6		- 2,8	- 2,0	- 1,8	- 5,4			- 1,6	- 0,3	- 1,3		- 1,1	
y_0	98,8		64,1	58,3	64,5	142,6	47,5		60,4	46,0	50,9	98,0	48,3	
Regressão com coeficiente de atrito														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
y_{inf}			0,728	0,693	0,866	0,894			0,724	0,497	0,744		0,621	
a			0,887	0,738	0,987	4,116			1,363	0,547	0,433		0,495	
b			- 2,953	- 2,098	- 2,093	- 5,662			- 2,738	- 0,447	- 1,287		- 1,293	
y_0			1,615	1,431	1,852	5,010			2,088	1,044	1,177		1,117	
y_{inf} (°)			36,1	34,7	40,9	41,8			35,9	26,4	36,7		31,9	

Tabela 75 - Continuação grupo Picote.

Ângulo de atrito para cada tensão normal			
σ_n (MPa)	P12B	P13	P14
0,4	40,0	39,1	46,5
0,8	36,4	35,3	45,3
1,6	36,9	33,9	42,8
3,2	35,8	30,1	37,8
Coeficiente de atrito para cada tensão normal			
σ_n (MPa)	P12B	P13	P14
0,4	0,839	0,814	1,054
0,8	0,737	0,707	1,012
1,6	0,750	0,671	0,927
3,2	0,721	0,581	0,775
Regressão com ângulos de atrito			
	P12B	P13	P14
y_{inf}	36,3	29,1	
a	319,2	12,8	
b	- 8,9	- 0,6	
y_0	355,5	41,9	
Regressão com coeficiente de atrito			
	P12B	P13	P14
y_{inf}	0,736	0,567	
a	10,376	0,333	
b	- 9,215	- 0,692	
y_0	11,111	0,899	
y_{inf} (°)	36,3	29,5	

Tabela 76 - Grupo Salomonde.

Ângulo de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
0,4	39,6	49,1	39,8	45,8	35,3	44,1	39,3	53,0	40,9	43,0	35,1	45,2	43,9	50,9
0,8	37,3	48,1	43,2	37,6	33,2	33,5	34,3	39,6	37,5	39,6	29,8	41,0	43,1	44,3
1,6	28,4	39,8	37,7	35,2	31,8	35,2	31,3	37,4	34,9	39,7	31,9	37,8	37,2	44,0
3,2	29,5	38,9	35,6	34,3	21,3	31,3	31,4	30,5	37,6	26,7	30,3	37,0	35,9	42,2
Coeficiente de atrito para cada tensão normal														
σ_n (MPa)	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
0,4	0,829	1,156	0,833	1,029	0,709	0,968	0,819	1,326	0,865	0,931	0,702	1,009	0,962	1,232
0,8	0,761	1,113	0,941	0,769	0,654	0,662	0,681	0,826	0,768	0,829	0,572	0,870	0,936	0,976
1,6	0,541	0,834	0,774	0,706	0,620	0,706	0,608	0,766	0,698	0,830	0,623	0,775	0,760	0,965
3,2	0,565	0,808	0,716	0,681	0,390	0,608	0,610	0,588	0,771	0,503	0,585	0,753	0,725	0,908
Regressão com ângulos de atrito														
	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
y_{inf}	28,2	37,5		34,6		33,3	31,2	32,3	36,3			36,9	34,6	43,1
a	20,9	18,3		41,3		457,2	22,3	44,0	21,3			17,2	13,7	46,5
b	- 1,4	- 0,9		- 3,3		- 9,4	- 2,5	- 2,0	- 3,9			- 1,8	- 0,8	- 4,4
y_0	49,1	55,7		75,9		490,4	53,5	76,3	57,7			54,0	48,3	89,6
Regressão com coeficiente de atrito														
	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
y_{inf}				0,691		0,657			0,736					0,935
a				1,432		18,447			0,633					2,053
b				- 3,606		- 10,212			- 3,959					- 4,840
y_0				2,123		19,105			1,368					2,988
y_{inf} (°)				34,6		33,3			36,4					43,1

C. GRUPO 3: REGRESSÃO COM A DILATÂNCIA E O ÂNGULO DE DILATÂNCIA.

Tabela 77 - Grupo Alto Tâmega.

Regressão com ângulos de dilatância														
	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
y _{inf}					7,1	5,5	10,9	- 10,3						- 1,7
a					3,5	11,4	5,4	22,0						14,4
b					- 0,5	- 2,5	- 1,4	- 0,2						- 0,6
y _o					10,6	16,9	16,3	11,6						12,7
Regressão com dilatância														
	A484	A485	A486	A487	A488	A489	A490	A491	A492	A493	A494	A495	A496	A497
y _{inf}					0,125	0,096	0,192							- 0,029
a					0,063	0,204	0,099							0,254
b					- 0,519	- 2,549	- 1,393							- 0,569
y _o					0,188	0,301	0,292							0,224
y _{inf} (°)					7,2	5,5	10,9							- 1,7

Tabela 78 - Continuação grupo Alto Tâmega.

Regressão com ângulos de dilatância												
	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
y _{inf}	10,5		- 2,3	7,1		7,5				9,1	9,1	
a	7,2		8,9	2,7		6,8				9,6	6,7	
b	- 1,0		- 0,3	- 2,1		- 0,5				- 1,0	- 0,7	
y ₀	17,7		6,6	9,8		14,3				18,8	15,8	
Regressão com dilatância												
	A498	A499	A500	A501	A502	A503	A504	A505	A506	A507	A508	A509
y _{inf}	0,185		- 0,039	0,125		0,132				0,161	0,160	
a	0,134		0,155	0,048		0,122				0,177	0,122	
b	- 1,045		- 0,305	- 2,072		- 0,517				- 1,018	- 0,750	
y ₀	0,319		0,116	0,173		0,255				0,339	0,282	
y _{inf} (°)	10,5		- 2,3	7,1		7,5				9,2	9,1	-

Tabela 79 - Grupo Alvito (Xisto).

Regressão com ângulos de dilatância														
	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
y_{inf}					- 1,1		1,9			1,3				
a					6,2		8,7			7,7				
b					- 0,3		- 0,7			- 0,7				
y_0					5,0		10,6			9,0				
Regressão com dilatância														
	B514	B515	B516	B518	B519	B520	B523	B524	B525	B526	B529	B530	B532	B533
y_{inf}					- 0,019		0,033			0,023				
a					0,107		0,154			0,135				
b					- 0,255		- 0,679			- 0,738				
y_0					0,088		0,186			0,158				
$y_{inf} (^{\circ})$					- 1,1		1,9			1,3				

Tabela 80 - Continuação grupo Alvito (Xisto).

Regressão com ângulos de dilatância			
	B535	B536	B537
y_{inf}	9,7	3,4	6,5
a	6,4	5,6	4,2
b	- 2,7	- 2,1	- 0,6
y_0	16,2	9,0	10,7
Regressão com dilatância			
	B535	B536	B537
y_{inf}	0,172	0,060	0,115
a	0,123	0,098	0,074
b	- 2,837	- 2,113	- 0,570
y_0	0,294	0,158	0,189
$y_{inf} (^{\circ})$	9,7	3,4	6,6

Tabela 81 - Grupo Alvito (Grauvaque).

Regressão com ângulos de dilatância														
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
y_{inf}						3,8	7,2				7,9	8,3		7,4
a						1,8	4,2				12,5	39,6		3,3
b						- 1,1	- 0,4				- 4,2	- 8,0		- 0,7
y_0						5,5	11,3				20,4	47,9		10,7
Regressão com dilatância														
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
y_{inf}						0,066	0,126				0,138	0,146		0,130
a						0,032	0,074				0,225	0,713		0,058
b						- 1,060	- 0,379				- 4,203	- 8,011		- 0,736
y_0						0,097	0,201				0,363	0,859		0,189
$y_{inf} (^{\circ})$						3,8	7,2				7,9	8,3		7,4

Tabela 82 - Grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

Regressão com ângulos de dilatação														
	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
y _{inf}				- 1,4	4,8						4,5	8,0	2,3	
a				4,0	8,8						6,5	13,8	8,2	
b				- 0,7	- 4,8						- 0,7	- 0,9	- 0,2	
y _o				2,5	13,7						11,0	21,8	10,5	
Regressão com dilatação														
	C573	C574	C575	C576	C577	C578	C579	C580	C581	C582	C583	C584	C585	C586
y _{inf}				- 0,025	0,084						0,079	0,141	0,043	
a				0,069	0,157						0,115	0,256	0,143	
b				- 0,702	- 4,797						- 0,726	- 0,952	- 0,175	
y _o				0,044	0,241						0,194	0,397	0,186	
y _{inf} (°)				- 1,4	4,8						4,5	8,0	2,4	

Tabela 83 - Continuação grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

Regressão com ângulos de dilatância								
	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
y_{inf}		4,9						
a		9,2						
b		- 2,2						
y_0		14,1						
Regressão com dilatância								
	C587	C588	C589	C590	C591	C592	C593	C594
y_{inf}		0,086						
a		0,165						
b		- 2,240						
y_0		0,250						
y_{inf} (°)		4,9						

Tabela 84 - Grupo Cahora Bassa.

Regressão com ângulos de dilatação														
	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
y_{inf}	5,8	5,3	11,3	- 0,2				3,1	4,6	- 738,2		6,1		
a	3,1	10,5	9,9	12,3				3,0	10,4	746,8		13,4		
b	- 1,1	- 1,6	- 1,4	- 0,7				- 0,7	- 2,3	0,0		- 0,8		
y_0	8,9	15,9	21,1	12,1				6,0	15,0	8,6		19,5		
Regressão com dilatação														
	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D335	D336	D337	D389
y_{inf}	0,101	0,094	0,199	- 0,004				0,053	0,080	- 4,174		0,109		
a	0,056	0,190	0,186	0,217				0,052	0,184	4,325		0,245		
b	- 1,136	- 1,642	- 1,482	- 0,738				- 0,725	- 2,289	- 0,003		- 0,784		
y_0	0,156	0,283	0,385	0,213				0,106	0,265	0,151		0,353		
$y_{inf} (^\circ)$	5,8	5,3	11,3	- 0,2				3,1	4,6	- 76,5		6,2		

Tabela 85 - Continuação grupo Cahora Bassa.

Regressão com ângulos de dilatação						
	D390	D391	D392	D393	D394	D395
y_{inf}				11,5	5,8	4,9
a				1,4	4,4	4,2
b				- 0,3	- 2,1	- 0,4
y_0				13,0	10,2	9,1
Regressão com dilatação						
	D390	D391	D392	D393	D394	D395
y_{inf}					0,102	0,086
a					0,079	0,074
b					- 2,059	- 0,379
y_0					0,180	0,160
$y_{inf} (^{\circ})$					5,8	4,9

Tabela 86 - Grupo Daivões.

Regressão com ângulos de dilatância														
	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
y_{inf}	6,7		4,8		3,0				9,9	3,2			6,0	-2,6
a	8,7		8,8		7,0				17,8	10,3			10,9	12,5
b	-1,0		-1,0		-2,4				-2,3	-0,3			-0,8	-1,1
y_0	15,4		13,6		10,0				27,6	13,5			16,9	9,8
Regressão com dilatância														
	E595	E596	E597	E598	E599	E600	E601	E602	E603	E604	E605	E606	E607	E608
y_{inf}	0,118		0,085		0,052				0,174	0,059			0,106	-0,046
a	0,157		0,156		0,123				0,336	0,181			0,197	0,218
b	-0,990		-1,040		-2,447				-2,378	-0,288			-0,846	-1,089
y_0	0,275		0,241		0,175				0,510	0,240			0,303	0,173
$y_{inf} (^\circ)$	6,7		4,9		3,0				9,9	3,4			6,0	-2,6

Tabela 87 - Continuação grupo Daivões.

Regressão com ângulos de dilatação				
	E622	E623	E624	E625
y_{inf}	6,4	4,3	1,7	
a	3,5	12,7	5,6	
b	- 1,1	- 0,2	- 0,3	
y_0	9,9	17,1	7,3	
Regressão com dilatação				
	E622	E623	E624	E625
y_{inf}	0,111	0,085	0,031	
a	0,062	0,222	0,098	
b	- 1,056	- 0,181	- 0,324	
y_0	0,174	0,307	0,129	
$y_{inf} (^{\circ})$	6,4	4,9	1,8	

Tabela 88 - Grupo Foz Tua (Granito).

Regressão com ângulos de dilatância														
	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
y_{inf}	4,4			8,9			6,7		13,9			7,5		10,3
a	9,4			11,4			6,2		12,6			7,5		11,9
b	- 0,8			- 1,2			- 0,3		- 2,0			- 0,6		- 1,5
y_0	13,8			20,2			12,8		26,5			15,0		22,2
Regressão com dilatância														
	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34
y_{inf}	0,077						0,118		0,248			0,132		0,181
a	0,168						0,110		0,242			0,135		0,222
b	- 0,774						- 0,341		- 2,056			- 0,634		- 1,543
y_0	0,245						0,228		0,490			0,267		0,404
$y_{inf} (^{\circ})$	4,4						6,7		14,0			7,5		10,3

Tabela 89 - Continuação grupo Foz Tua (Granito).

Regressão com ângulos de dilatância											
	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
y_{inf}				2,3						10,0	
a				6,5						6,4	
b				- 0,8						- 1,3	
y_0				8,9						16,4	
Regressão com dilatância											
	F35	F36	F37	F38	F39	F116	F117	F118	F204	F205	F206
y_{inf}				0,041						0,176	
a				0,115						0,117	
b				- 0,769						- 1,282	
y_0				0,156						0,294	
$y_{inf} (^{\circ})$				2,4						10,0	

Tabela 90 - Grupo Foz Tua (Metagrauvaque).

Regressão com ângulos de dilatância			
	B517	B521	B522
y_{inf}			
a			
b			
y_0			
Regressão com dilatância			
	B517	B521	B522
y_{inf}			
a			
b			
y_0			
$y_{inf} (^\circ)$			

Tabela 91 - Grupo Fridão (Jusante).

Regressão com ângulos de dilatância											
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541
y_{inf}	- 3,3			7,1		10,0	6,2				
a	14,7			6,6		14,2	9,1				
b	- 0,5			- 0,6		- 3,5	- 4,1				
y_0	11,4			13,7		24,1	15,2				
Regressão com dilatância											
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541
y_{inf}	- 0,056			0,124		0,176	0,108				
a	0,257			0,120		0,261	0,161				
b	- 0,529			- 0,566		- 3,546	- 4,148				
y_0	0,200			0,244		0,437	0,269				
$y_{inf} (^{\circ})$	- 3,2			7,1		10,0	6,2				

Tabela 92 - Grupo Fridão (Montante).

Regressão com ângulos de dilatação															
	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75	H76
y_{inf}		3,0	5,9	5,5	10,6	- 1,4	1,6		5,7					4,3	5,3
a		4,5	4,1	9,4	8,7	12,0	11,9		7,6					7,3	9,2
b		- 0,5	- 0,6	- 0,8	- 0,7	- 1,2	- 1,0		- 0,8					- 2,0	- 0,8
y_0		7,5	10,0	14,9	19,3	10,6	13,4		13,3					11,6	14,5
Regressão com dilatação															
	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	H70	H71	H72	H73	H74	H75	H76
y_{inf}		0,052	0,103	0,096	0,188	- 0,025	0,028		0,100					0,074	0,094
a		0,080	0,073	0,169	0,161	0,211	0,210		0,135					0,129	0,164
b		- 0,556	- 0,623	- 0,774	- 0,758	- 1,204	- 0,991		- 0,857					- 1,986	- 0,788
y_0		0,132	0,176	0,265	0,348	0,186	0,238		0,235					0,204	0,258
$y_{inf} (^{\circ})$		3,0	5,9	5,5	10,6	- 1,4	1,6		5,7					4,3	5,4

Tabela 93 - Grupo Gouvães (Barragem).

Regressão com ângulos de dilatância														
	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
y_{inf}		7,7					1,1						4,7	6,1
a		2,4					3,0						8,9	5,0
b		- 1,6					- 2,4						- 0,8	- 0,4
y_0		10,1					4,1						13,6	11,1
Regressão com dilatância														
	I254	I255	I256	I257	I258	I259	I260	I261	I262	I263	I264	I265	I266	I267
y_{inf}														
a														
b														
y_0														
$y_{inf} (^\circ)$														

Tabela 94 - Continuação grupo Gouvães (Barragem).

Regressão com ângulos de dilatação				
	I268	I269	I270	I271
y_{inf}				3,4
a				8,2
b				- 1,5
y_0				11,6
Regressão com dilatação				
	I268	I269	I270	I271
y_{inf}				
a				
b				
y_0				
$y_{inf} (^{\circ})$				

Tabela 95 - Grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

Regressão com ângulos de dilatação														
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
y_{inf}		5,4	4,7		4,4	3,3	- 15,7				6,1	4,5	5,2	- 0,9
a		7,1	10,7		5,9	11,2	24,8				8,5	8,8	5,8	5,8
b		- 1,7	- 0,8		- 0,6	- 1,4	0,0				- 1,1	- 0,6	- 1,4	- 1,0
y_0		12,6	15,4		10,3	14,5	9,2				14,6	13,3	11,0	4,9
Regressão com dilatação														
	B517	B521	B522	B527	B528	B531	B534	B538	B539	B540	B541	B542	B543	B544
y_{inf}		0,095	0,082		0,078	0,058	- 0,243				0,107	0,079	0,092	- 0,016
a		0,127	0,192		0,105	0,200	0,404				0,154	0,156	0,102	0,101
b		- 1,669	- 0,838		- 0,617	- 1,420	- 0,047				- 1,086	- 0,640	- 1,446	- 1,025
y_0		0,221	0,275		0,182	0,257	0,161				0,261	0,235	0,194	0,085
$y_{inf} (^\circ)$		5,4	4,7		4,4	3,3	- 13,6				6,1	4,5	5,2	- 0,9

Tabela 96 - Continuação grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

Regressão com ângulos de dilatação						
	B545	B546	B547	B548	B549	B550
y _{inf}	- 4,1			0,7	5,8	- 3,0
a	5,7			12,7	9,4	11,5
b	- 0,2			- 0,3	- 0,7	- 0,2
y ₀	1,6			13,4	15,2	8,5
Regressão com dilatação						
	B545	B546	B547	B548	B549	B550
y _{inf}	- 0,071			0,015	0,102	- 0,050
a	0,100			0,223	0,169	0,200
b	- 0,178			- 0,354	- 0,760	- 0,235
y ₀	0,028			0,238	0,271	0,150
y _{inf} (°)	- 4,1			0,9	5,8	- 2,9

Tabela 97 - Grupo Parabela.

Regressão com ângulos de dilatância														
	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
y_{inf}	2,8	4,0		- 0,1	1,8				7,8	- 0,2			2,8	- 5,6
a	12,7	4,5		9,6	6,5				7,1	6,6			2,5	9,8
b	- 1,1	- 0,6		- 0,8	- 1,2				- 0,9	- 0,2			- 1,1	- 0,2
y_0	15,5	8,4		9,5	8,3				14,9	6,5			5,3	4,1
Regressão com dilatância														
	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	L135	L137	L140	L141	L142	L143	L144
y_{inf}	0,049	0,069		- 0,002	0,031				0,137	- 0,003			0,049	- 0,097
a	0,226	0,079		0,168	0,113				0,129	0,116			0,044	0,170
b	- 1,142	- 0,657		- 0,831	- 1,240				- 0,921	- 0,179			- 1,063	- 0,158
y_0	0,275	0,148		0,167	0,145				0,266	0,113			0,093	0,072
$y_{inf} (^{\circ})$	2,8	4,0		- 0,1	1,8				7,8	- 0,2			2,8	- 5,6

Tabela 98 - Continuação grupo Paradela.

Regressão com ângulos de dilatação												
	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
y _{inf}	4,2	3,5		1,4		2,8		5,6		4,2		
a	3,5	3,6		2,9		4,8		10,3		5,7		
b	- 0,7	- 0,6		- 0,3		- 0,4		- 0,8		- 0,9		
y ₀	7,7	7,1		4,4		7,5		15,9		9,9		
Regressão com dilatação												
	L145	L146	L247	L248	L249	L250	L251	L252	L253	L254	L255	L256
y _{inf}	0,073	0,061		0,025		0,049		0,099		0,074		
a	0,062	0,064		0,051		0,083		0,186		0,101		
b	- 0,734	- 0,586		- 0,315		- 0,437		- 0,871		- 0,907		
y ₀	0,135	0,125		0,076		0,132		0,285		0,175		
y _{inf} (°)	4,2	3,5		1,4		2,8		5,7		4,2		

Tabela 99 - Grupo Baixo Sabor.

Regressão com ângulos de dilatância														
	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
y_{inf}	4,0		7,1	6,3	10,7	14,3			5,8			4,6		6,4
a	4,5		5,4	6,0	5,6	25,1			4,7			7,4		5,4
b	- 0,4		- 1,2	- 0,8	- 4,1	- 4,7			- 1,1			- 1,5		- 1,5
y_0	8,5		12,5	12,2	16,3	39,4			10,5			12,0		11,7
Regressão com dilatância														
	M1	M1A	M2	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M16
y_{inf}			0,124	0,110	0,188	0,254			0,101			0,081		0,112
a			0,097	0,107	0,103	0,483			0,083			0,131		0,096
b			- 1,213	- 0,763	- 4,073	- 4,778			- 1,102			- 1,475		- 1,469
y_0			0,221	0,217	0,291	0,737			0,184			0,212		0,208
y_{inf} (°)			7,1	6,3	10,7	14,3			5,8			4,6		6,4

Tabela 100 - Continuação grupo Baixo Sabor.

Regressão com ângulos de dilatação															
	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37
y_{inf}	2,6		5,0	6,1	2,7		8,0	4,9			8,5	4,1	5,3	4,5	
a	4,9		6,8	7,4	6,0		21,0	6,8			6,6	8,8	8,5	8,9	
b	- 1,2		- 1,4	- 0,5	- 1,4		- 2,6	- 0,3			- 2,6	- 1,5	- 1,6	- 0,6	
y_0	7,5		11,8	13,5	8,7		29,0	11,7			15,1	13,0	13,8	13,4	
Regressão com dilatação															
	M17	M19	M20	M21	M22	M26	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37
y_{inf}	0,046		0,088	0,109	0,047		0,141				0,149	0,072	0,093	0,079	
a	0,086		0,121	0,131	0,105		0,397				0,120	0,157	0,152	0,158	
b	- 1,241		- 1,370	- 0,495	- 1,360		- 2,707				- 2,627	- 1,492	- 1,575	- 0,603	
y_0	0,132		0,209	0,240	0,152		0,537				0,269	0,229	0,245	0,237	
$y_{inf} (^{\circ})$	2,6		5,0	6,2	2,7		8,0				8,5	4,1	5,3	4,5	

Tabela 101 - Continuação grupo Baixo Sabor.

Regressão com ângulos de dilatação		
	M39	M40
y_{inf}	4,3	6,2
a	4,8	11,7
b	- 0,5	- 1,3
y_0	9,1	17,9
Regressão com dilatação		
	M39	M40
y_{inf}	0,075	0,108
a	0,086	0,211
b	- 0,536	- 1,302
y_0	0,161	0,318
y_{inf} (°)	4,3	6,2

Tabela 102 - Grupo Bem Posta.

Regressão com ângulos de dilatância														
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
y_{inf}	11,2					3,5						5,6		3,9
a	19,6					115,0						12,2		3,7
b	- 1,4					- 4,1						- 0,7		- 1,5
y_0	30,8					118,4						17,8		7,6
Regressão com dilatância														
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
y_{inf}	0,197					0,061						0,099		0,069
a	0,375					2,373						0,221		0,065
b	- 1,412					- 4,268						- 0,765		- 1,546
y_0	0,572					2,434						0,319		0,134
$y_{inf} (^\circ)$	11,2					3,5						5,6		3,9

Tabela 103 - Continuação grupo Bem Posta.

Regressão com ângulos de dilatação				
	N15	N16	N17	N18
y_{inf}	7,7	9,6		
a	7,0	20,2		
b	- 1,5	- 2,2		
y_0	14,7	29,9		
Regressão com dilatação				
	N15	N16	N17	N18
y_{inf}	0,136	0,170		
a	0,126	0,382		
b	- 1,502	- 2,222		
y_0	0,262	0,553		
$y_{inf} (^{\circ})$	7,7	9,7		

Tabela 104 - Grupo Feiticeiro.

Regressão com ângulos de dilatação														
	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
y_{inf}		5,4			0,3				- 1,1					
a		7,3			0,8				6,2					
b		- 0,3			- 3,0				- 4,2					
y_0		12,6			1,1				5,1					
Regressão com dilatação														
	O43	O47	O48	O49	O50	O51	O52	O53	O54	O55	O56	O57	O58	O59
y_{inf}					0,006				- 0,019					
a					0,014				0,108					
b					- 3,001				- 4,209					
y_0					0,020				0,090					
$y_{inf} (^{\circ})$					0,3				- 1,1					

Tabela 105 - Continuação grupo Feiticeiro.

Regressão com ângulos de dilatação			
	O60	O61	O62
y_{inf}	5,3		6,6
a	5,0		6,3
b	- 0,9		- 1,2
y_0	10,3		12,9
Regressão com dilatação			
	O60	O61	O62
y_{inf}	0,093		0,116
a	0,089		0,113
b	- 0,874		- 1,176
y_0	0,182		0,229
$y_{inf} (^\circ)$	5,3		6,6

Tabela 106 - Grupo Picote.

Regressão com ângulos de dilatação														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
y_{inf}				2,1	5,9	6,6			5,4				- 3,1	
a				13,6	11,7	8,0			157,0				13,7	
b				- 1,2	- 2,3	- 1,1			- 6,9				- 0,3	
y_0				15,7	17,7	14,5			162,5				10,6	
Regressão com dilatação														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P8A	P8B	P8C	P9	P10A	P10B	P11A	P12A
y_{inf}			0,032	0,037	0,104	0,115			0,095	- 0,026	0,011		- 0,051	
a			0,166	0,242	0,213	0,143			2,880	0,236	0,225		0,239	
b			- 0,426	- 1,170	- 2,359	- 1,087			- 6,944	- 0,475	- 0,149		- 0,282	
y_0			0,197	0,278	0,318	0,258			2,975	0,209	0,237		0,188	
$y_{inf} (^\circ)$			1,8	2,1	6,0	6,6			5,4	- 1,5	0,7		- 2,9	

Tabela 107 - Continuação grupo Picote.

Regressão com ângulos de dilatância			
	P12B	P13	P14
y_{inf}	5,0	2,7	
a	8,5	13,1	
b	- 0,5	- 0,8	
y_0	13,4	15,8	
Regressão com dilatância			
	P12B	P13	P14
y_{inf}	0,087	0,048	
a	0,151	0,234	
b	- 0,554	- 0,859	
y_0	0,238	0,282	
$y_{inf} (^{\circ})$	5,0	2,8	

Tabela 108 - Grupo Salomonde.

Regressão com ângulos de dilatância														
	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
y_{inf}				- 0,4		0,1			2,9					9,2
a				5,6		10,0			8,5					8,2
b				- 0,3		- 1,1			- 0,5					- 1,7
y_0				5,2		10,2			11,3					17,5
Regressão com dilatância														
	Q101	Q102	Q103	Q104	Q105	Q106	Q107	Q108	Q109	Q110	Q111	Q112	Q135	Q136
y_{inf}				- 0,006		0,003			0,050					0,163
a				0,098		0,176			0,150					0,151
b				- 0,270		- 1,148			- 0,552					- 1,705
y_0				0,092		0,179			0,200					0,314
$y_{inf} (^\circ)$				- 0,4		0,1			2,9					9,2

ANEXO B
GRÁFICOS PRODUZIDOS.

A. HISTOGRAMAS COMPARATIVOS ENTRE O ϕ_{MC} MAIS O i_0 E O PHI DO ENSAIO A 0,4 MPA.

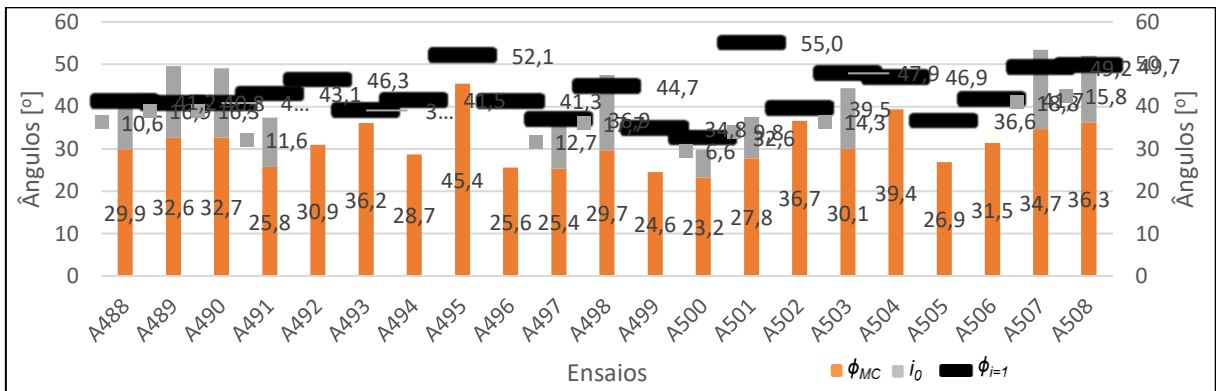


Fig. 1- Grupo Alto Tâmega.

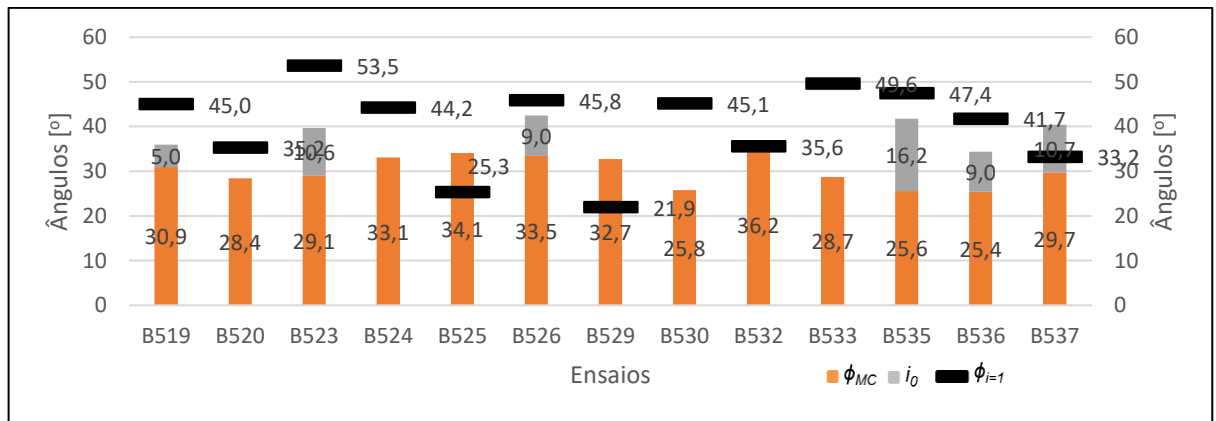


Fig. 2- Grupo Alvito (Xisto).

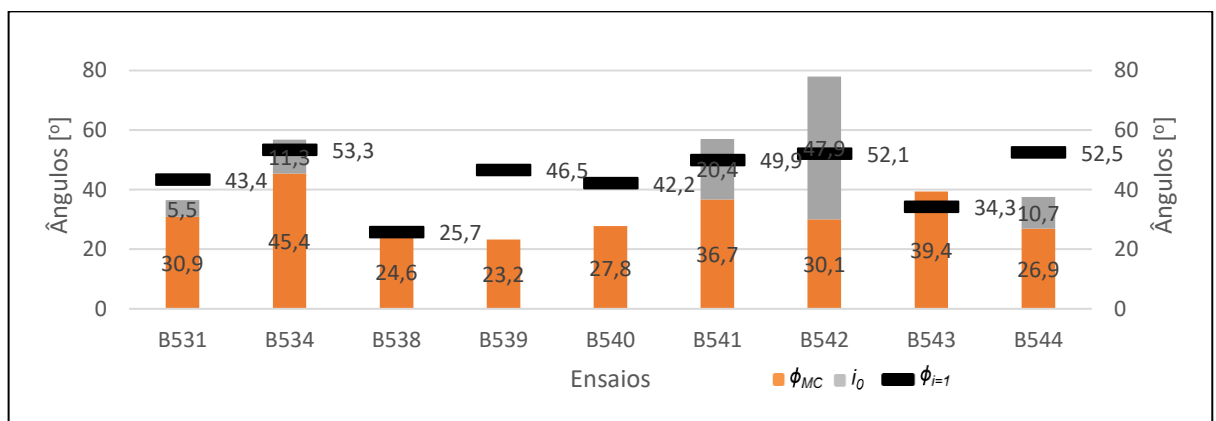


Fig. 3- Grupo Alvito (Grauvaque).

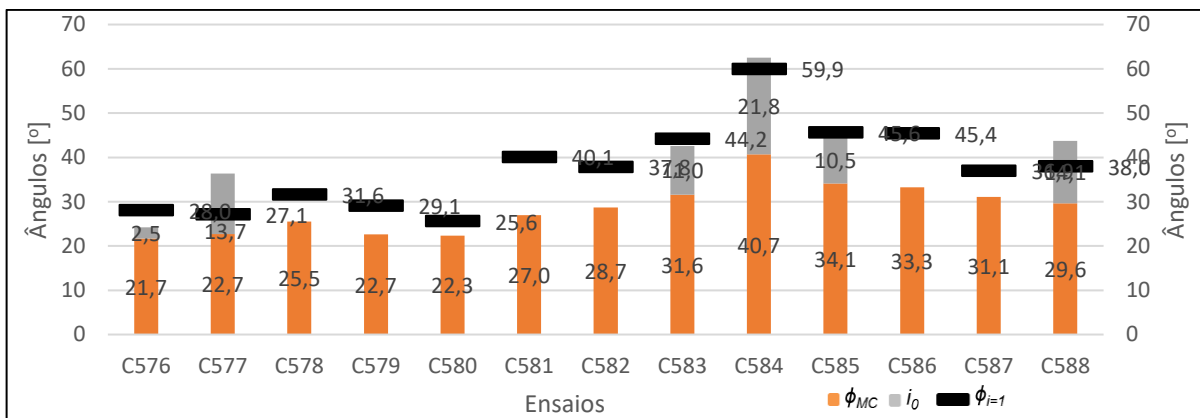


Fig. 4- Grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

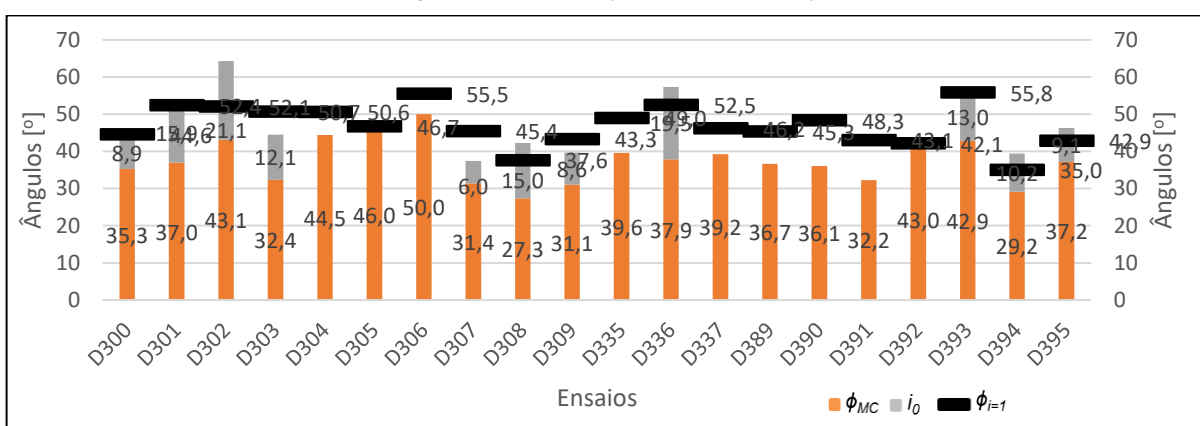


Fig. 5- Grupo Cahora Bassa.

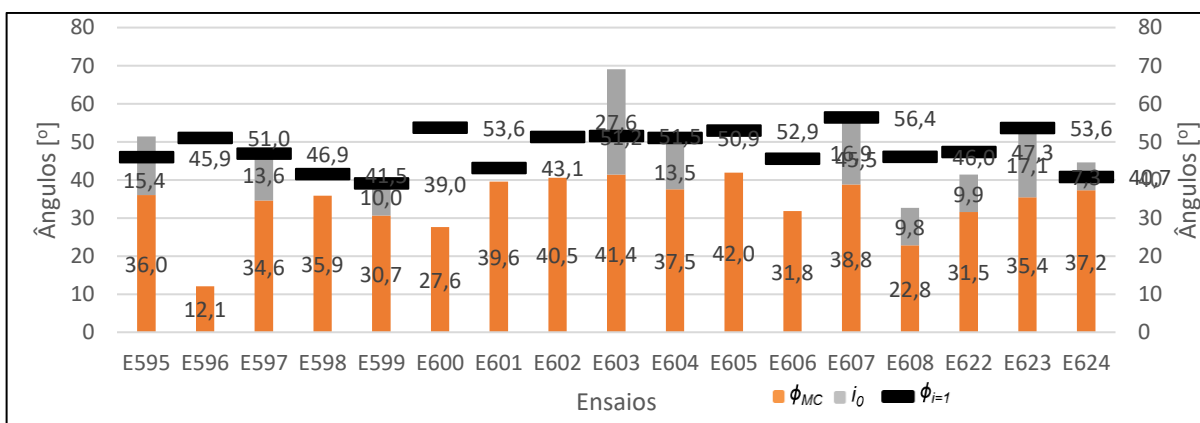


Fig. 6- Grupo Daivões.

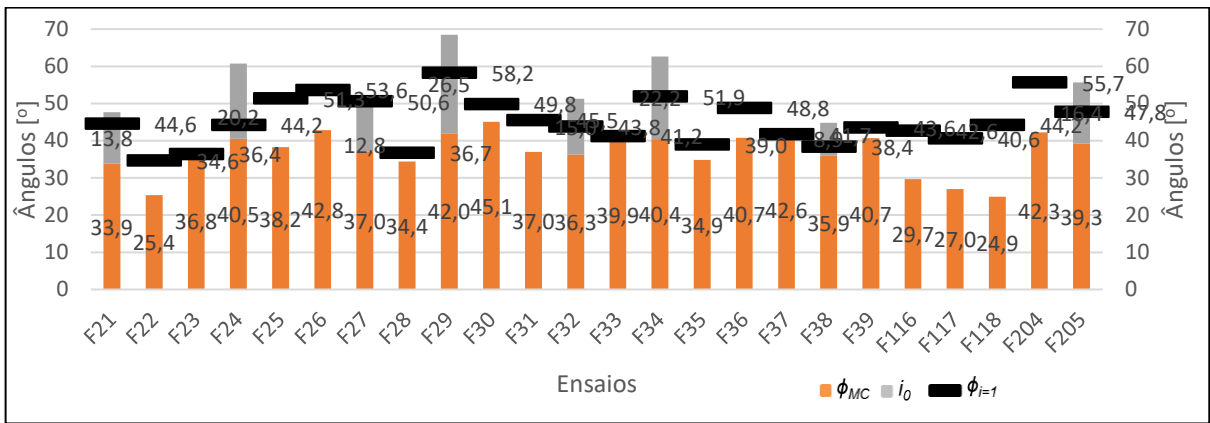


Fig. 7- Grupo Foz Tua (Granito).

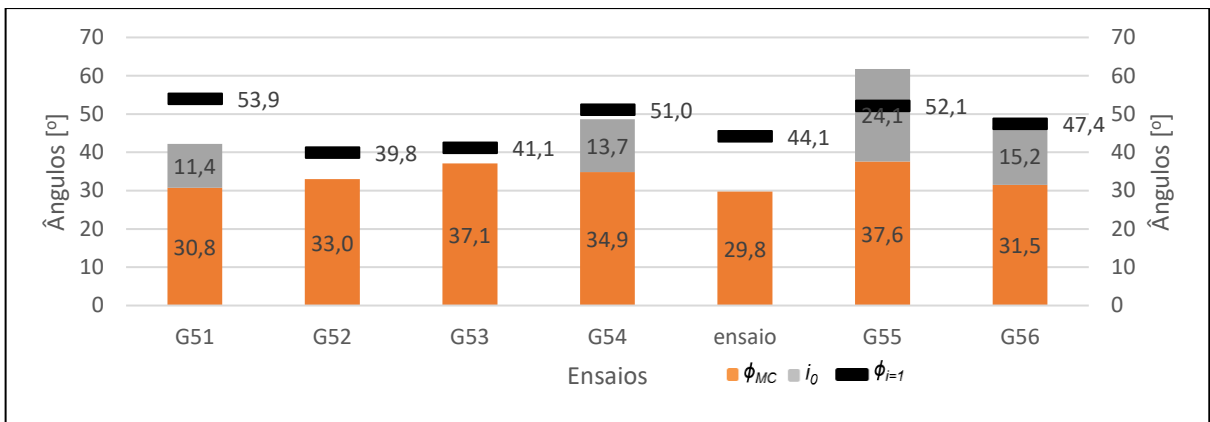


Fig. 8- Grupo Fridão (Jusante).

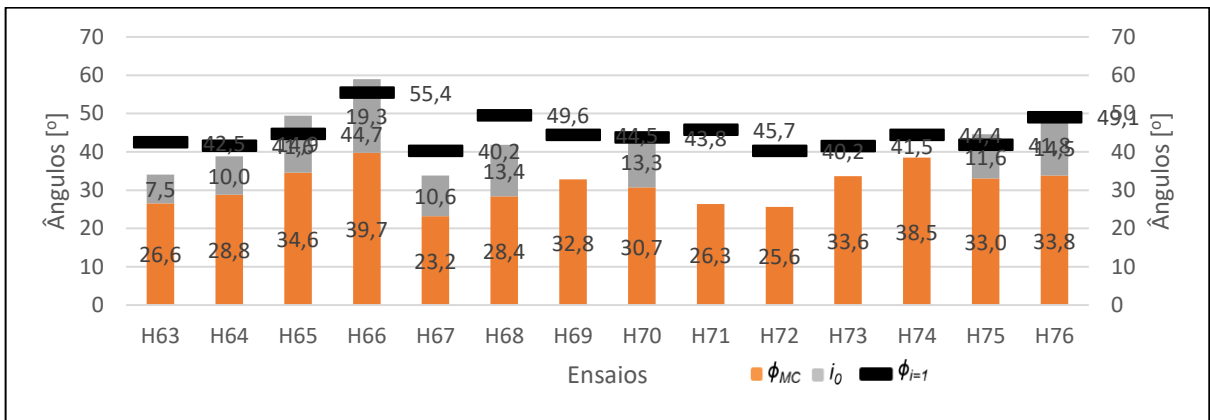


Fig. 9- Grupo Fridão (Montante).

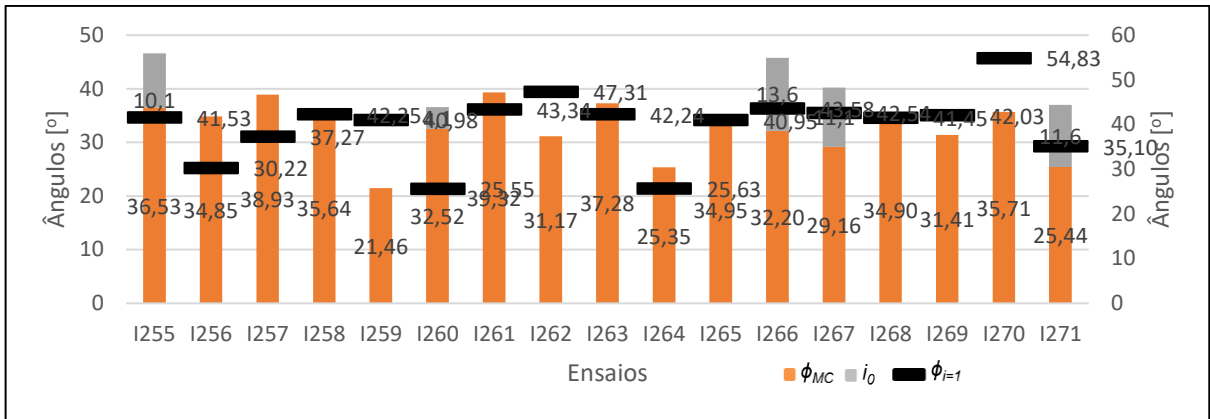


Fig. 10- Grupo Gouvães (Barragem).

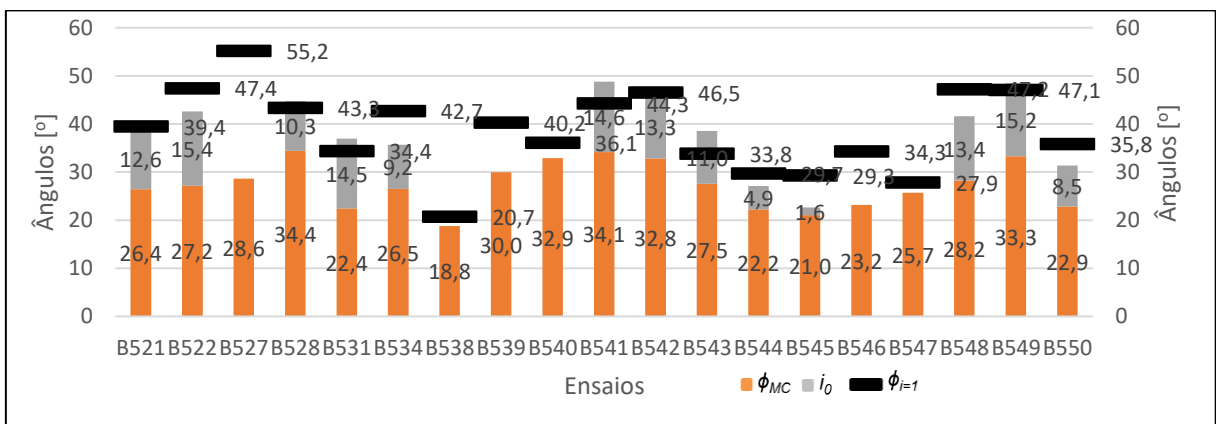


Fig. 11- Grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

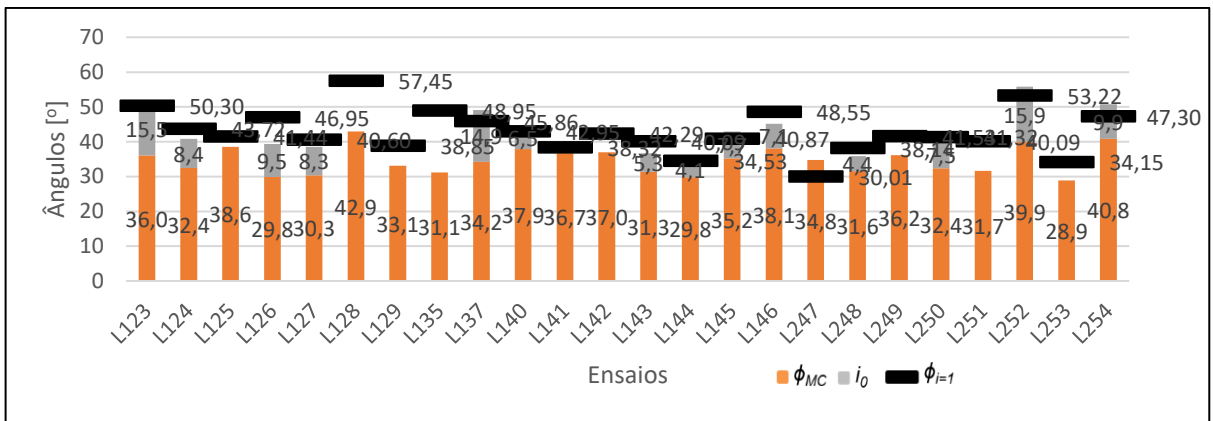


Fig. 12- Grupo Paradelá.

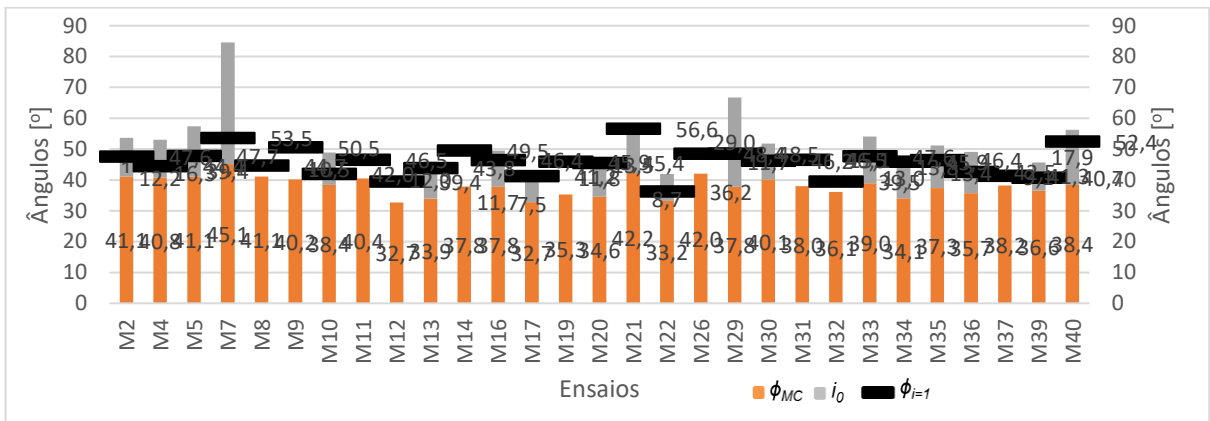


Fig. 13- Grupo Baixo Sabor.

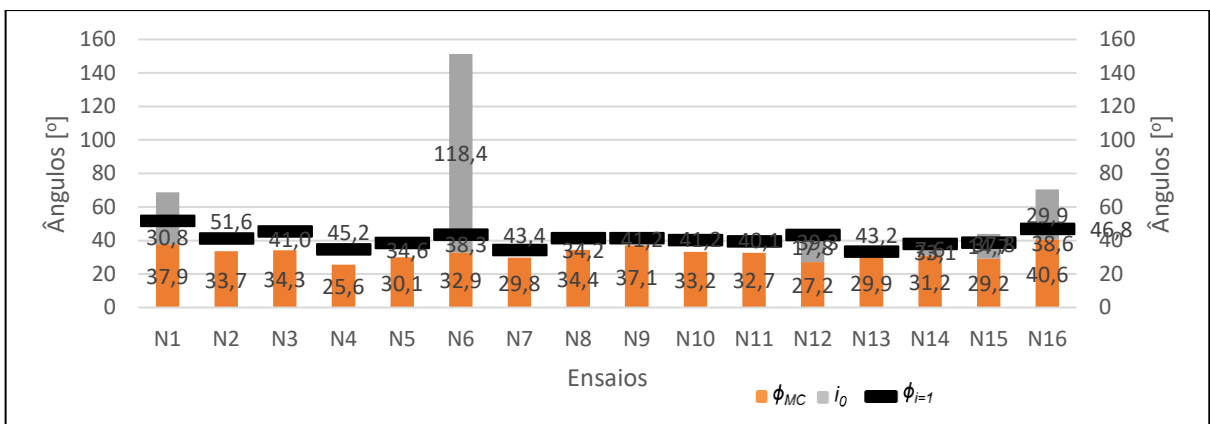


Fig. 14- Grupo Bemposta.

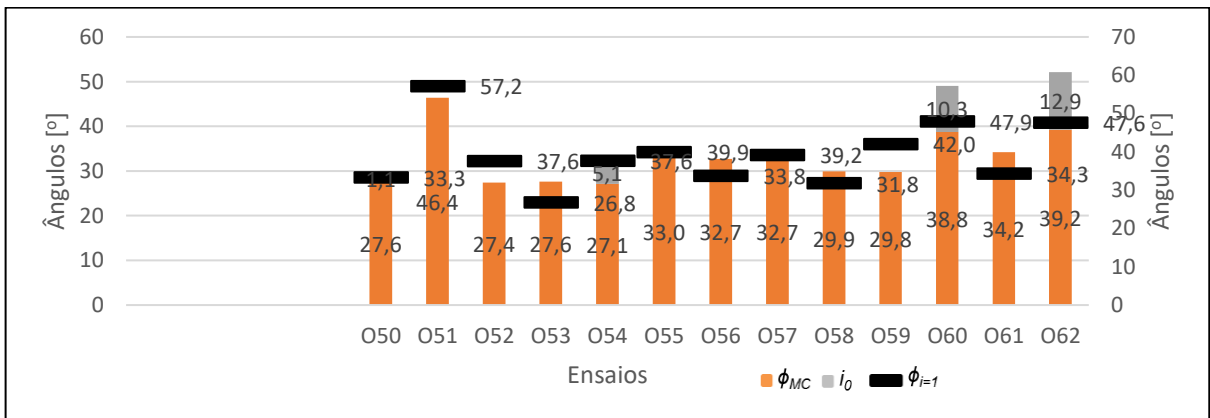


Fig. 15- Grupo Feiticeiro.

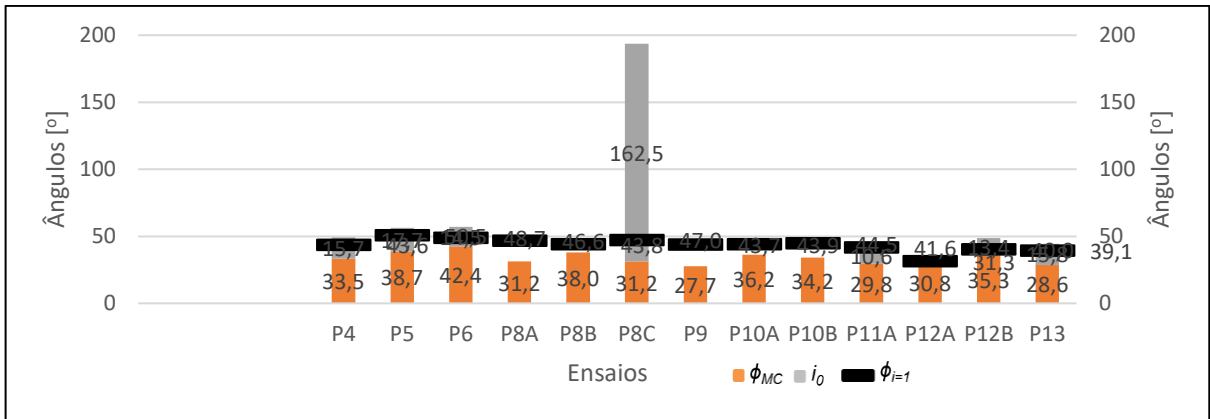


Fig. 16- Grupo Picote.

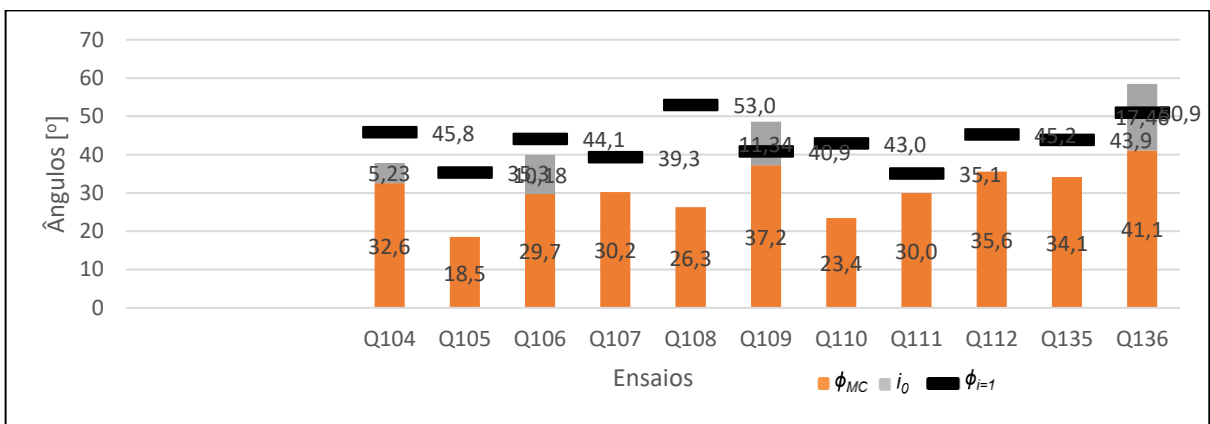


Fig. 17- Grupo Salamonde.

B. HISTOGRAMAS COMPARATIVOS ENTRE O $\phi_{\text{REGRESSÃO}}$ MAIS O i_0 E O $\phi_{i=1}$ DO ENSAIO A 0,4 MPA.

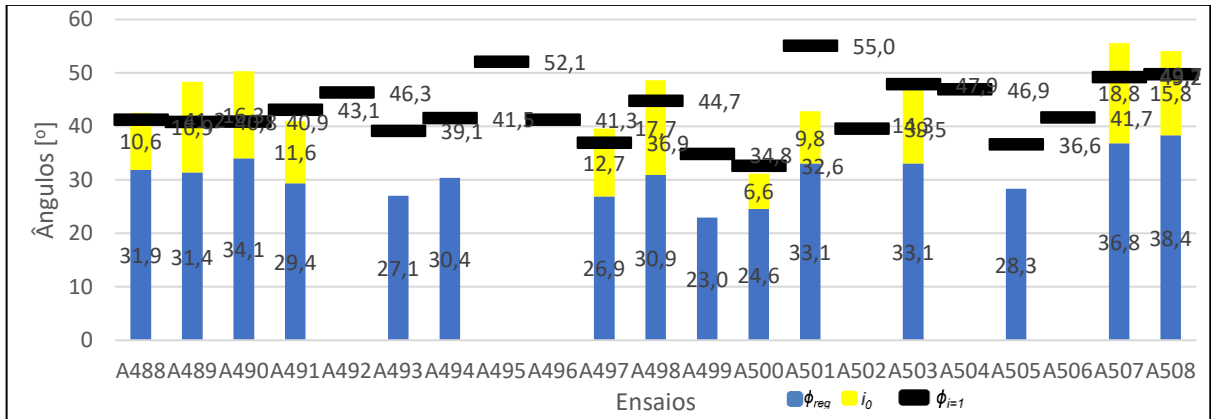


Fig. 18- Grupo Alto Tâmega.

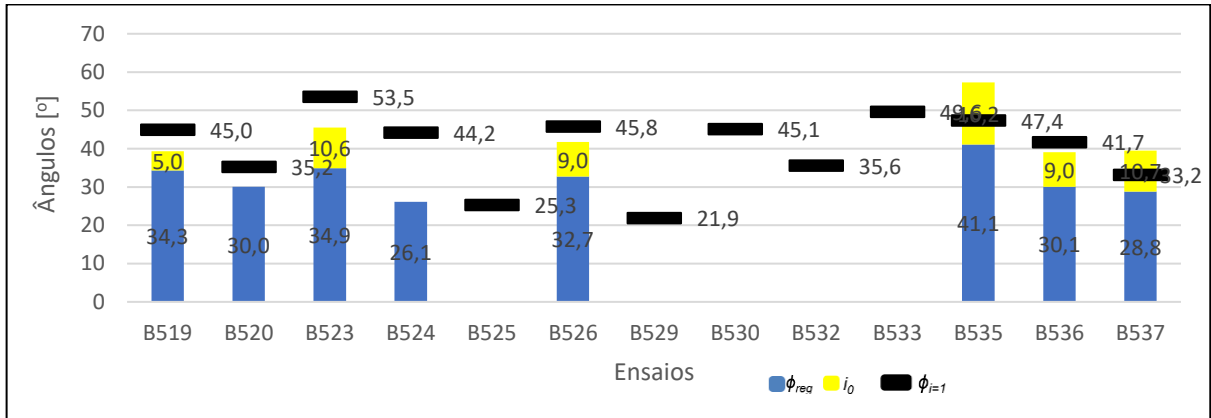


Fig. 19- Grupo Alvito (Xisto).

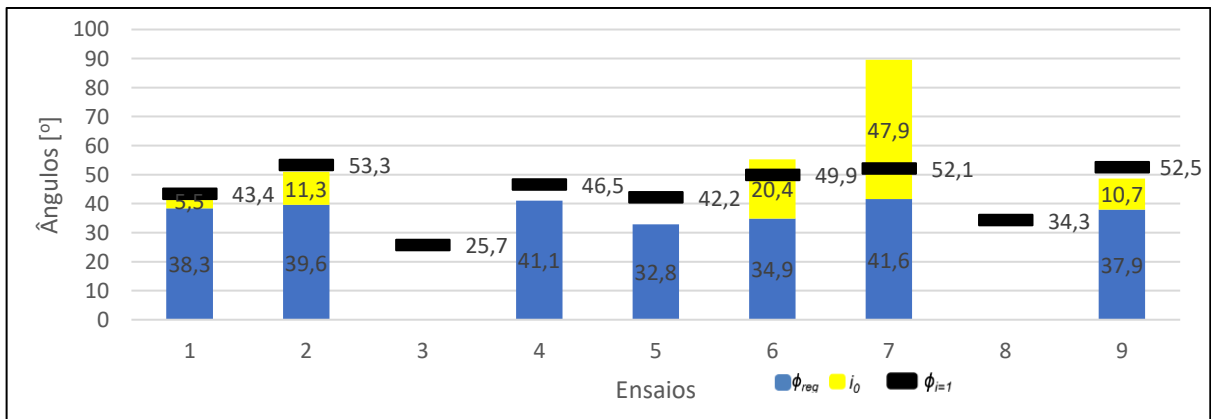


Fig. 20- Grupo Alvito (Grauvaque).

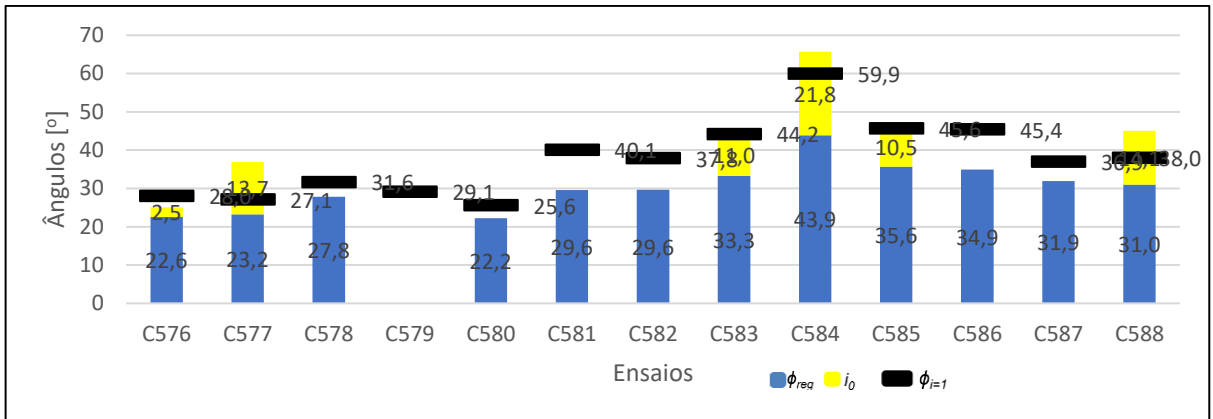


Fig. 21- Grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

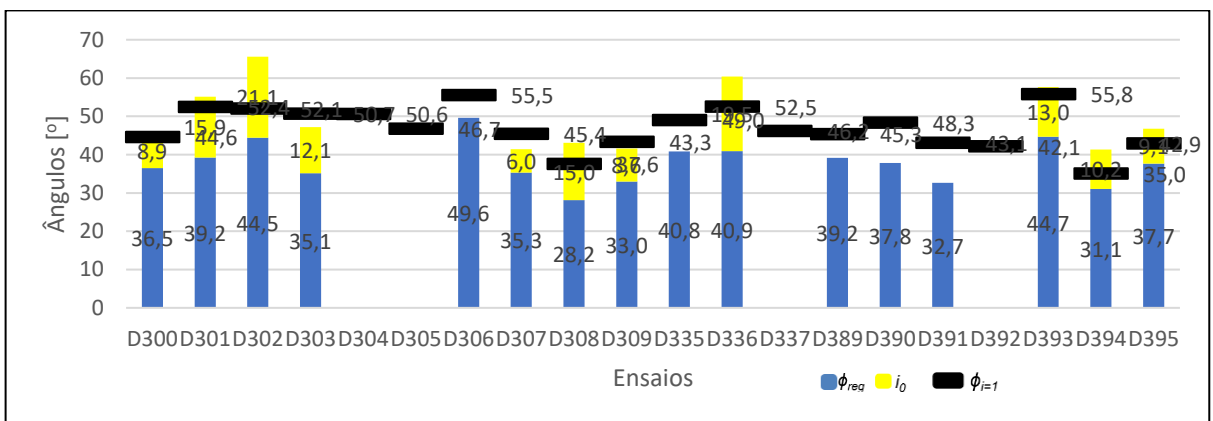


Fig. 22- Grupo Cahora Bassa.

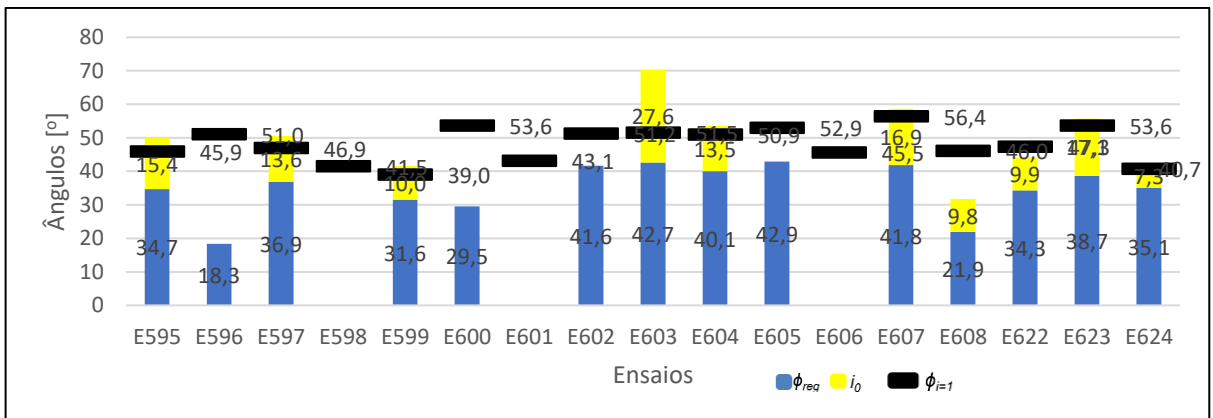


Fig. 23- Grupo Daivões.

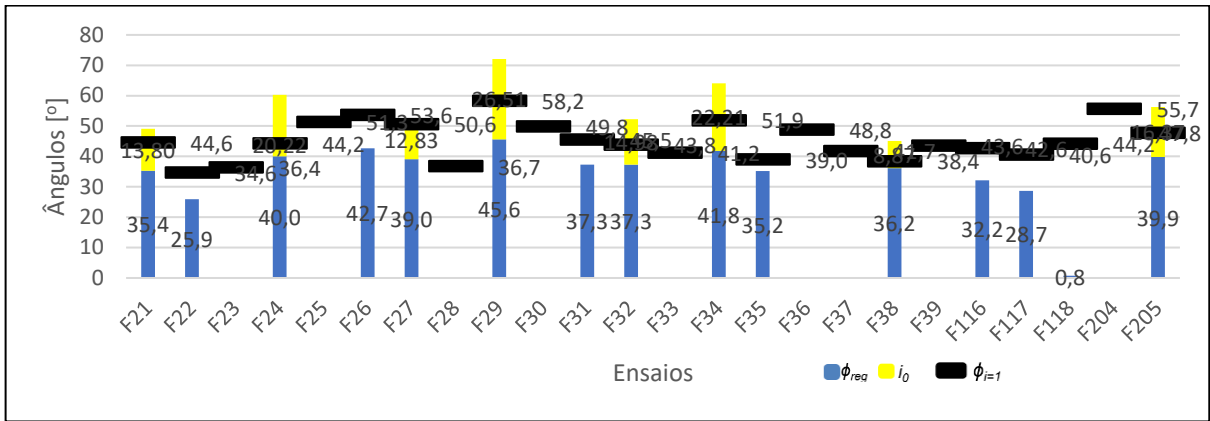


Fig. 24- Grupo Foz Tua (Granito).

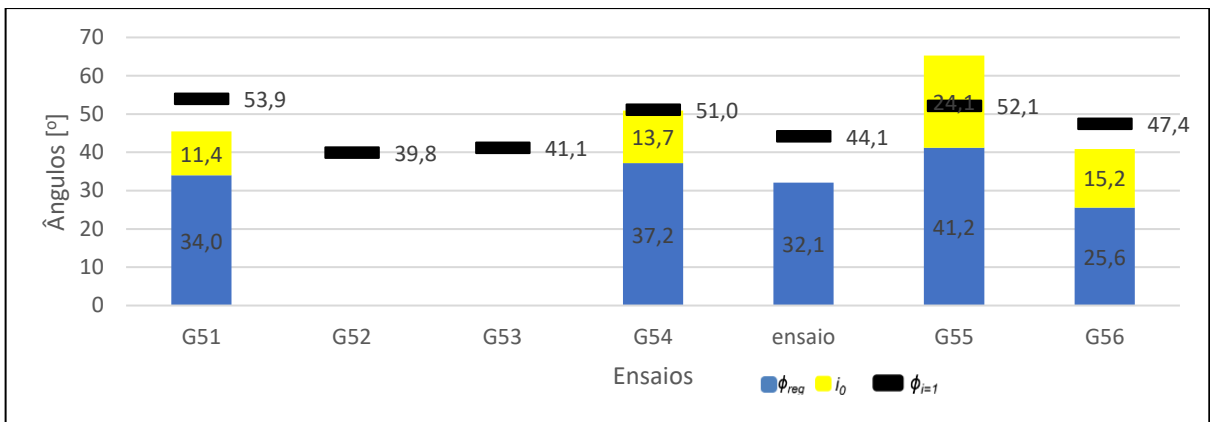


Fig. 25- Grupo Fridão (Jusante).

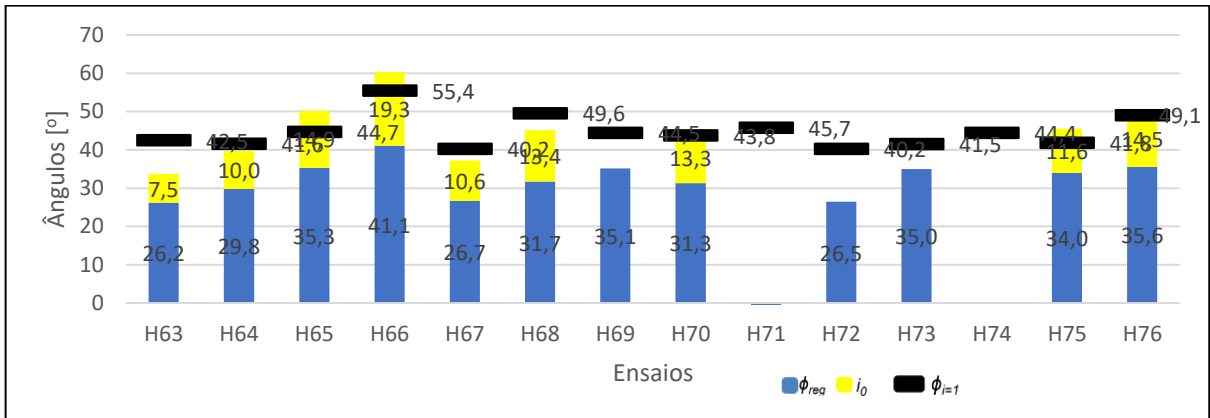


Fig. 26- Grupo Fridão (Montante).

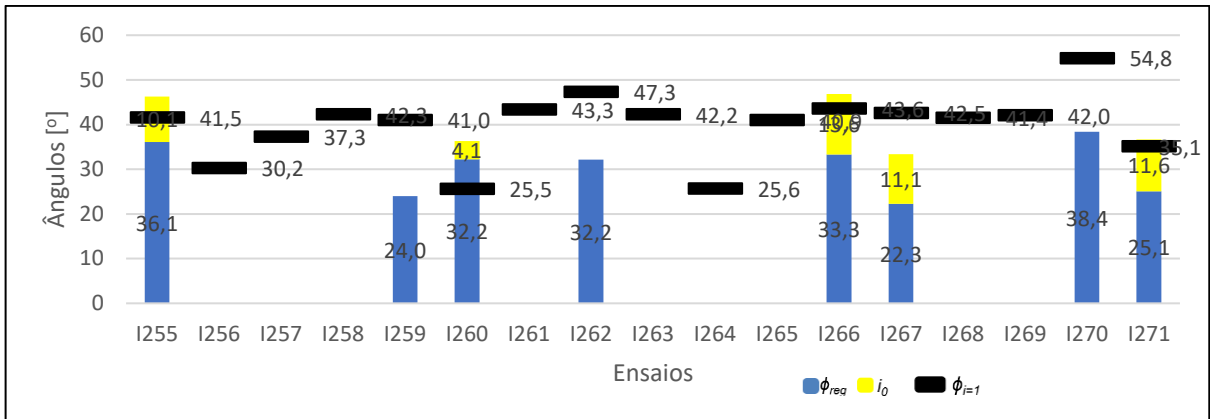


Fig. 27- Grupo Gouvães (Barragem).

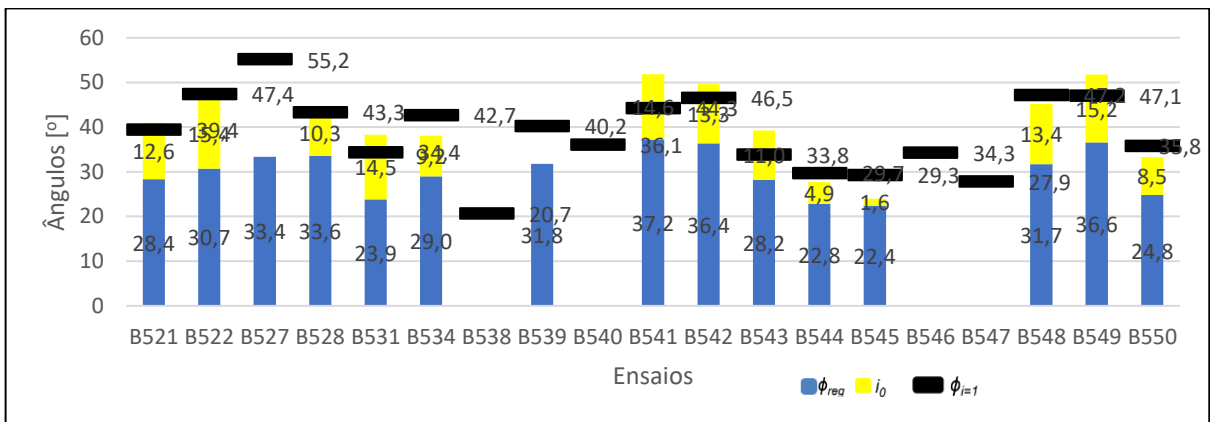


Fig. 28- Grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

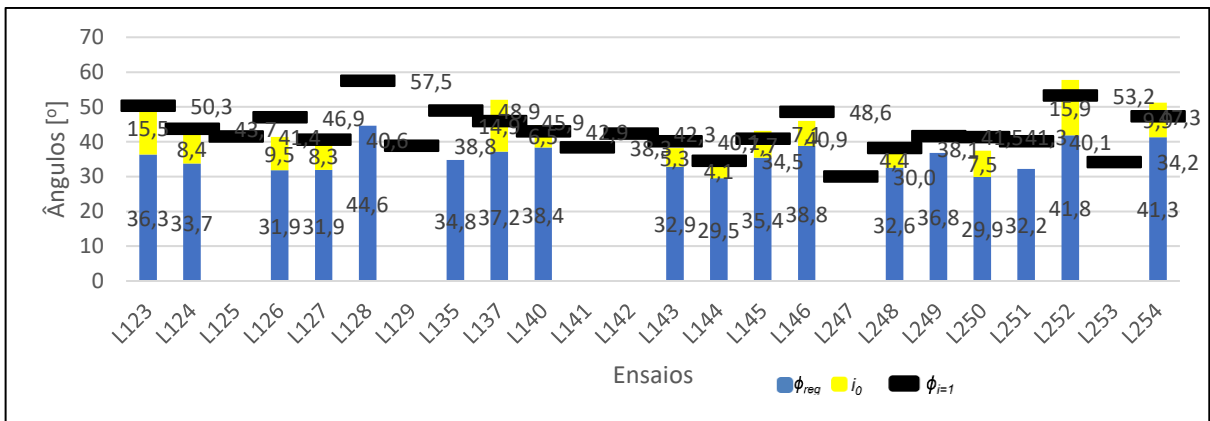


Fig. 29- Grupo Paradelá.

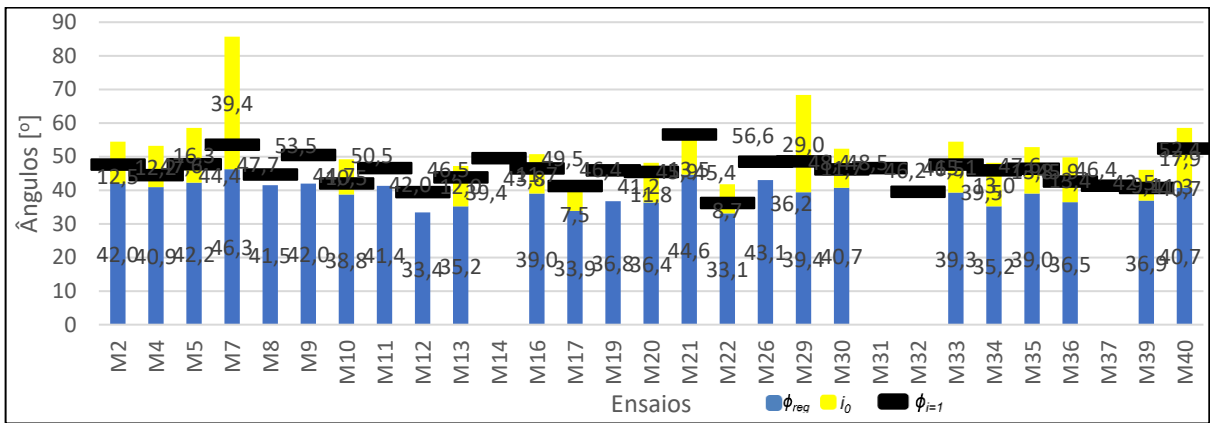


Fig. 30- Grupo Baixo Sabor.

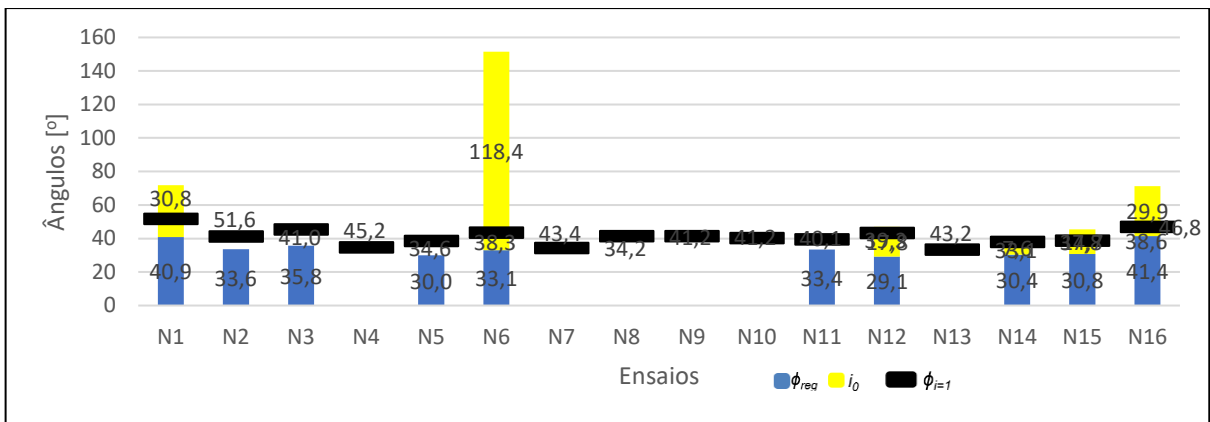


Fig. 31- Grupo Bemposta.

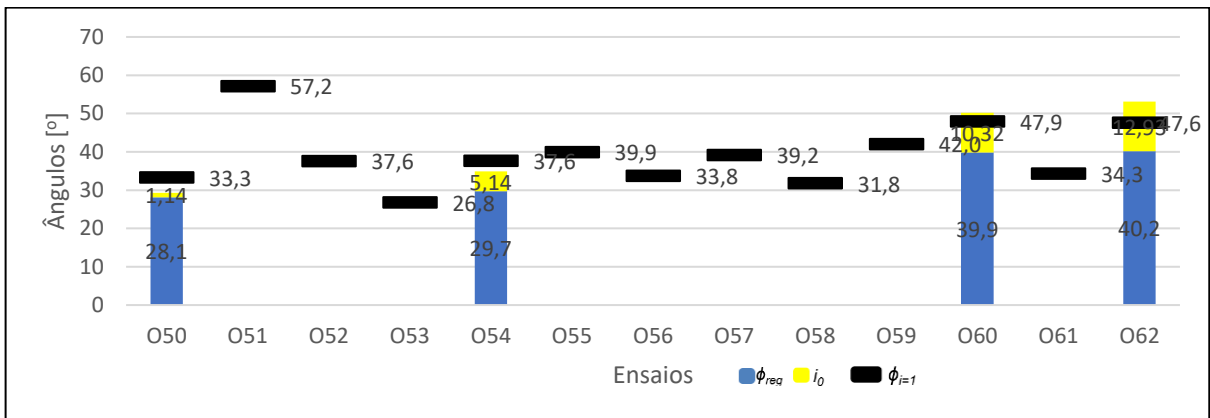


Fig. 32- Grupo Feiticeiro.

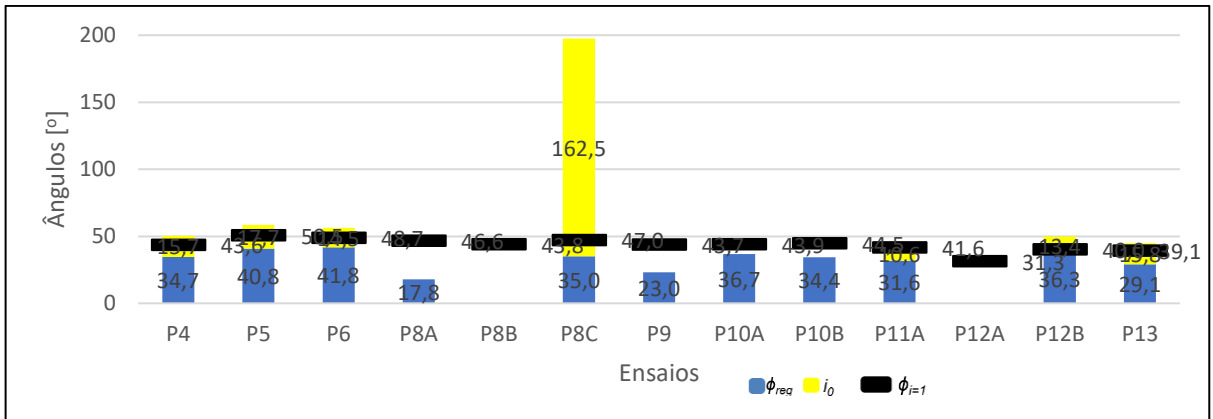


Fig. 33- Grupo Picote.

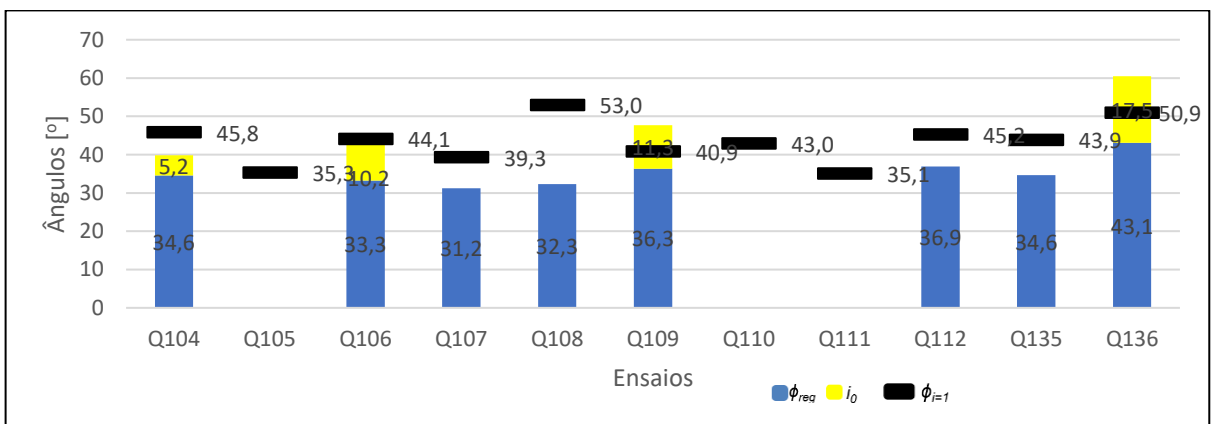


Fig. 34- Grupo Salomonde.

C. GRÁFICOS COMPARATIVOS ENTRE O JRC E JCS.

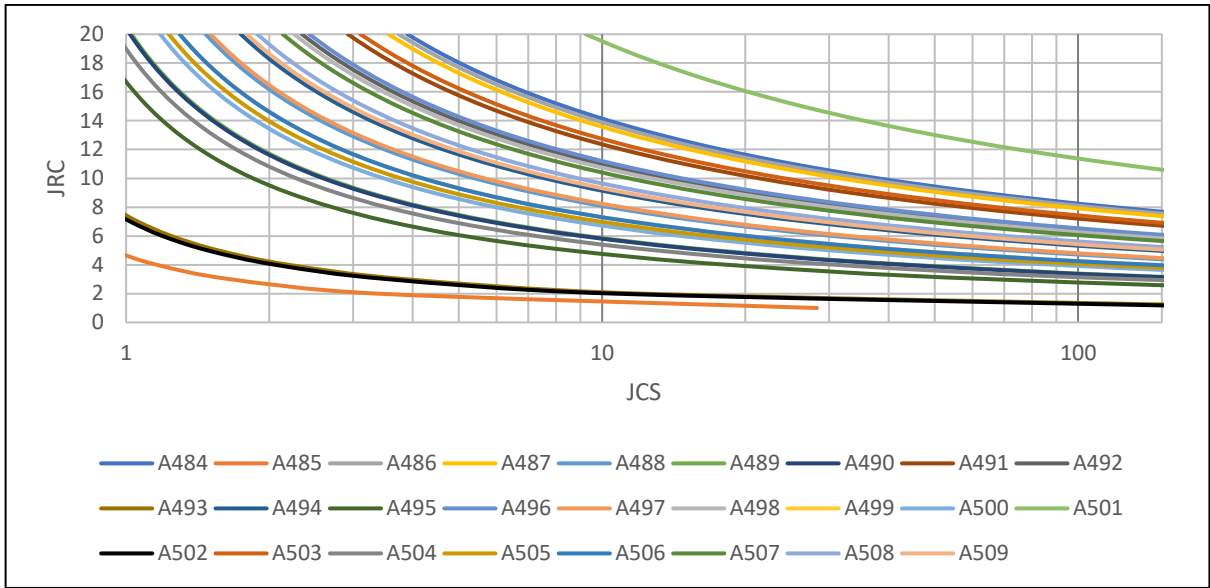


Fig. 35- Grupo Alto Tâmega, n=26.

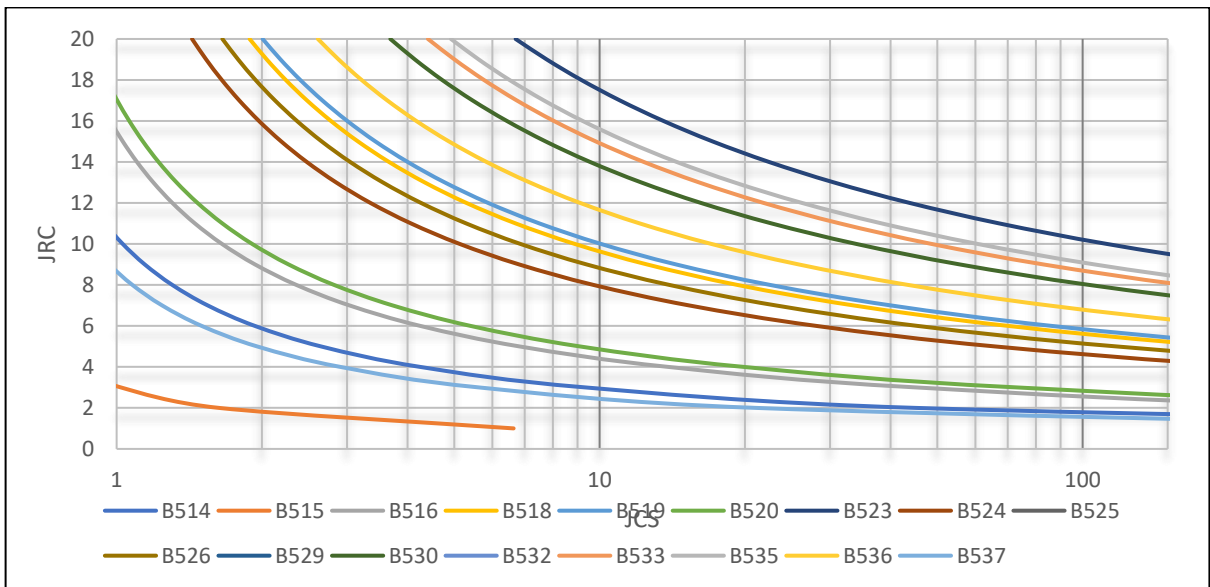


Fig. 36- Grupo Alvito (Xisto), n=17.

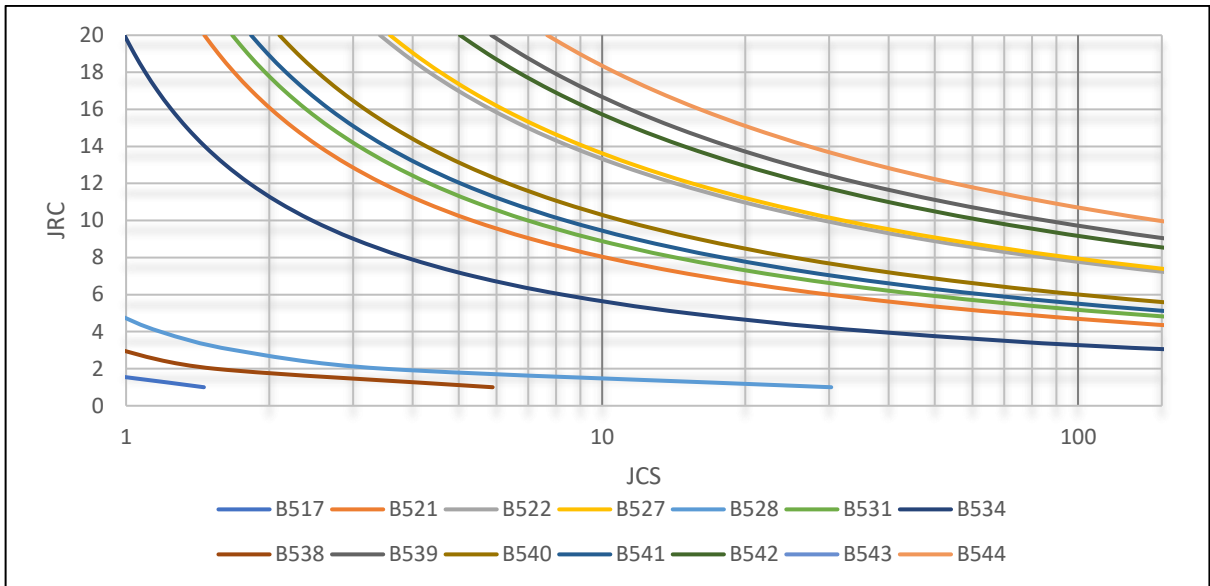


Fig. 37- Grupo Alvito (Grauvaque), n=14.

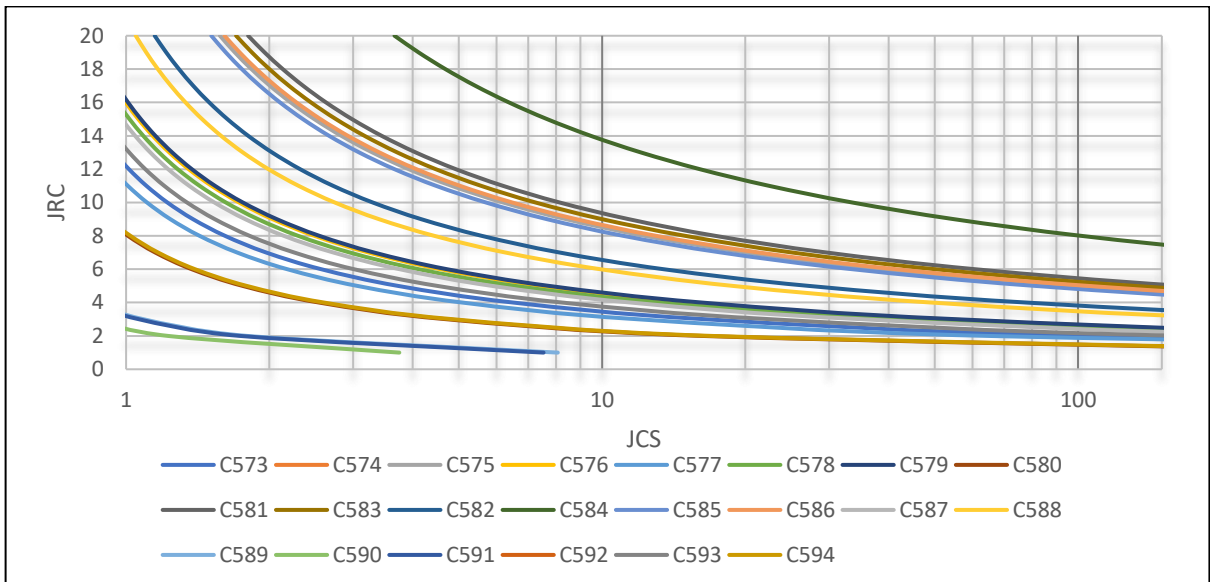


Fig. 38- Grupo Alvito (Circuito Hidráulico), n=22.

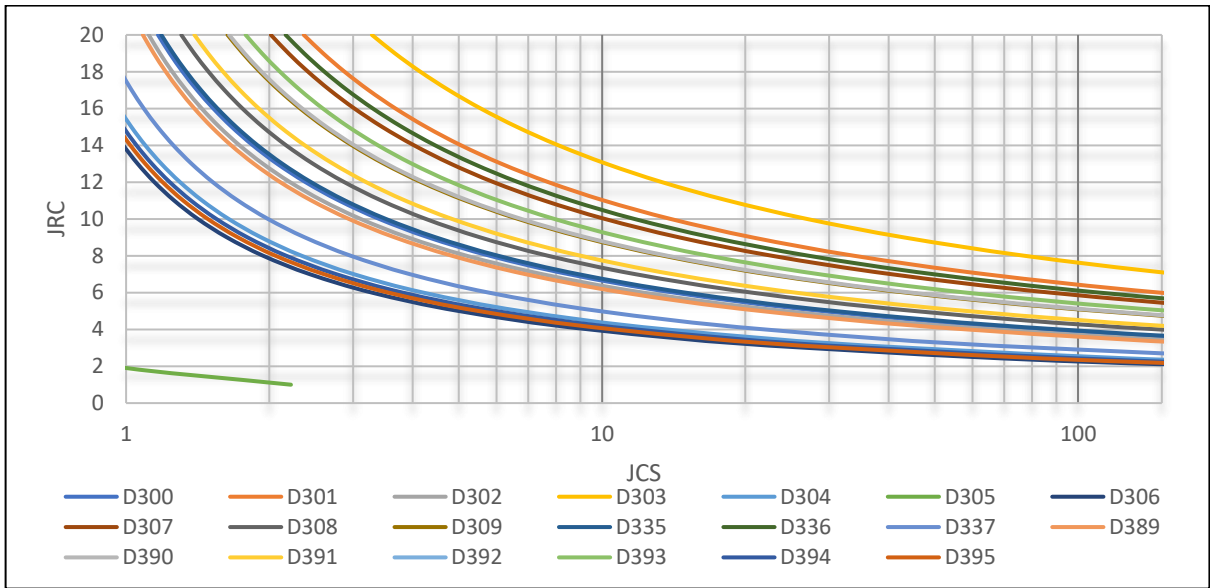


Fig. 39- Grupo Cahora Bassa, n=20.

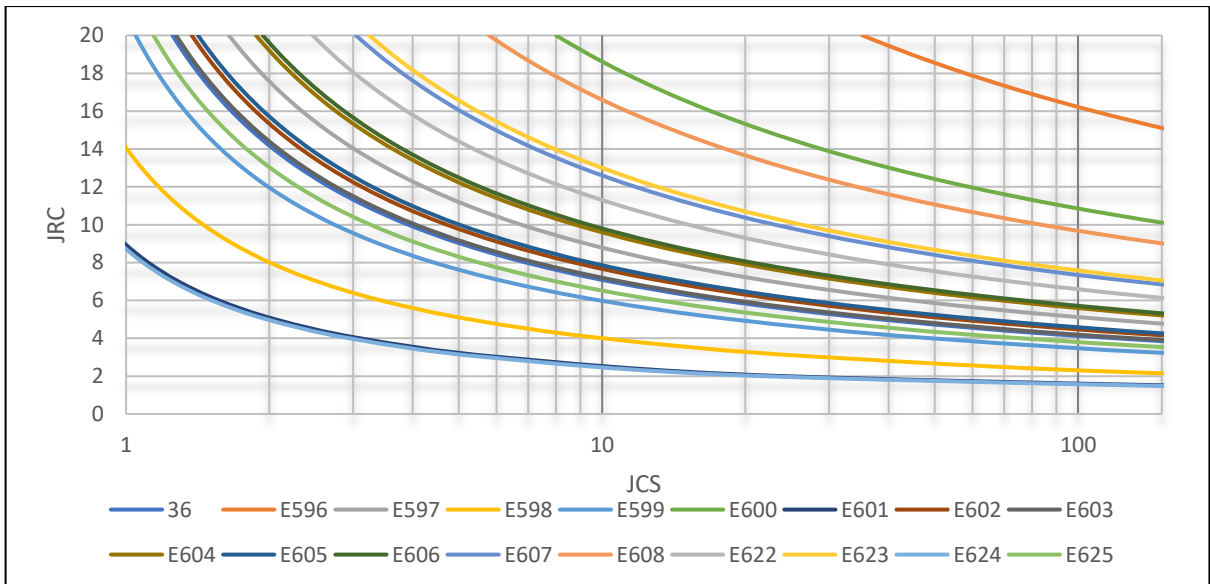


Fig. 40- Grupo Daivões, n=18.

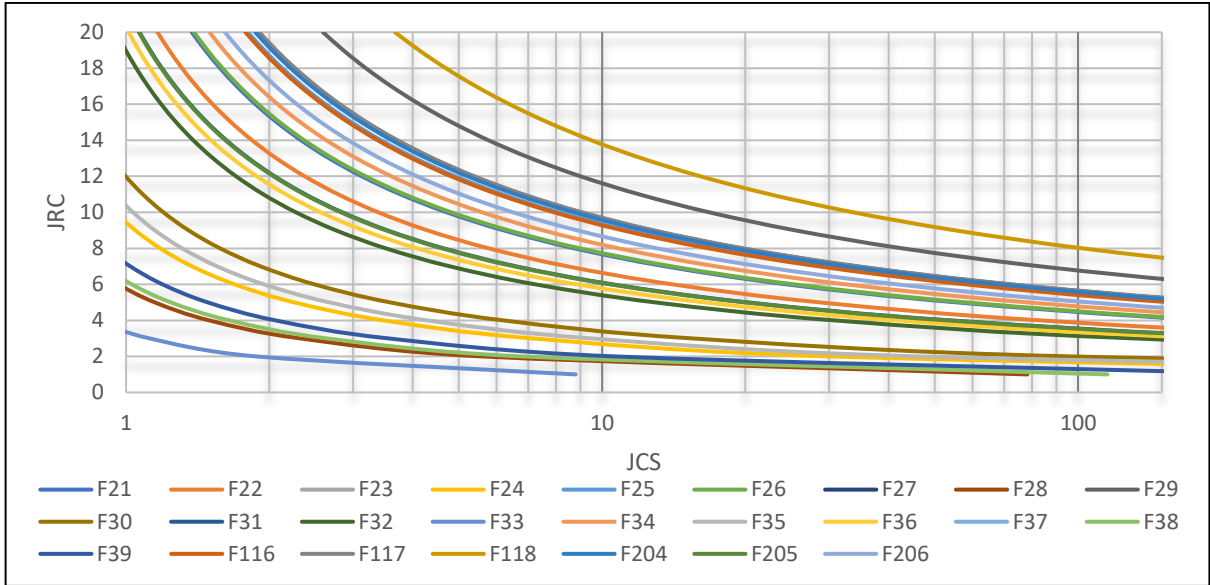


Fig. 41- Grupo Foz Tua (Granito), n=25.

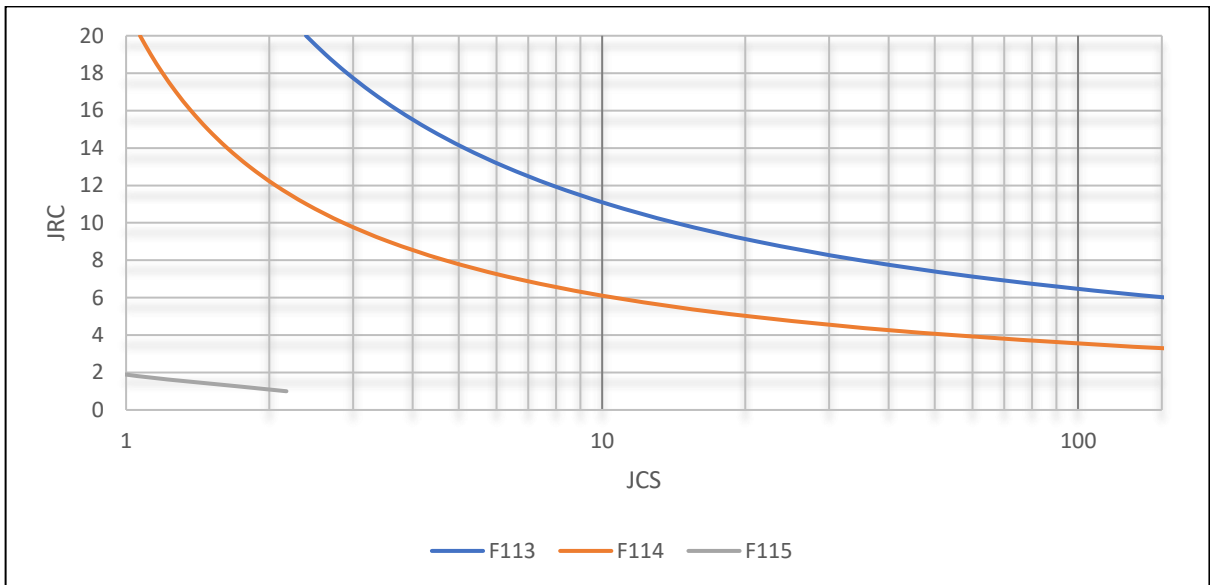


Fig. 42- grupo Foz Tua (Metagrauvaque), n=3.

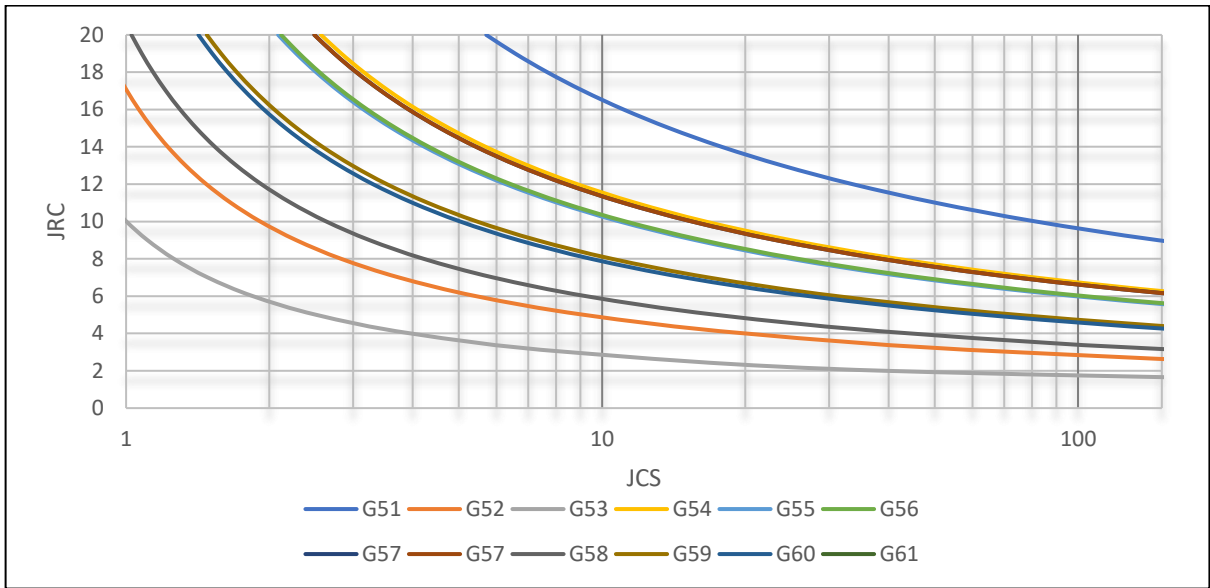


Fig. 43- Grupo Fridão (Jusante), n=11

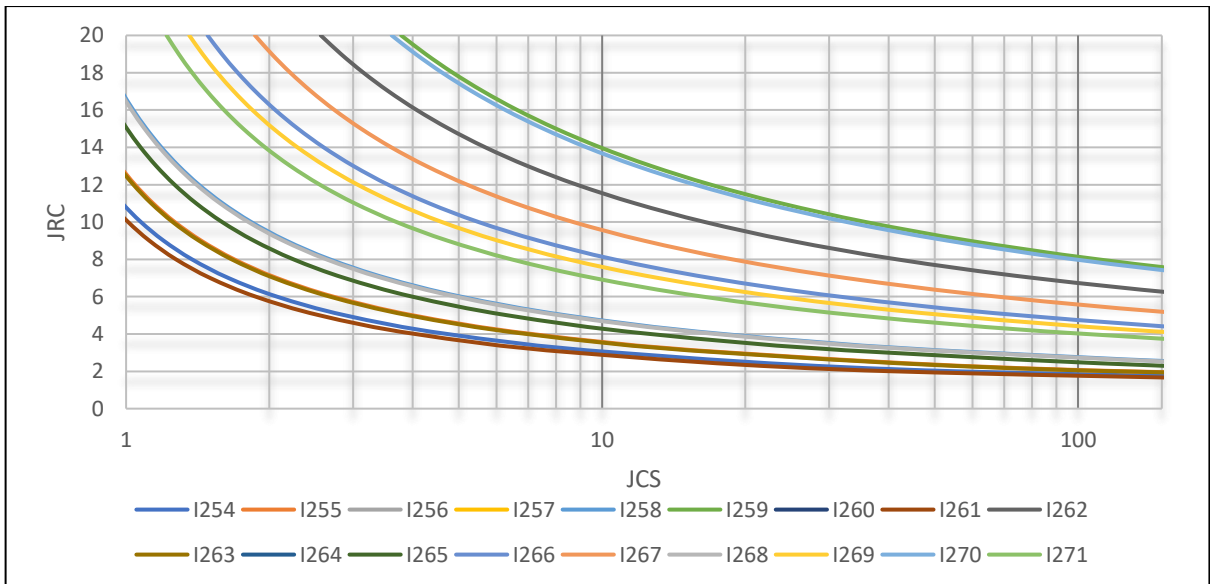


Fig. 44- grupo Fridão (Montante), n=15.

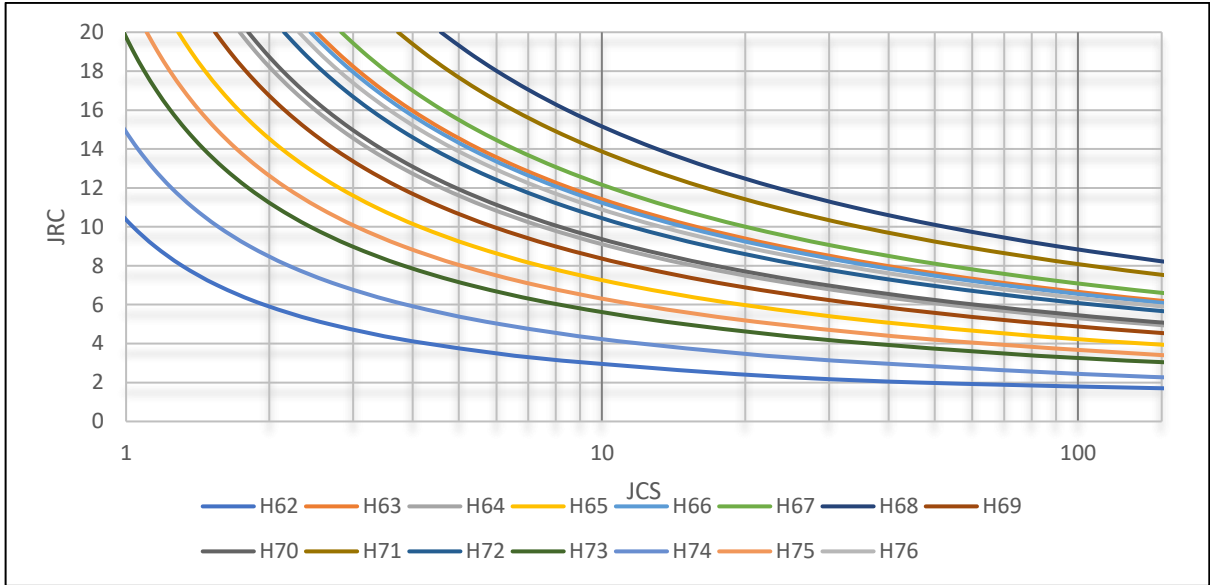


Fig. 45- Grupo Gouvães (Barragem), n=18.

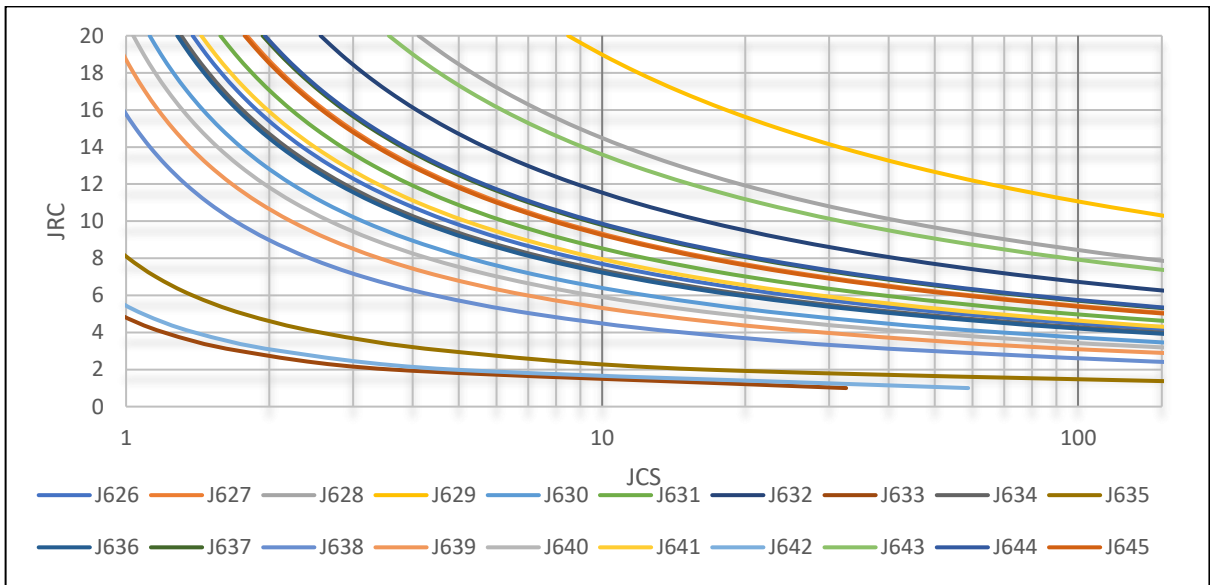


Fig. 46- Grupo Gouvães (Circuito Hidráulico), n=20.

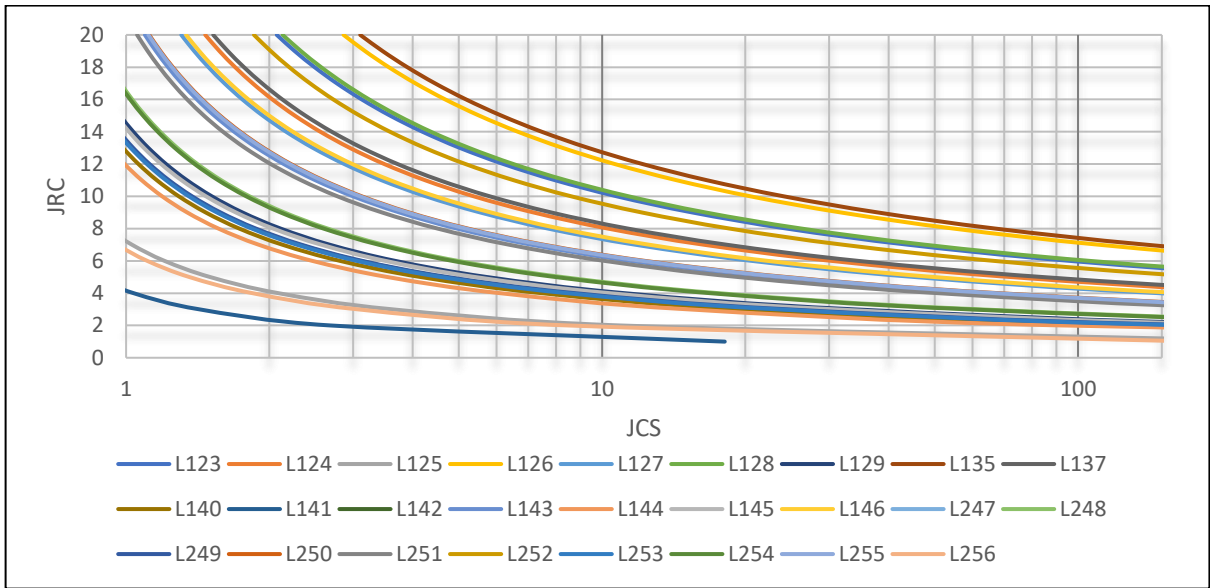


Fig. 47- Grupo Paradelá, n=26.

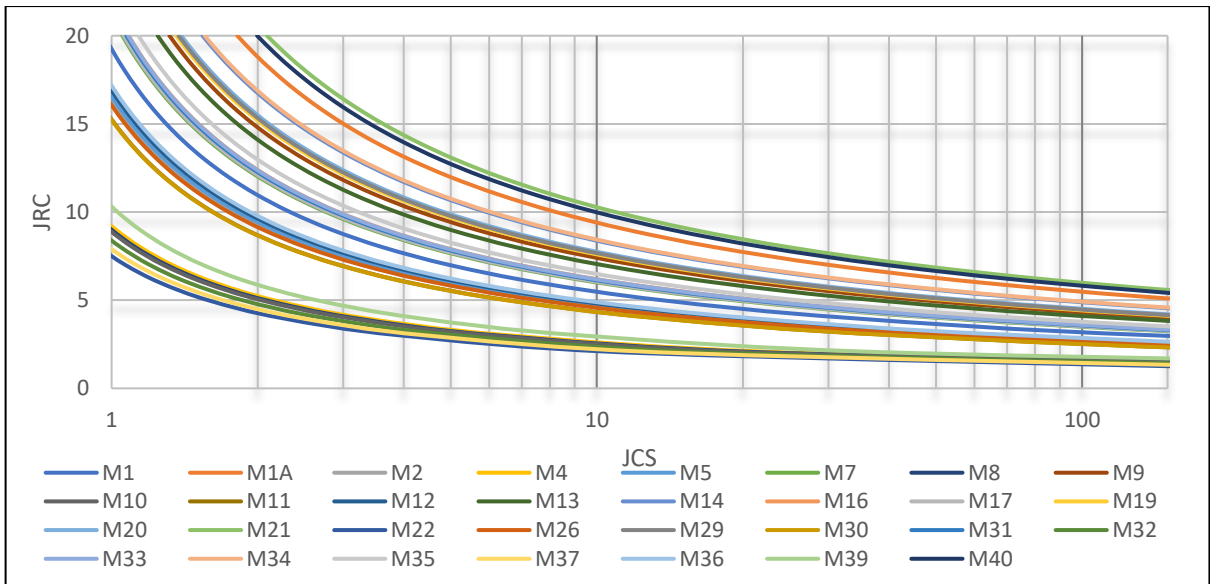


Fig. 48- Grupo Baixo Sabor, n=31.

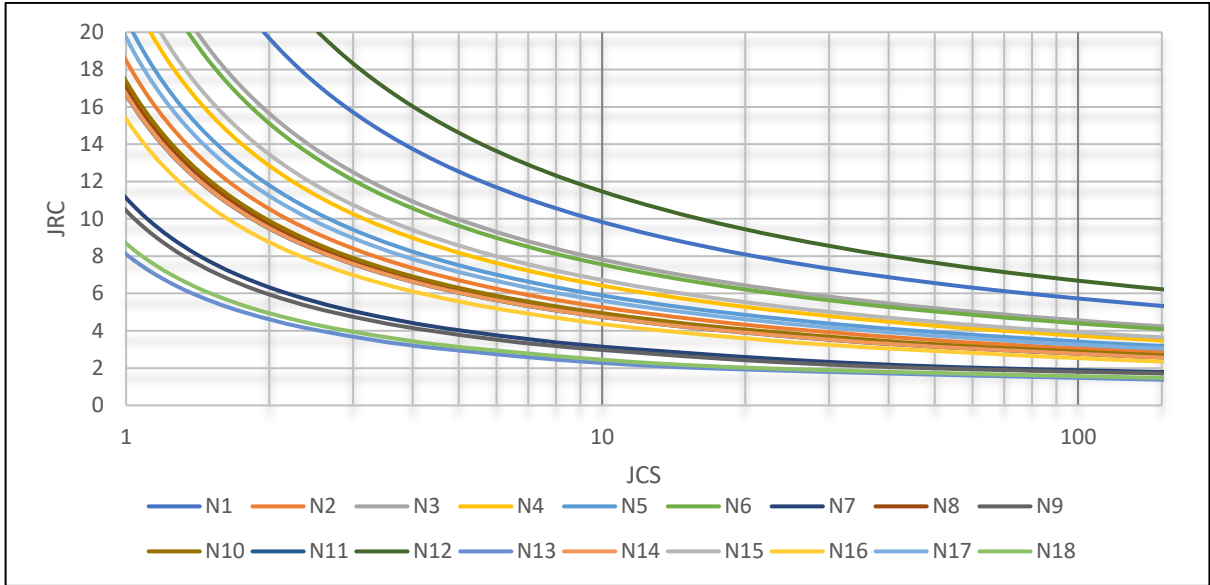


Fig. 49- Grupo Bemposta, n=18.

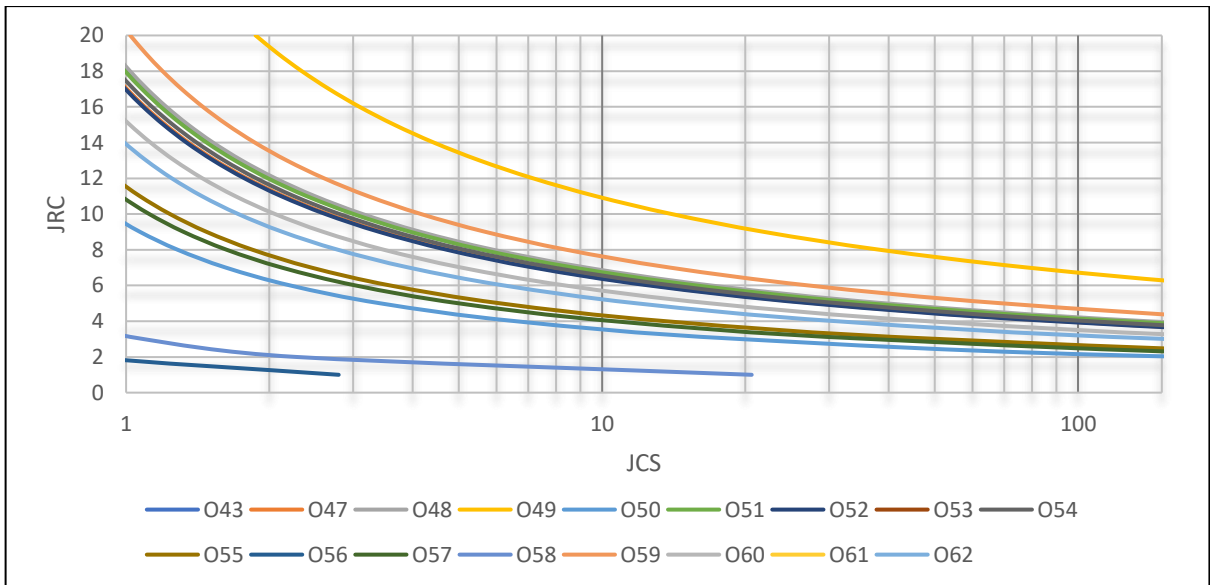


Fig. 50- Grupo Feiticeiro, n=17.

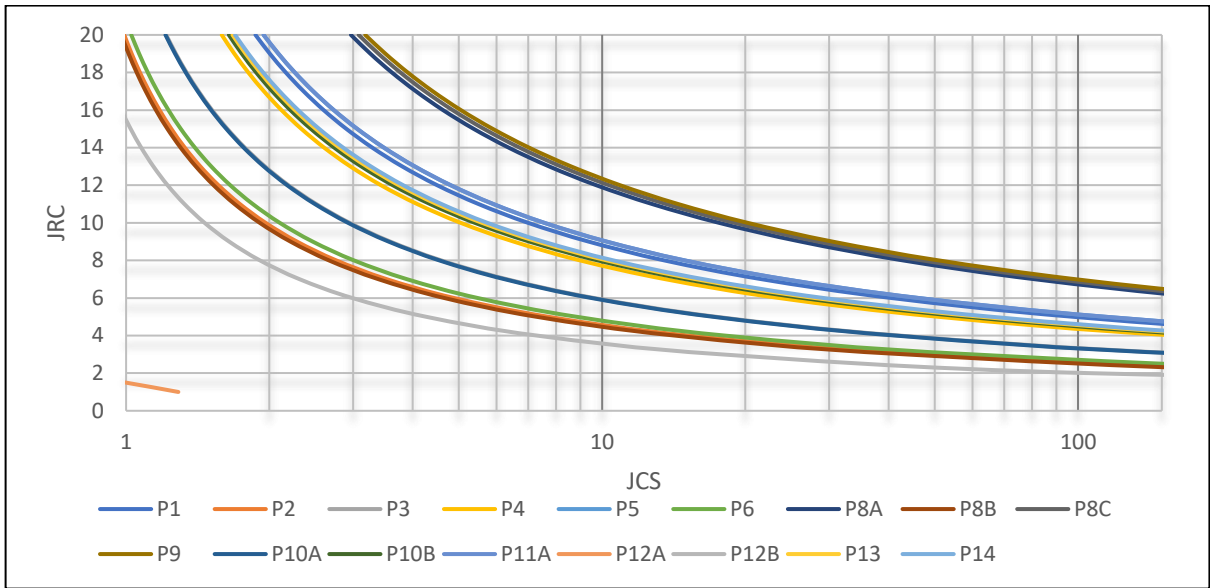


Fig. 51- Grupo Picote, n=17.

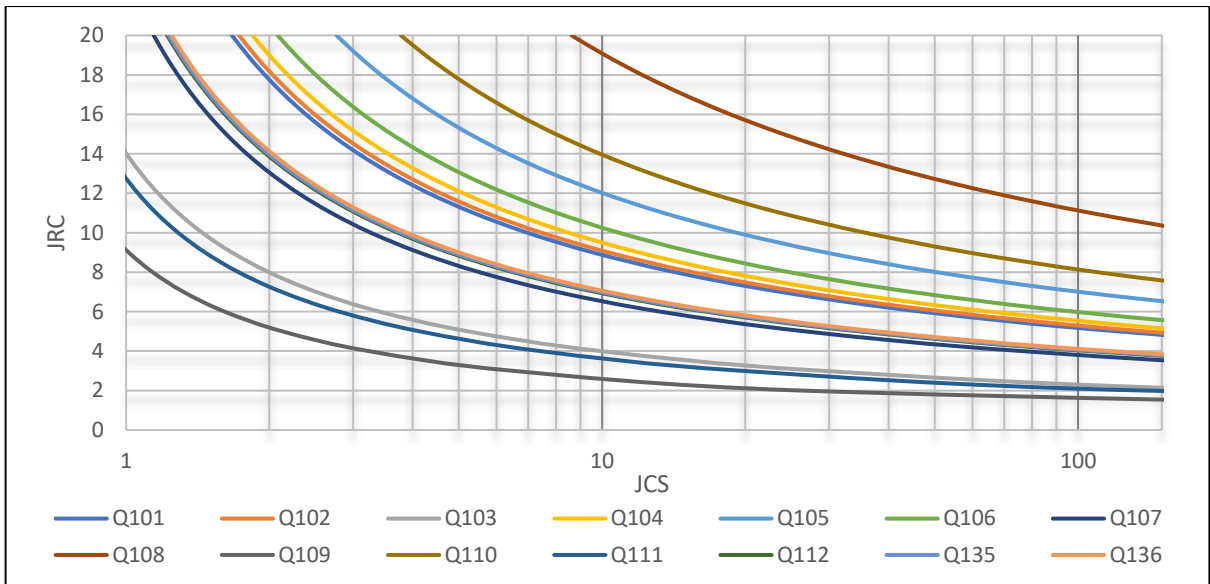


Fig. 52- Grupo Salomonde, n=14.

D. HISTOGRAMAS COMPARATIVOS ENTRE OS JRC COM OS GRUPOS DE UCS, UCS/2, UCS/4 E UCS/8.

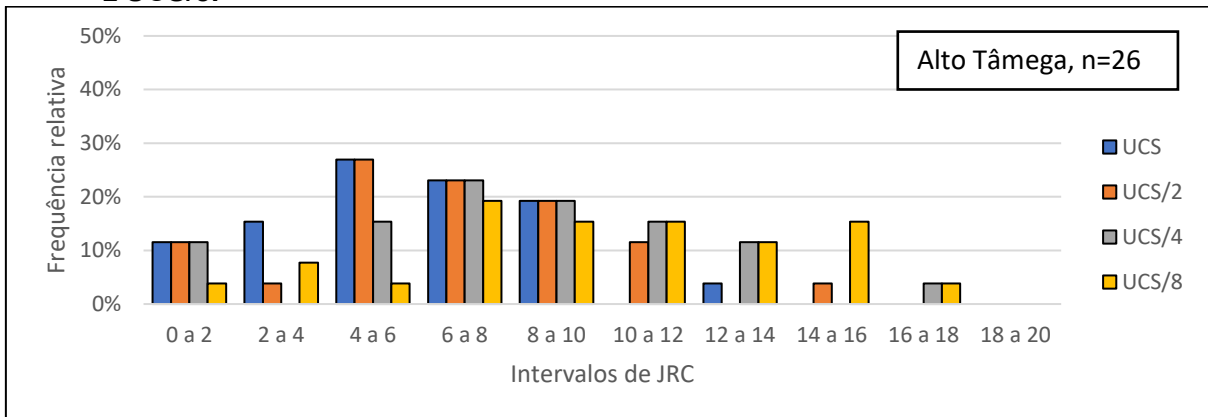


Fig. 53- Grupo Alto Tâmega.

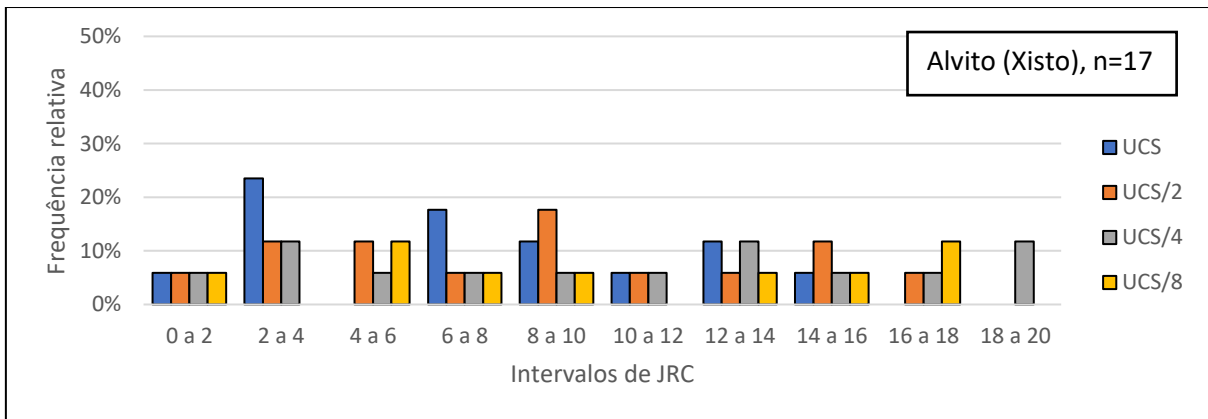


Fig. 54- Grupo Alvito (Xisto).

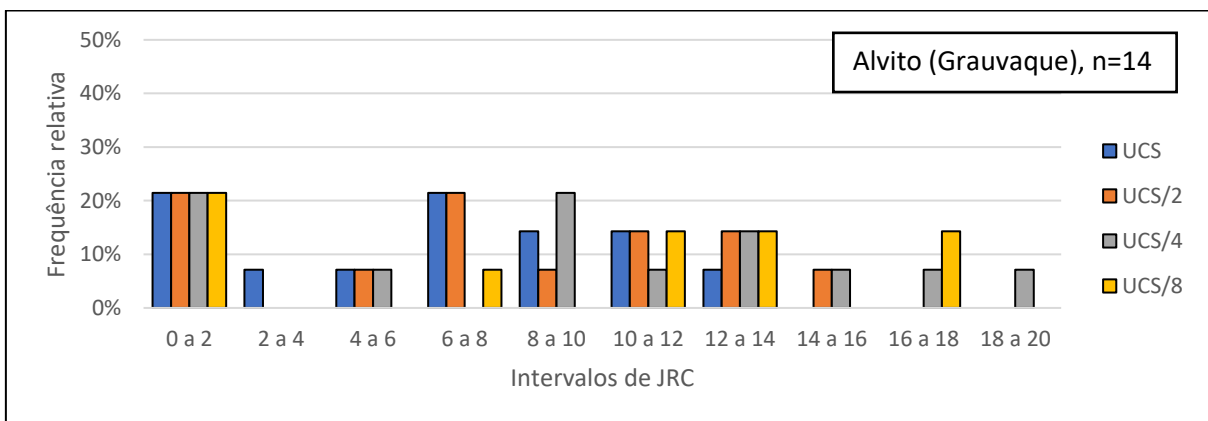


Fig. 55- Grupo Alvito (Grauvaque).

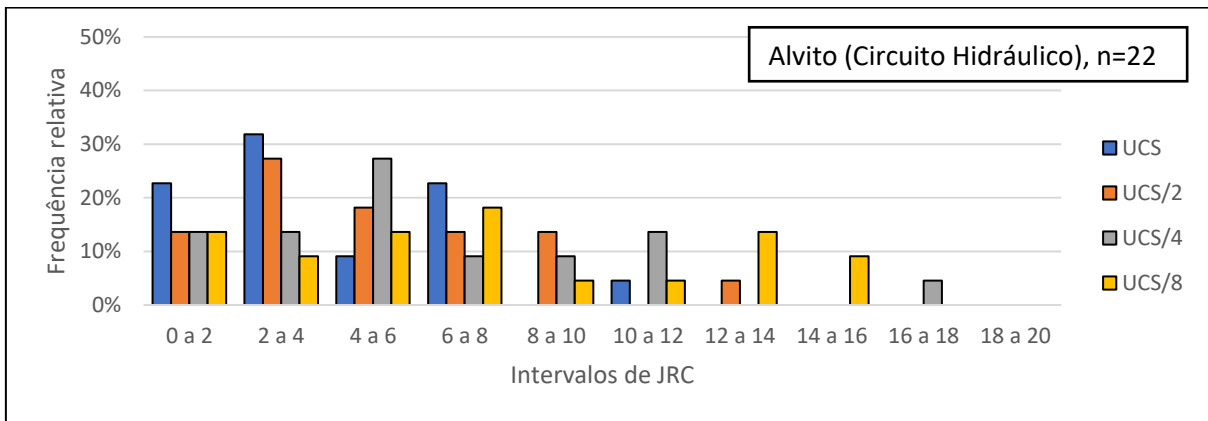


Fig. 56- Grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

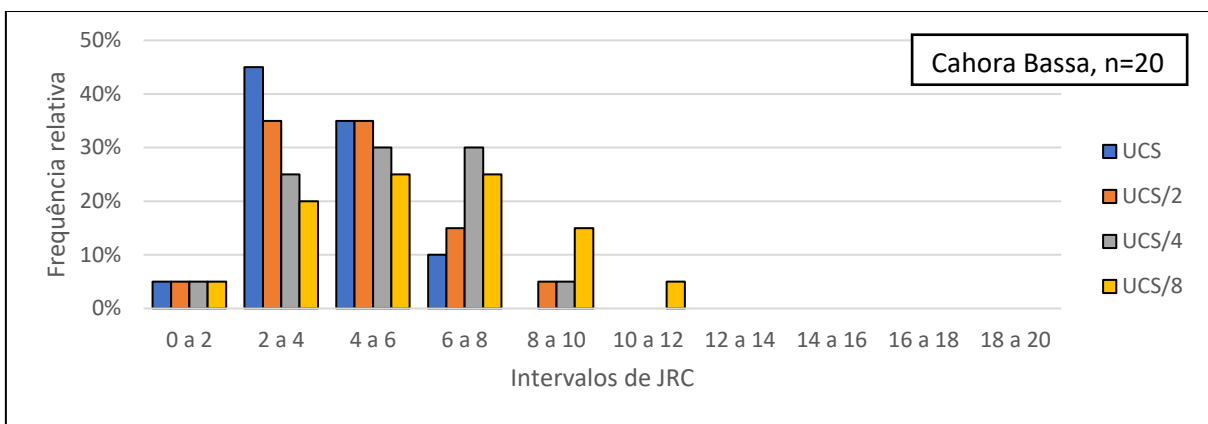


Fig. 57- Grupo Cahora Bassa.

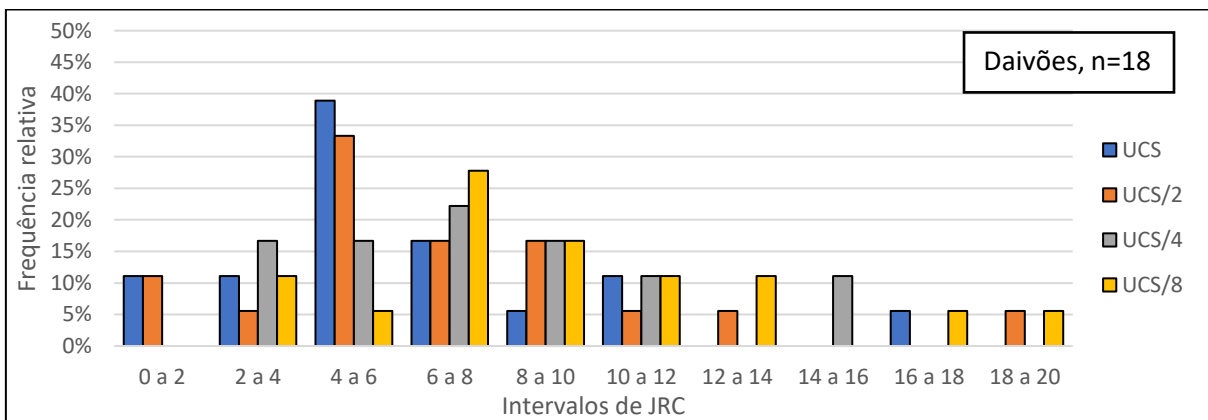


Fig. 58- Grupo Daivões.

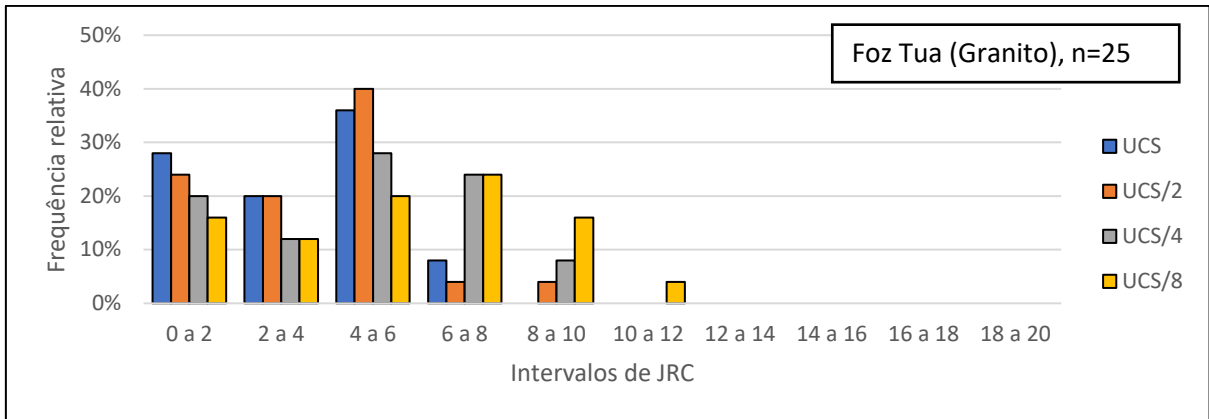


Fig. 59- Grupo Foz Tua (Granito).

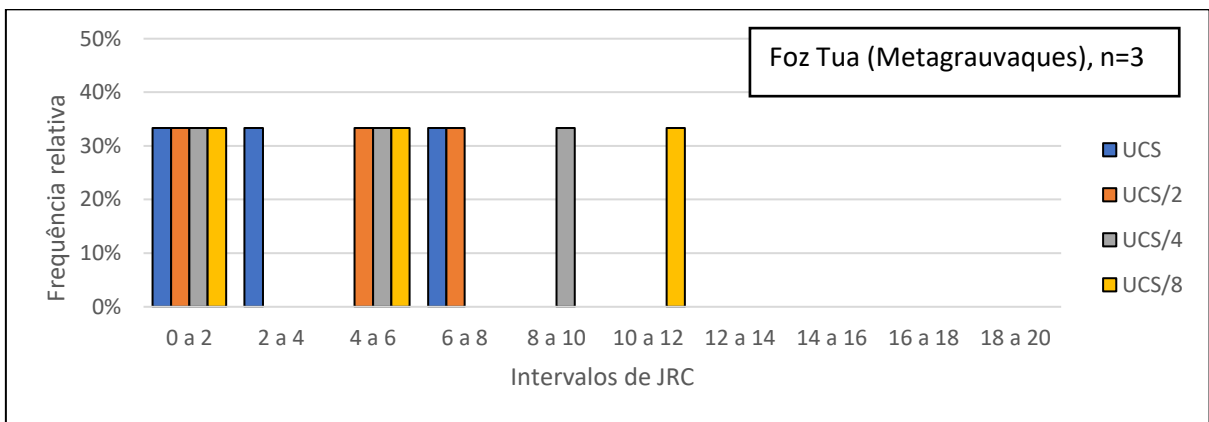


Fig. 60- Grupo Foz Tua (Metagrauvaque).

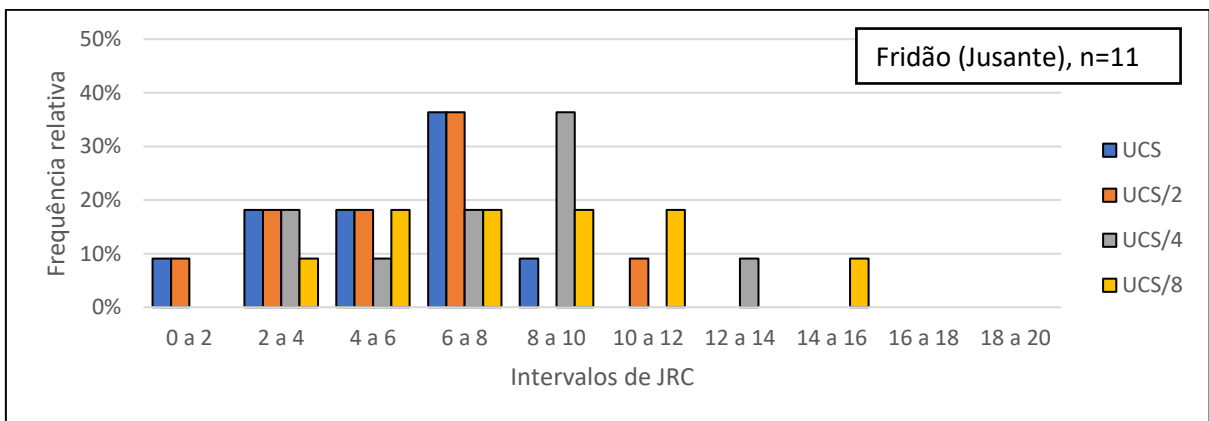


Fig. 61- Grupo Fridão (Jusante).

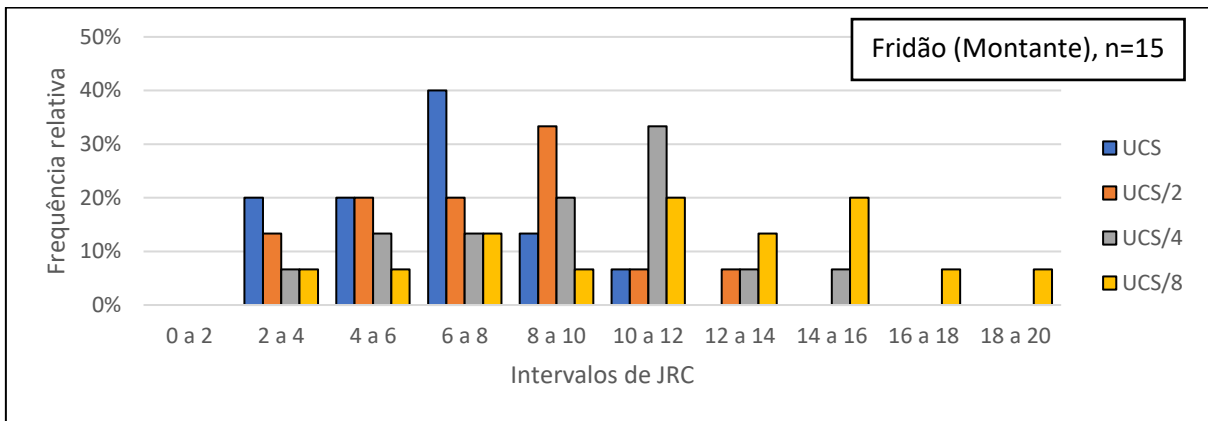


Fig. 62- Grupo Fridão (Montante).

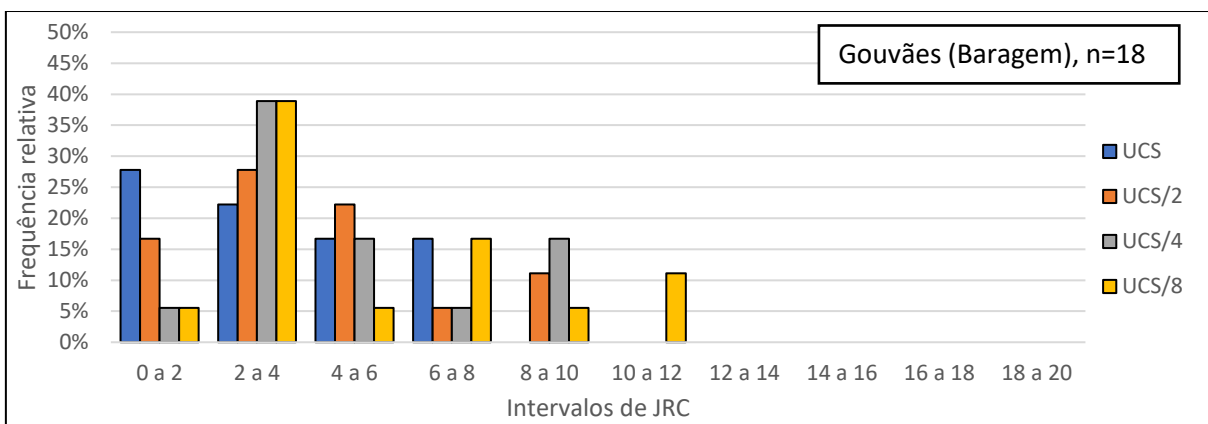


Fig. 63- Grupo Gouvães (Barragem).

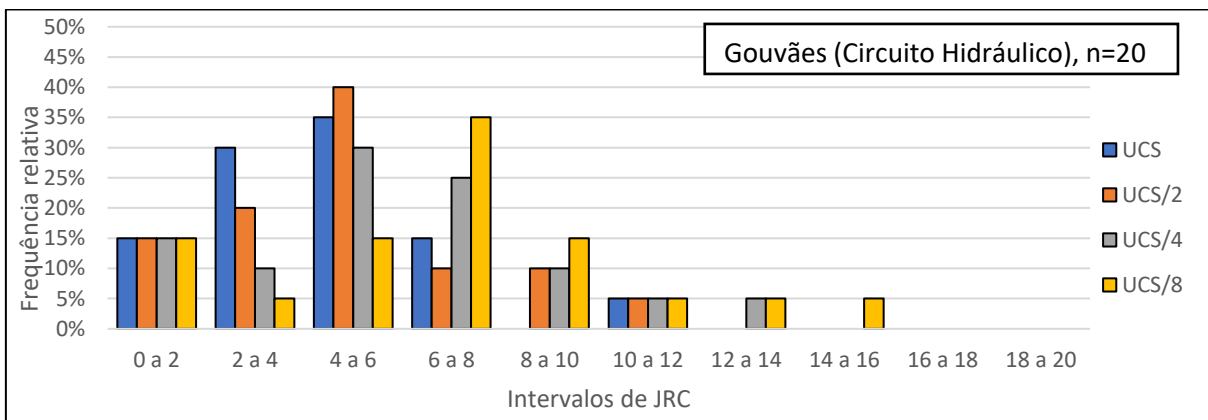


Fig. 64- Grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

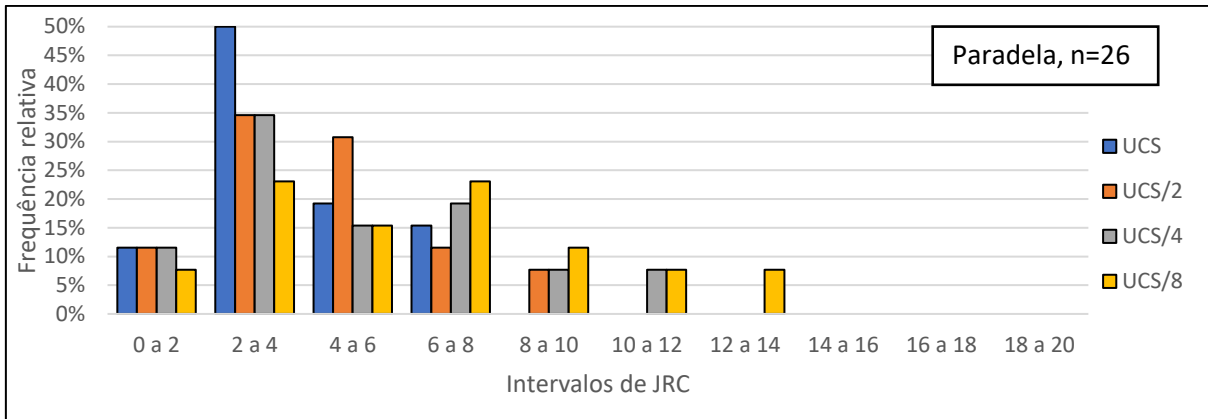


Fig. 65- Grupo Paradela.

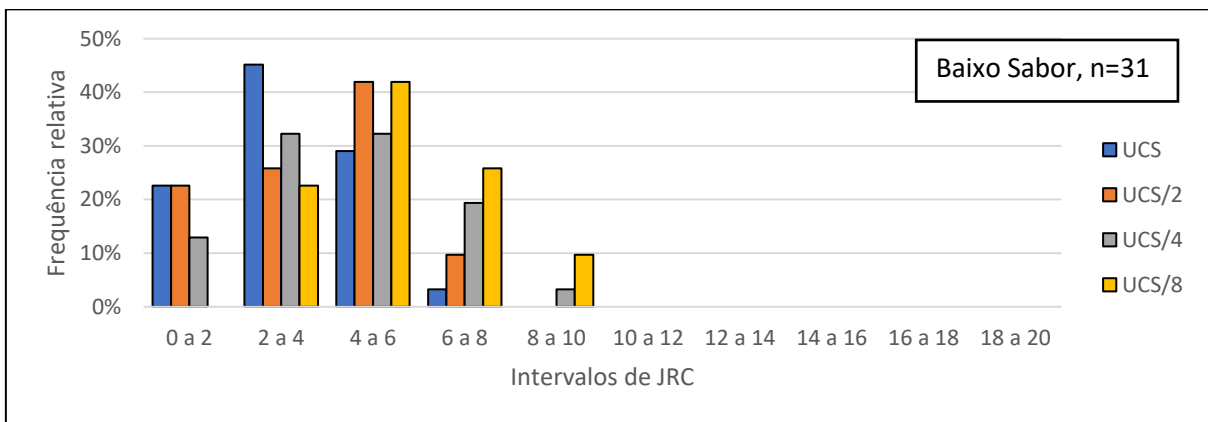


Fig. 66- Grupo Baixo Sabor.

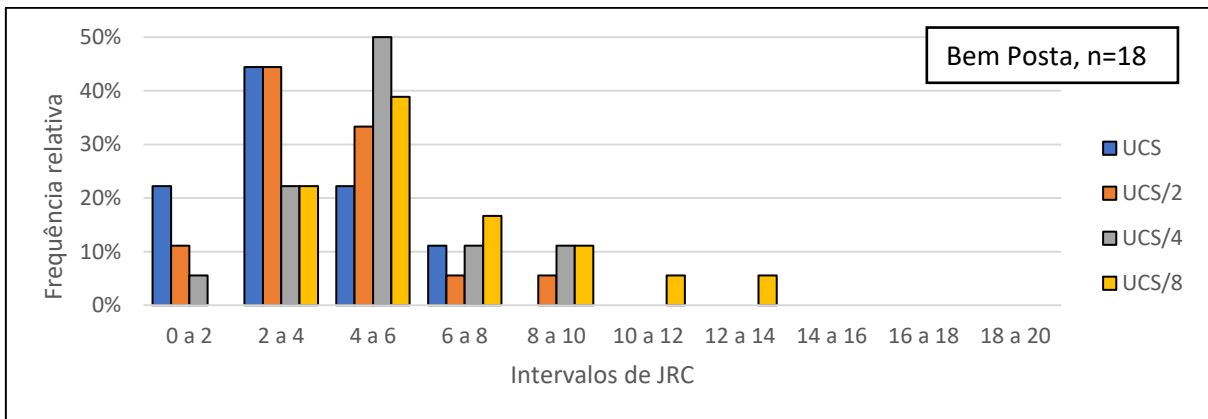


Fig. 67- Grupo Bemposta.

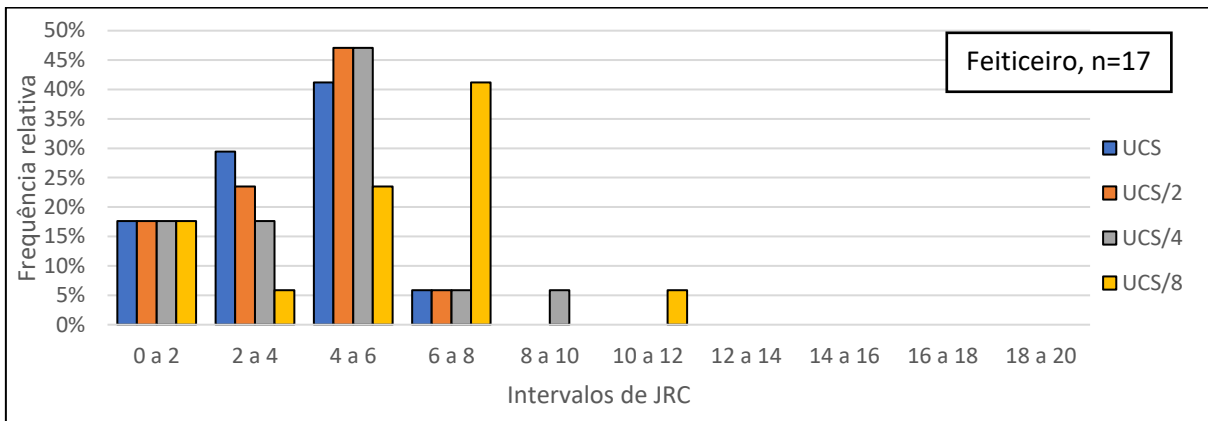


Fig. 68- Grupo Feiticeiro.

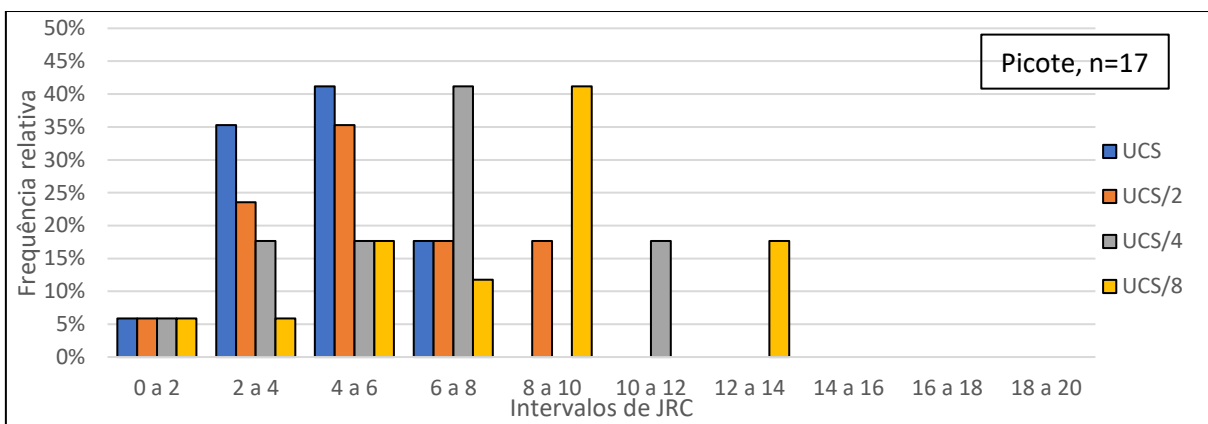


Fig. 69- Grupo Picote.

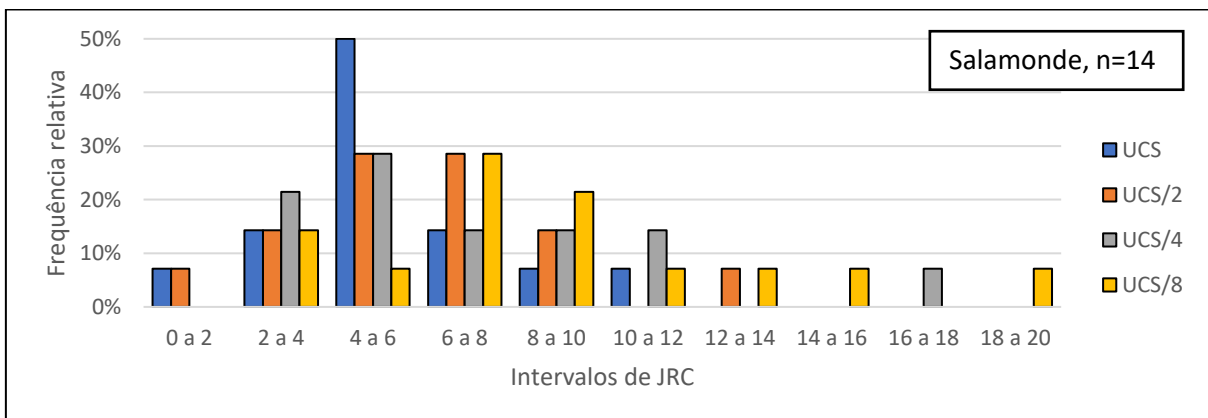


Fig. 70- Grupo Salamonde.

E. HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA RELATIVA DO JRC.

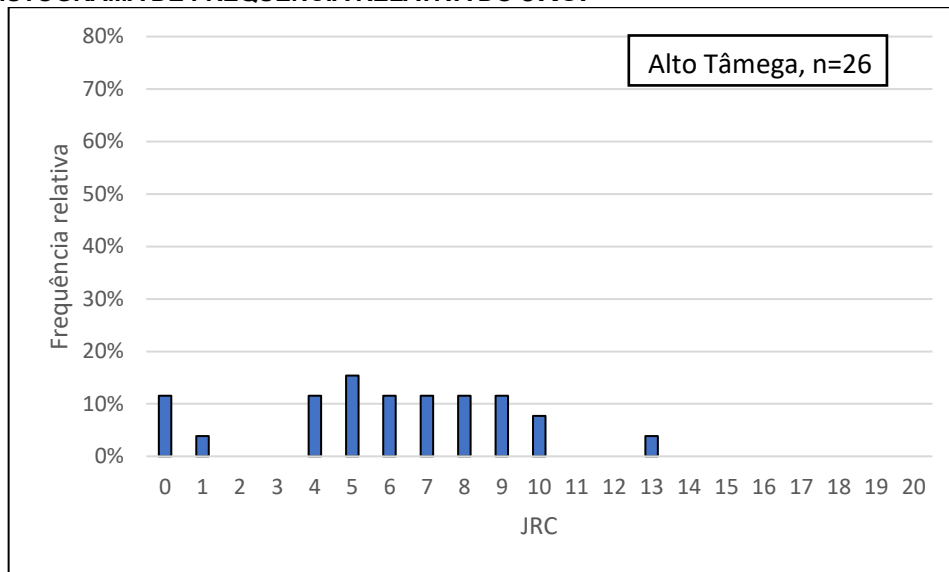


Fig. 71- Grupo Alto Tâmega.

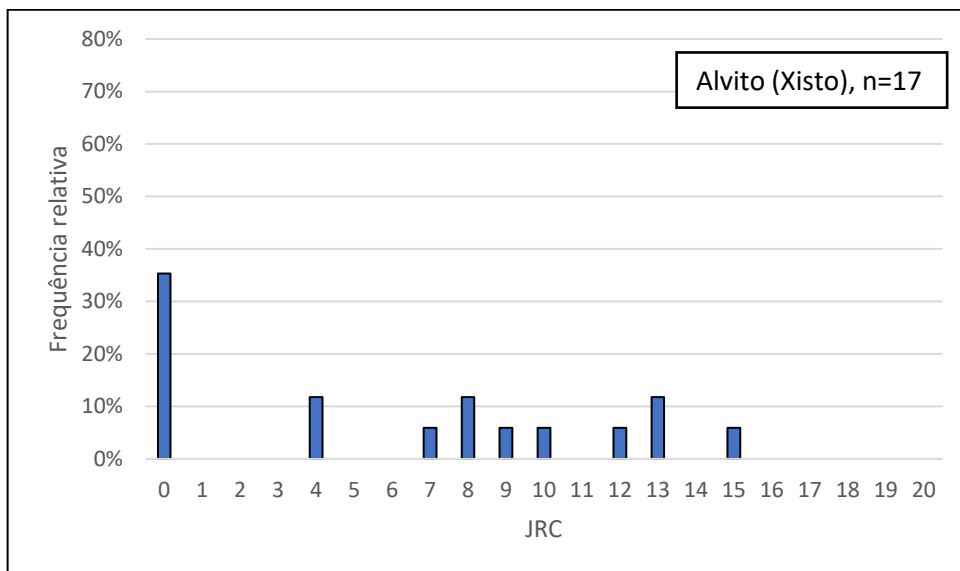


Fig. 72- Grupo Alvito (Xisto).

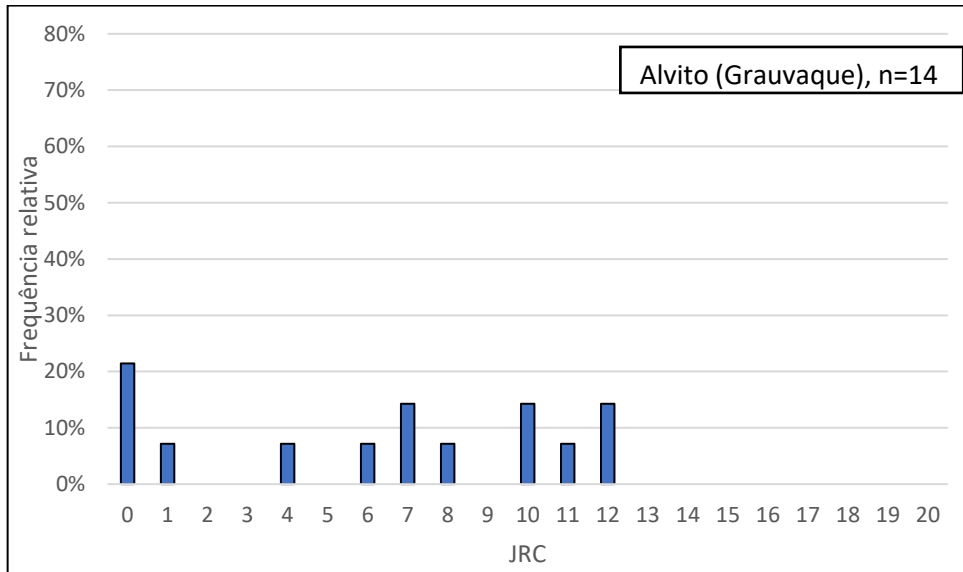


Fig. 73- Grupo Alvito (Grauvaque).

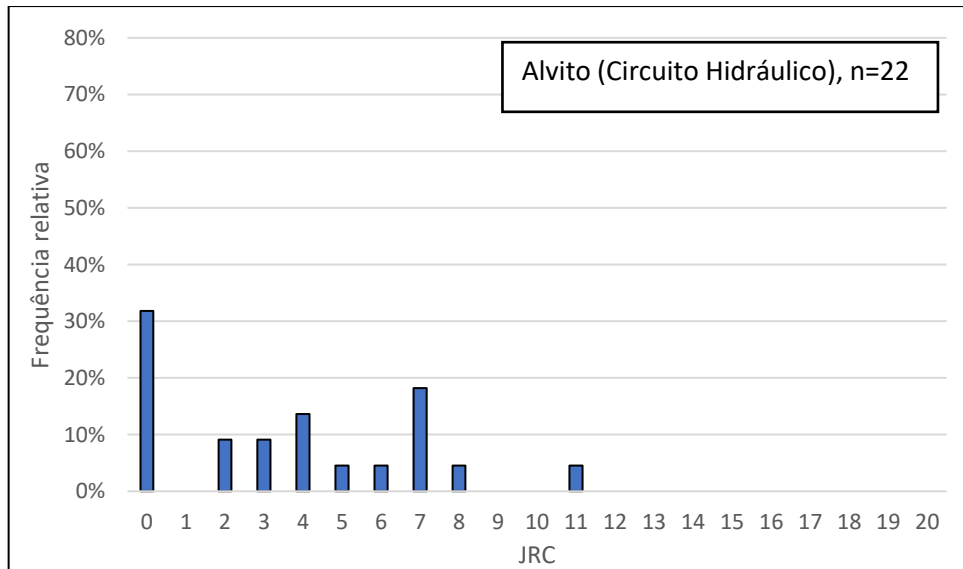


Fig. 74- Grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

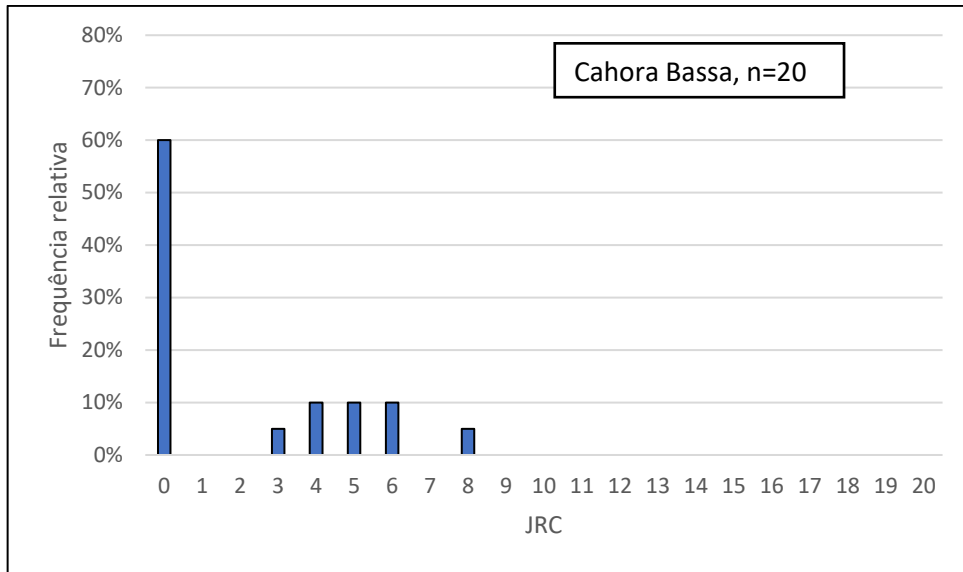


Fig. 75- Grupo Cahora Bassa.

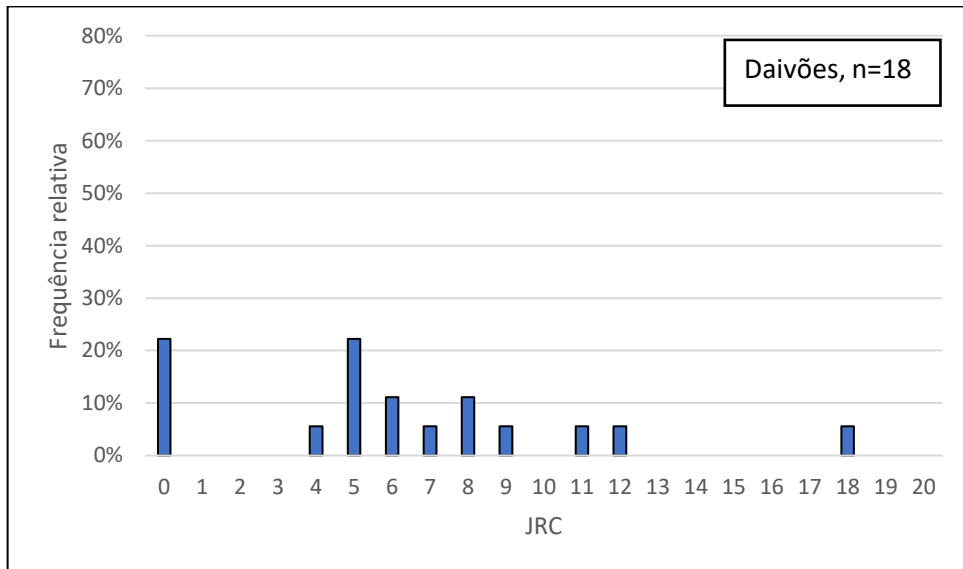


Fig. 76- Grupo Daivões.

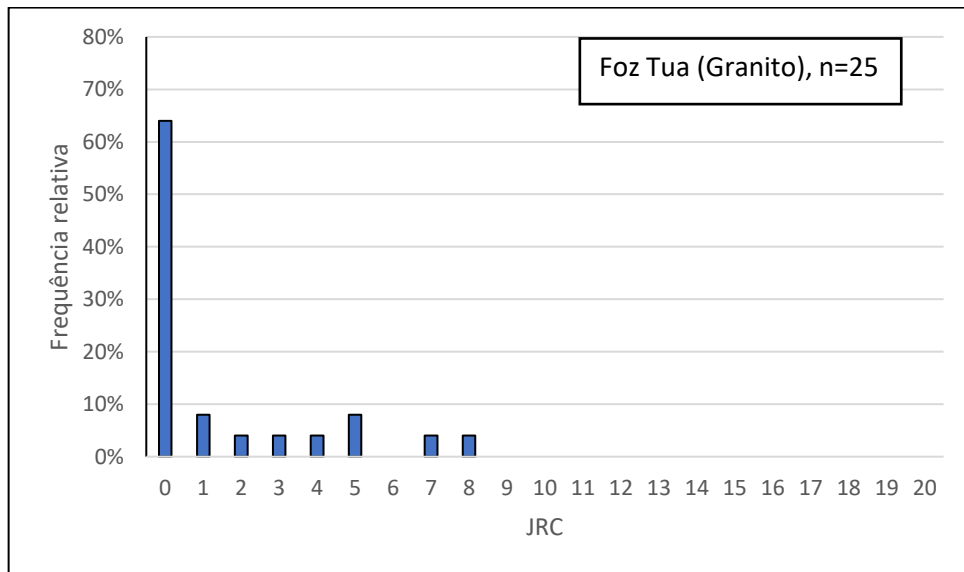


Fig. 77- Grupo Foz Tua (Granito).

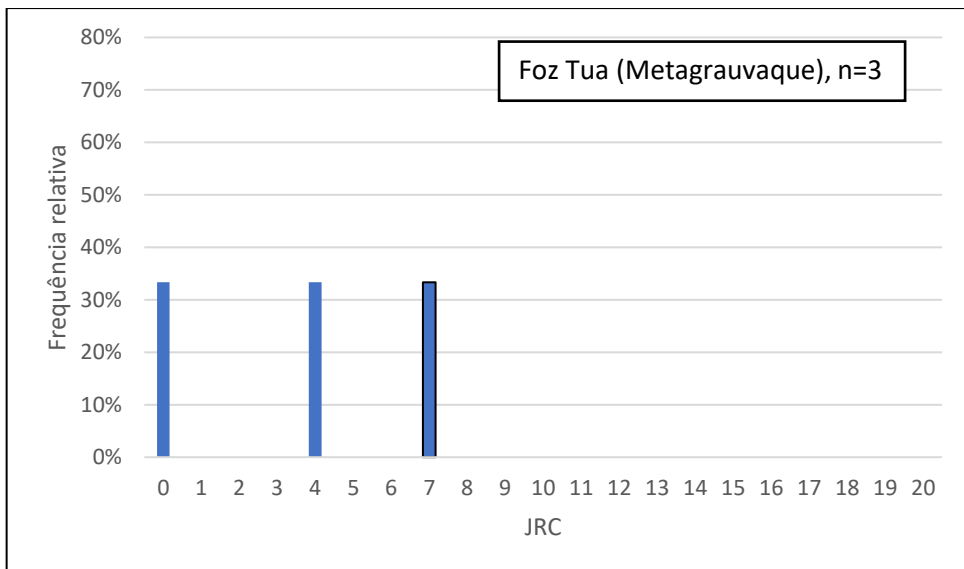


Fig. 78- Grupo Foz Tua (Metagranite).

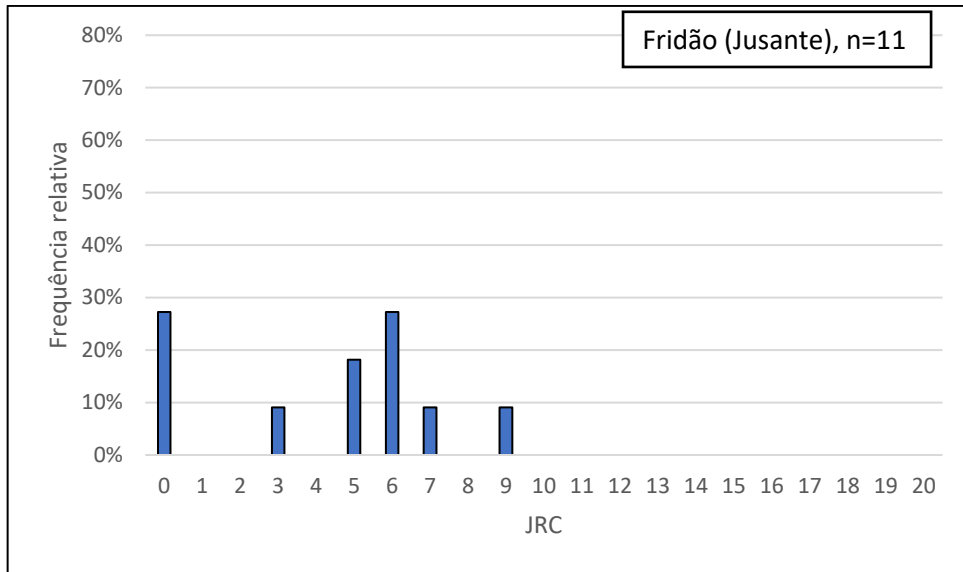


Fig. 79- Grupo Fridão (Jusante).

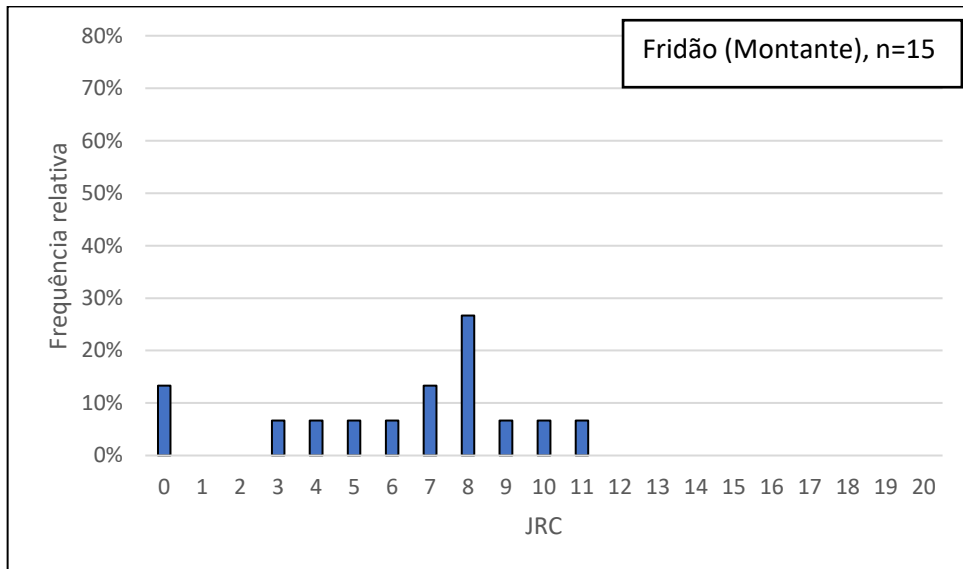


Fig. 80- Grupo Fridão (Montante).

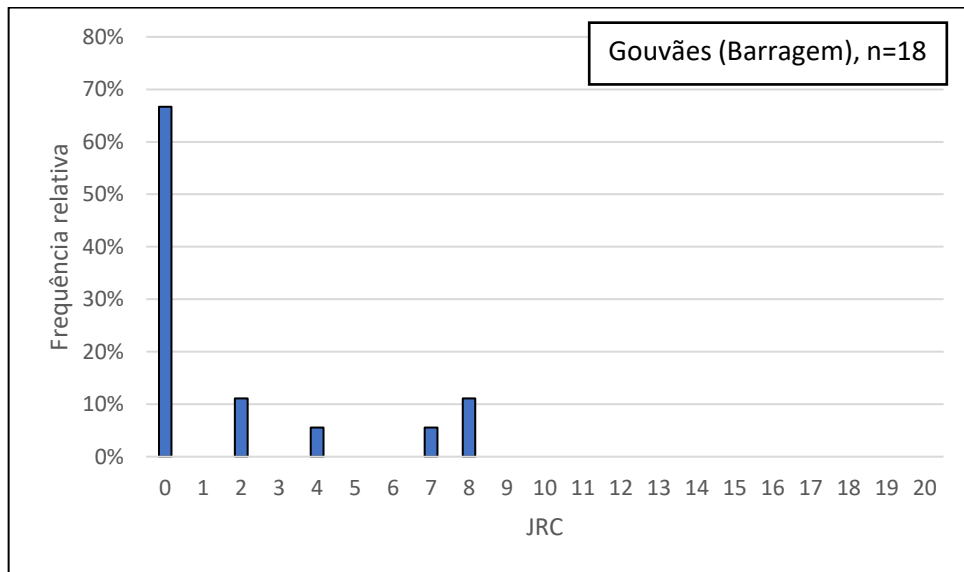


Fig. 81- Grupo Gouvães (Barragem).

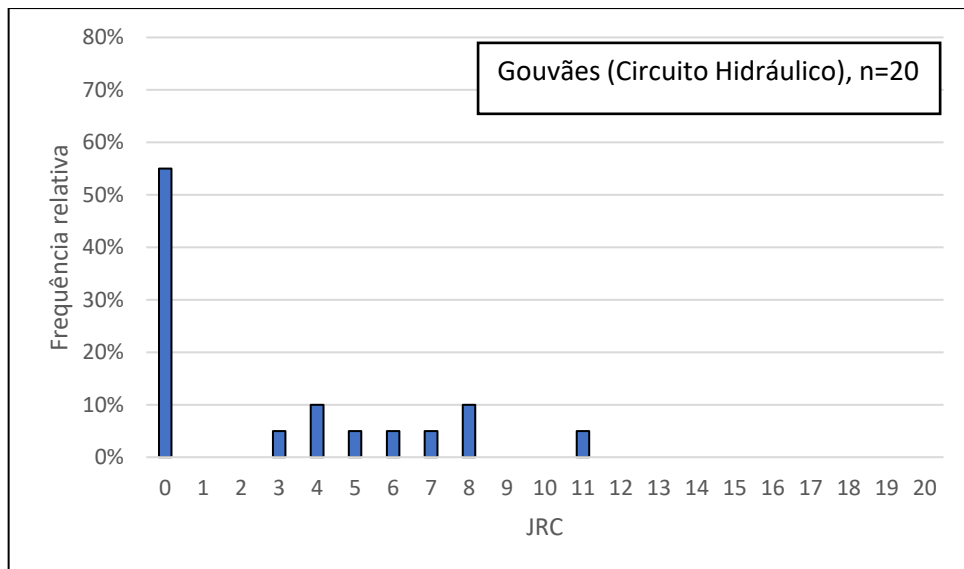


Fig. 82- Grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

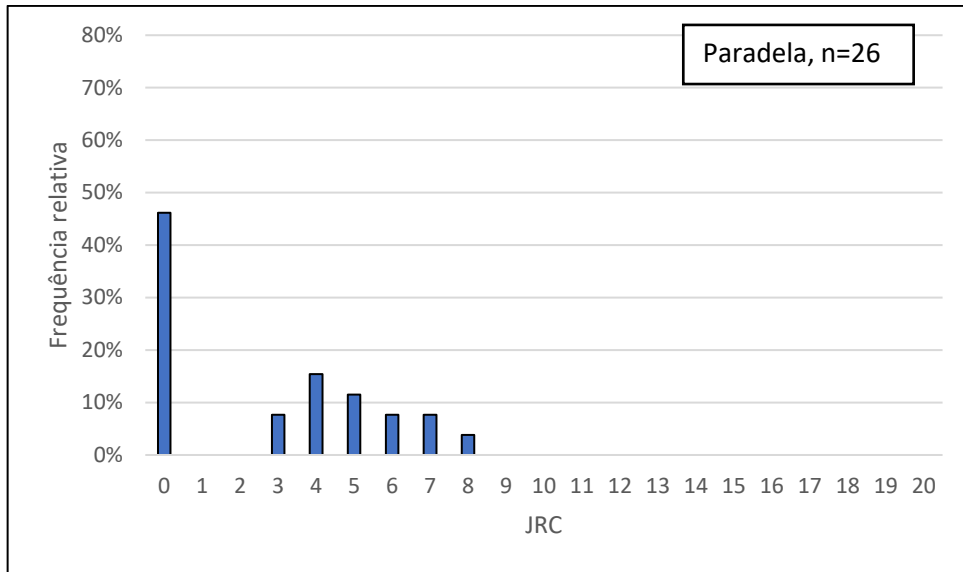


Fig. 83- Grupo Paradela.

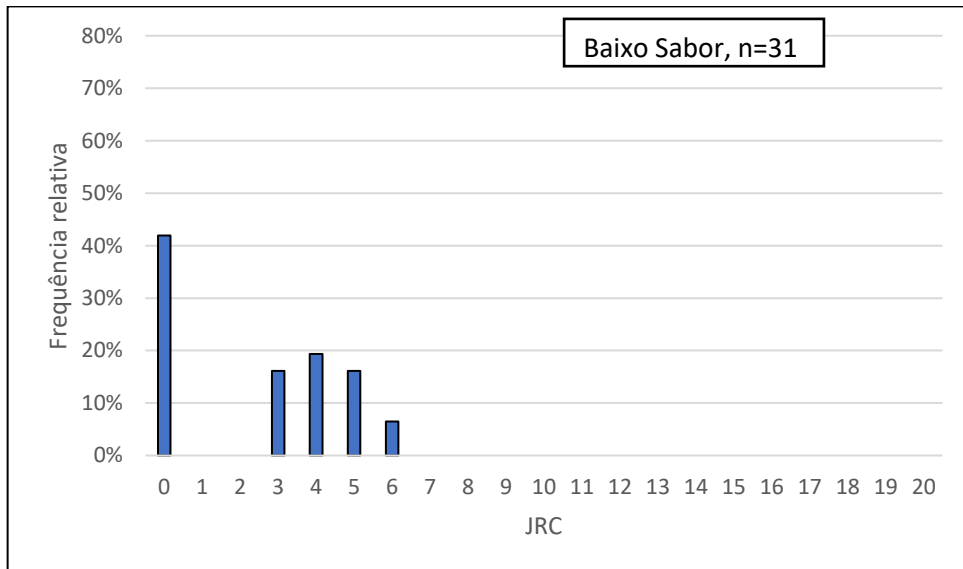


Fig. 84- Grupo Baixo Sabor.

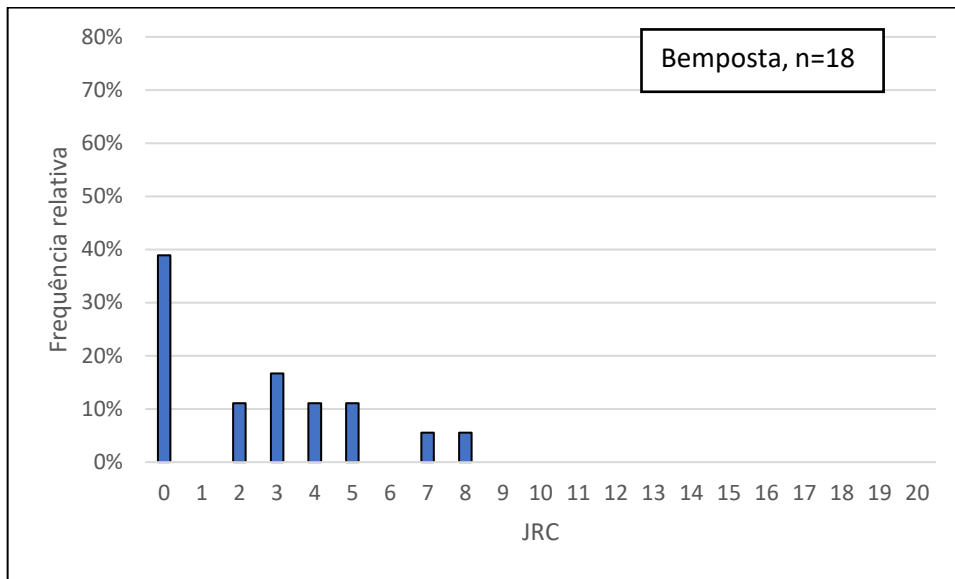


Fig. 85- Grupo Bemposta.

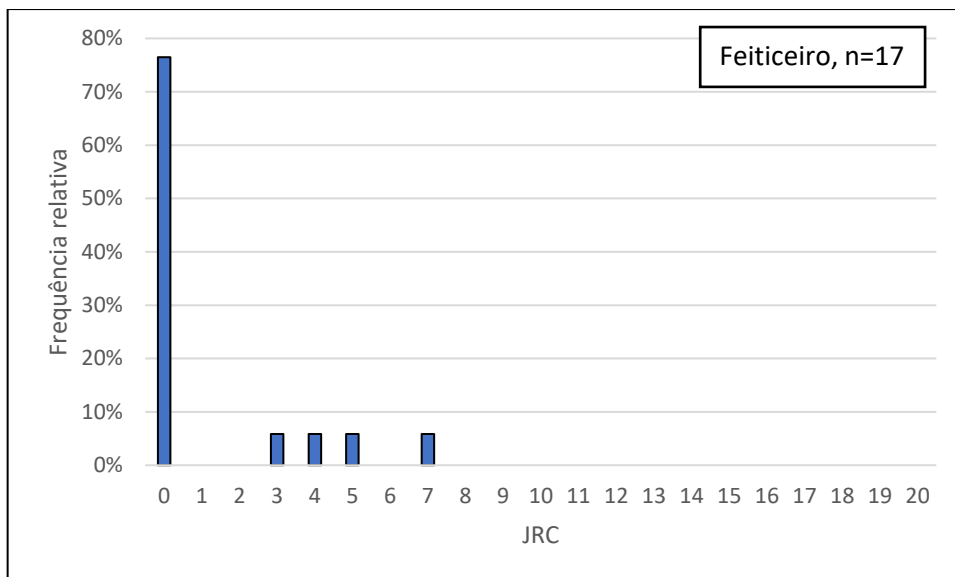


Fig. 86- Grupo Feiticeiro.

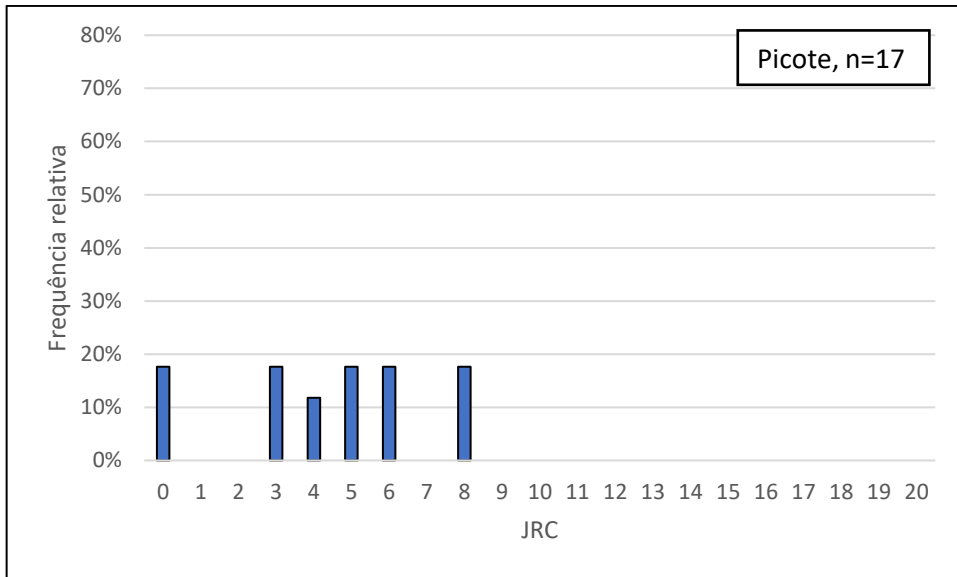


Fig. 87- Grupo Picote.

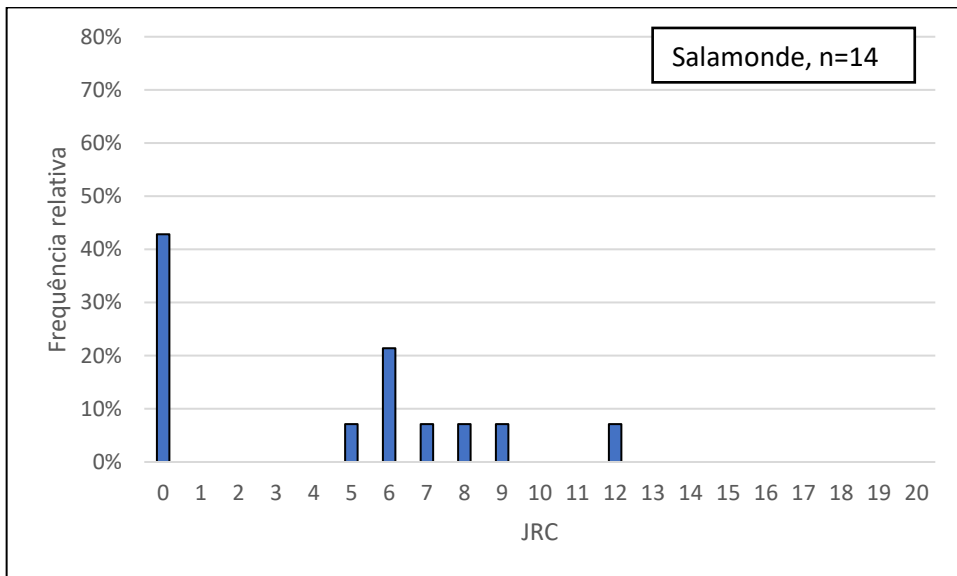


Fig. 88- Grupo Salamonde.

F. HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIA RELATIVA DO JCS.

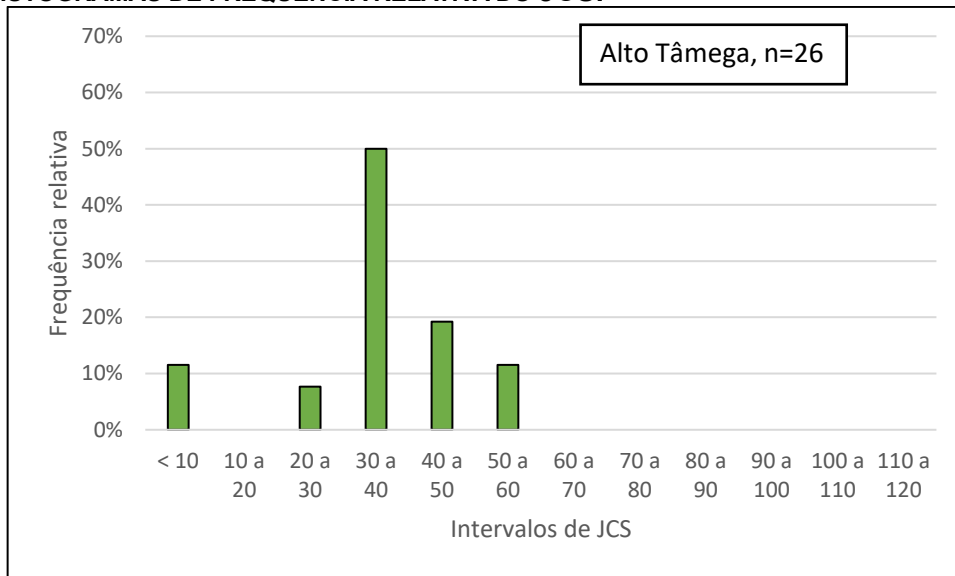


Fig. 89- Grupo Alto Tâmega.

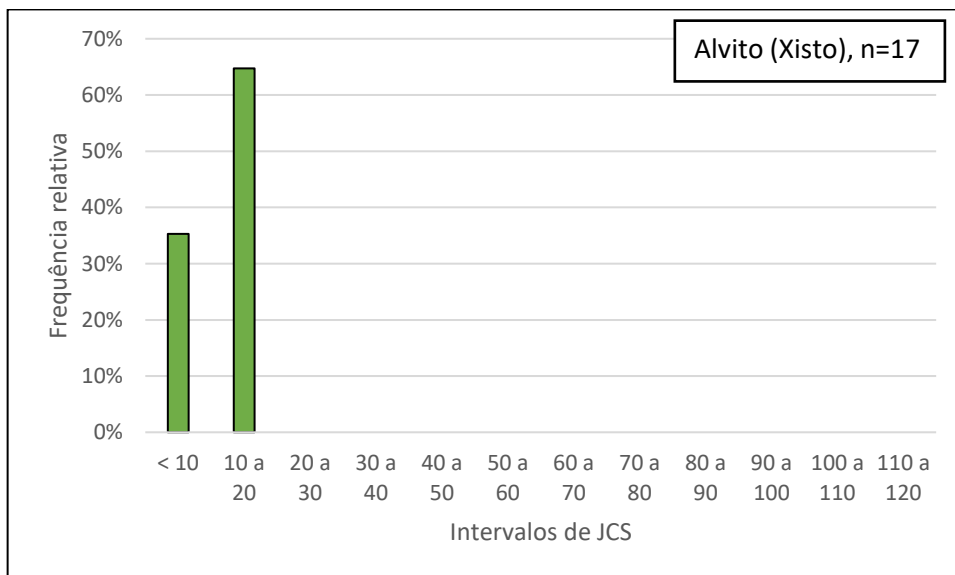


Fig. 90- Grupo Alvito (Xisto).

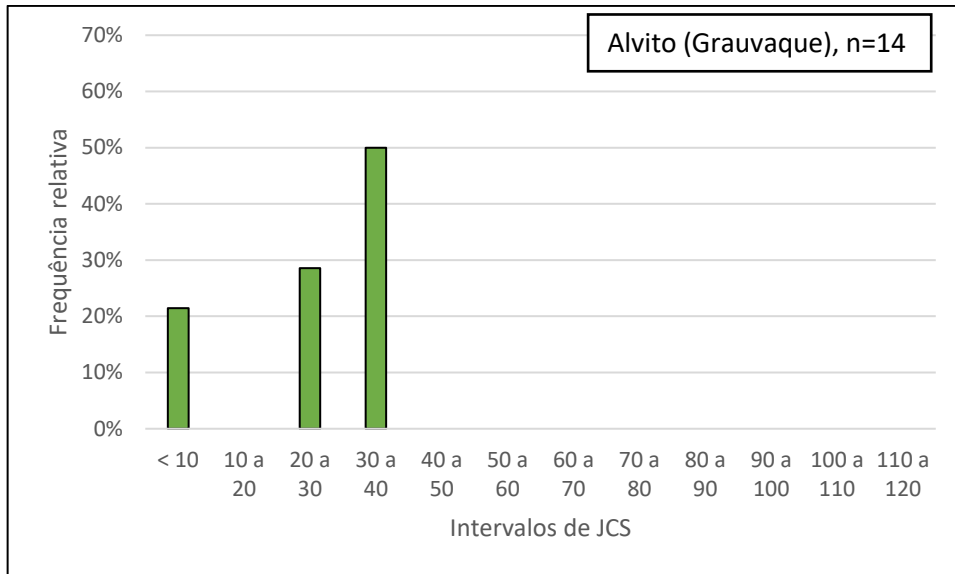


Fig. 91- Grupo Alvito (Grauvaque).

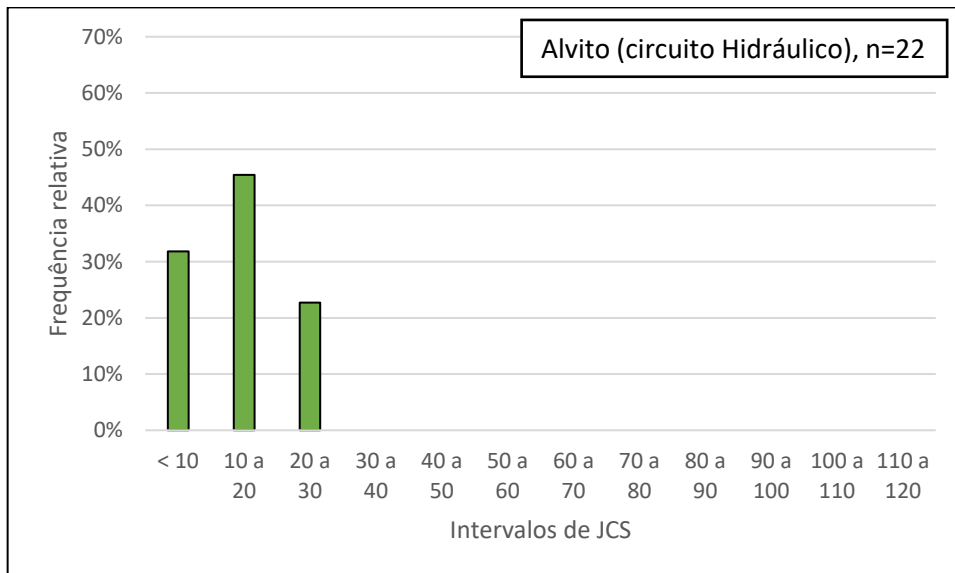


Fig. 92- Grupo Alvito (Circuito Hidráulico).

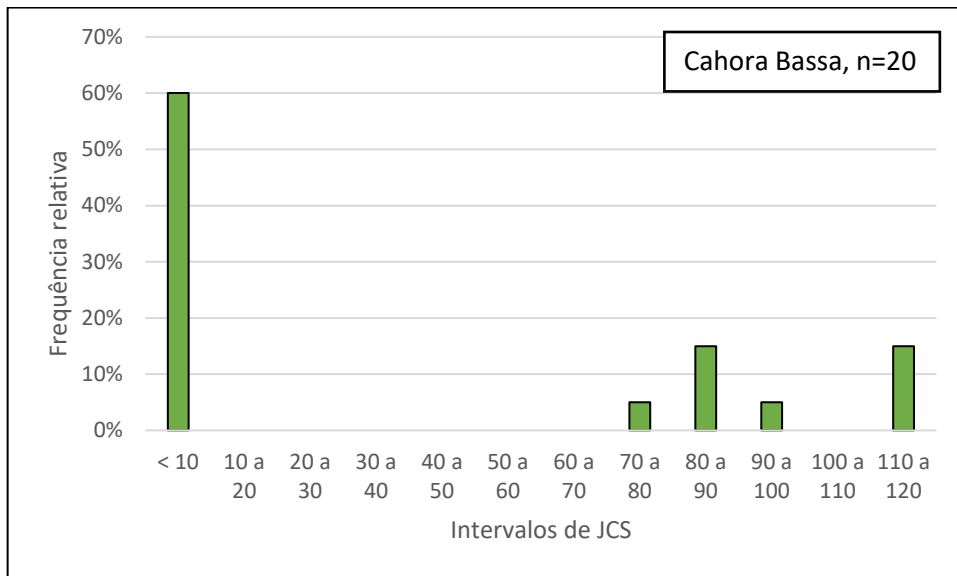


Fig. 93- Grupo Cahora Bassa.

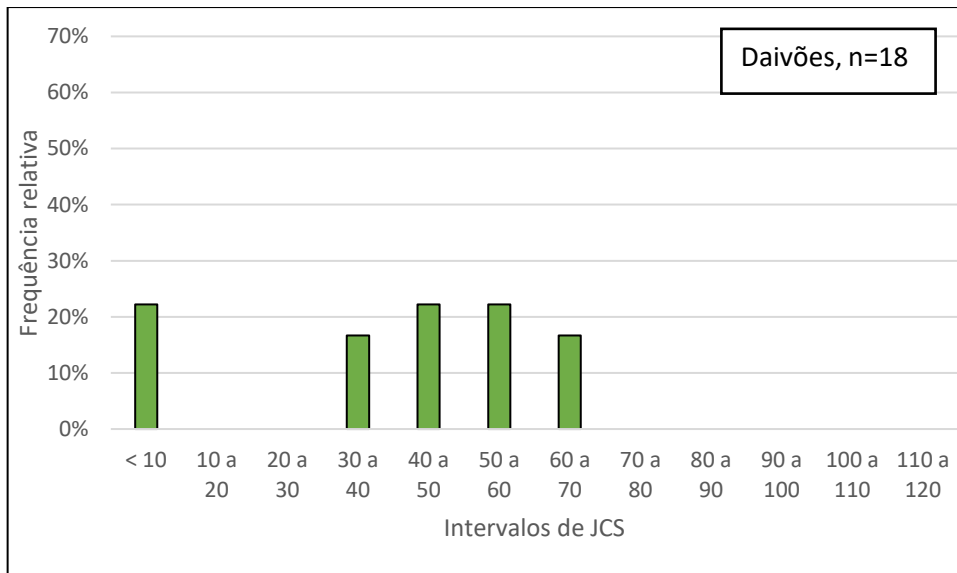


Fig. 94- Grupo Daivões.

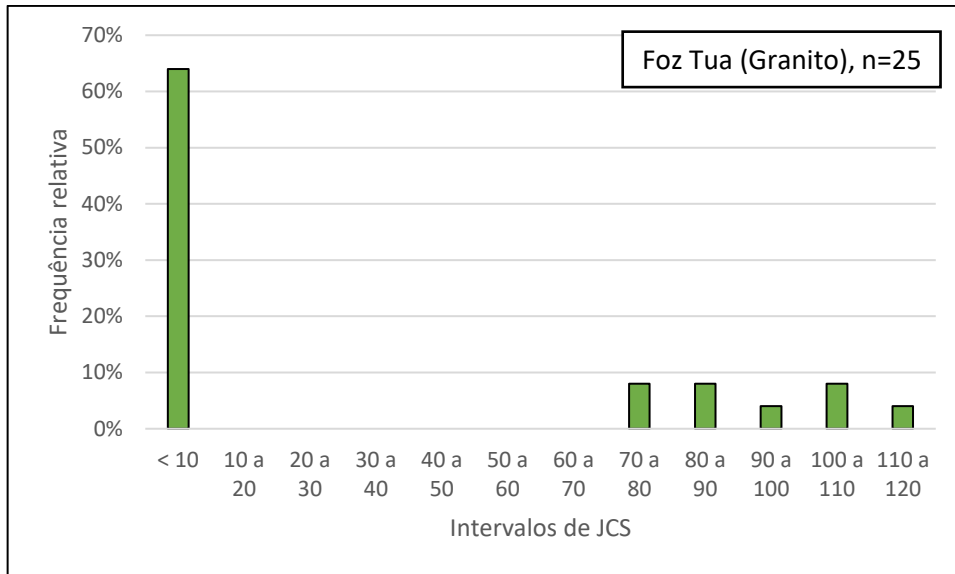


Fig. 95- Grupo Foz Tua (Granito).

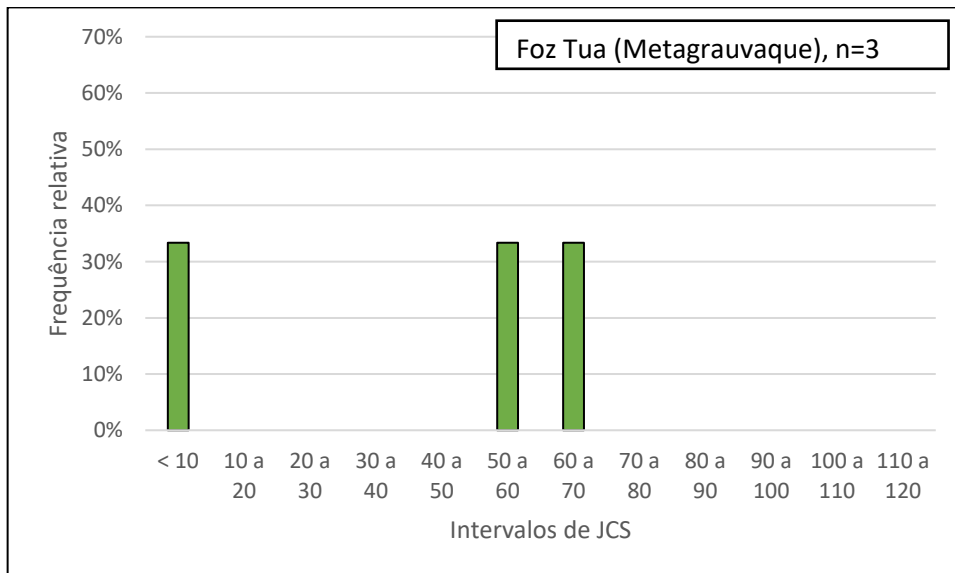


Fig. 96- Grupo Foz Tua (Metagranite).

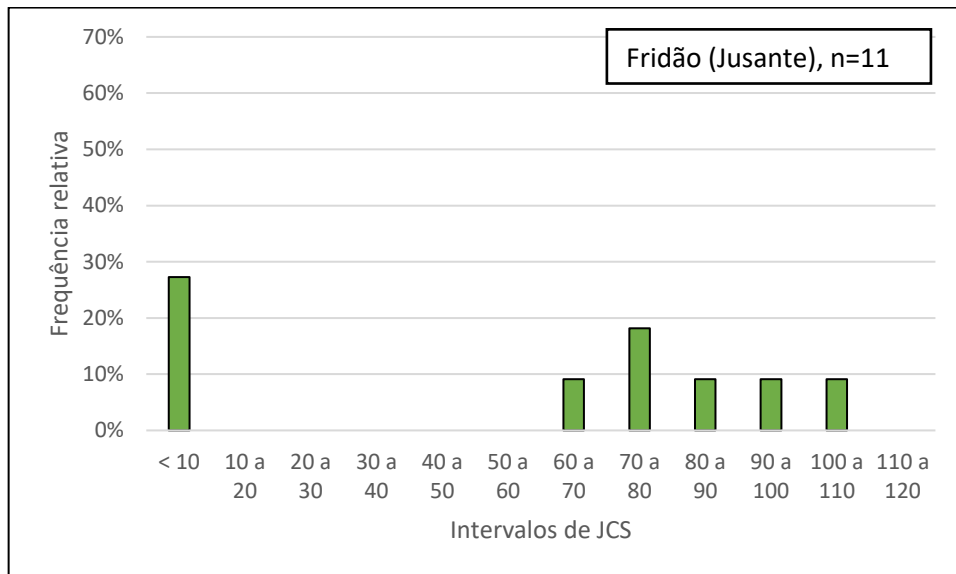


Fig. 97- Grupo Fridão (Jusante).

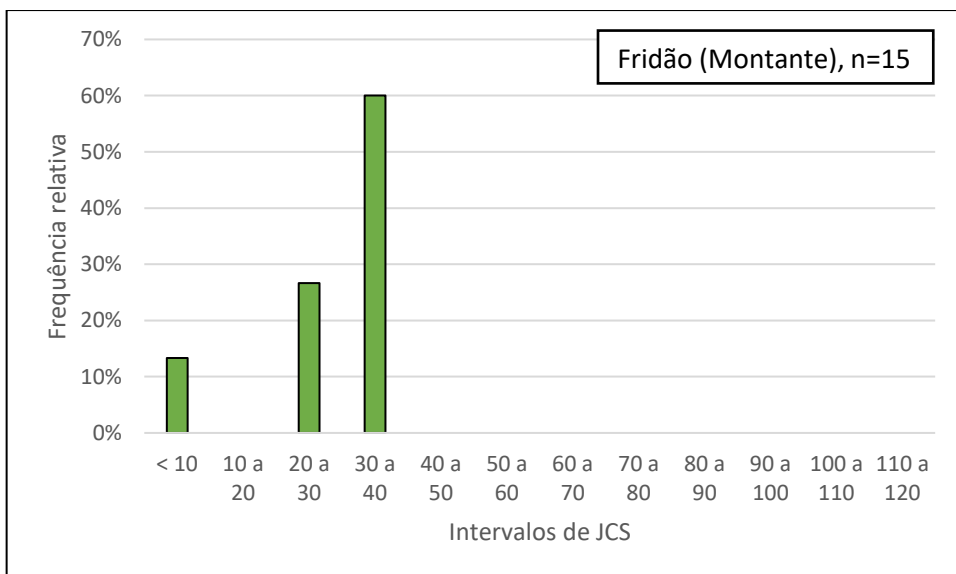


Fig. 98- Grupo Fridão (Montante).

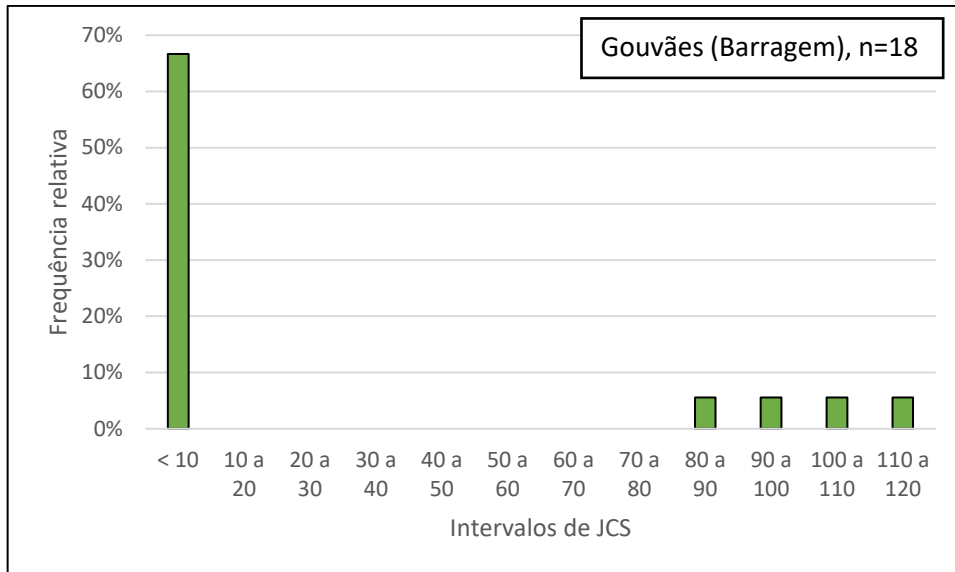


Fig. 99- Grupo Gouvães (Barragem).

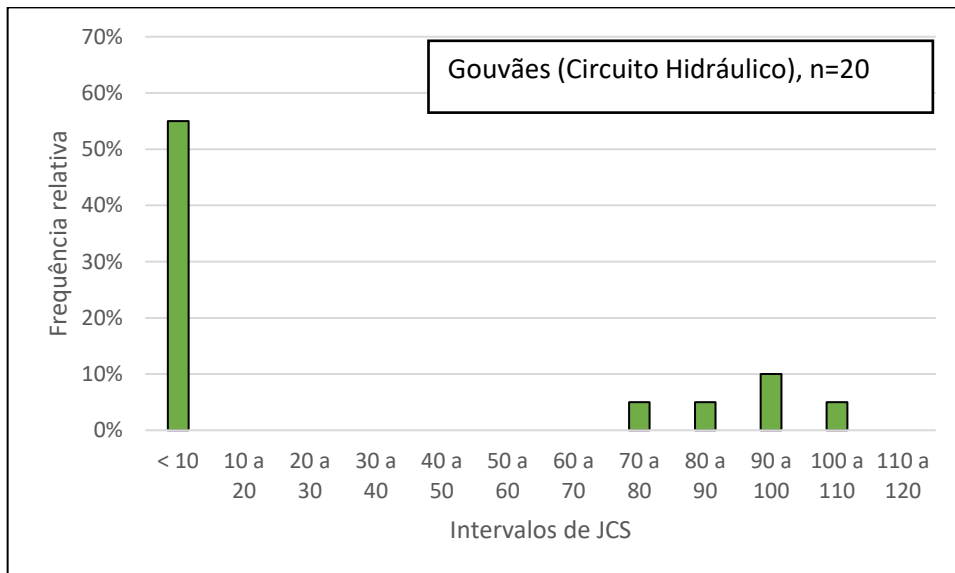


Fig. 100- Grupo Gouvães (Circuito Hidráulico).

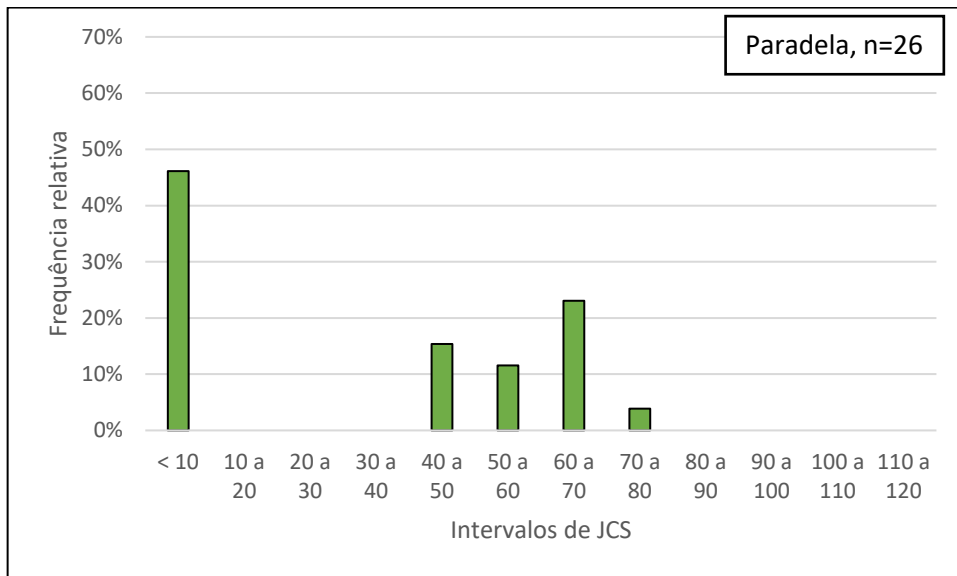


Fig. 101- Grupo Paradela.

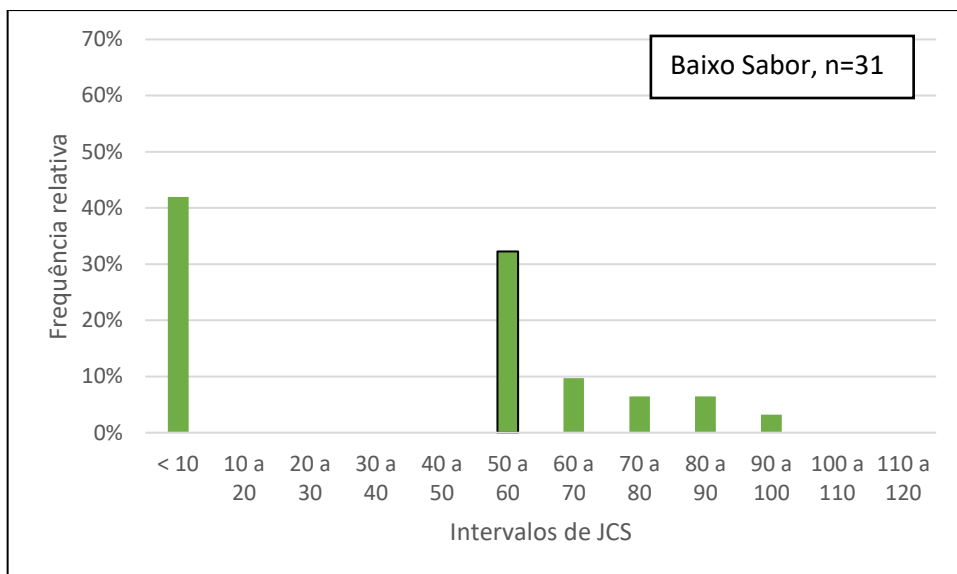


Fig. 102- Grupo Baixo Sabor.

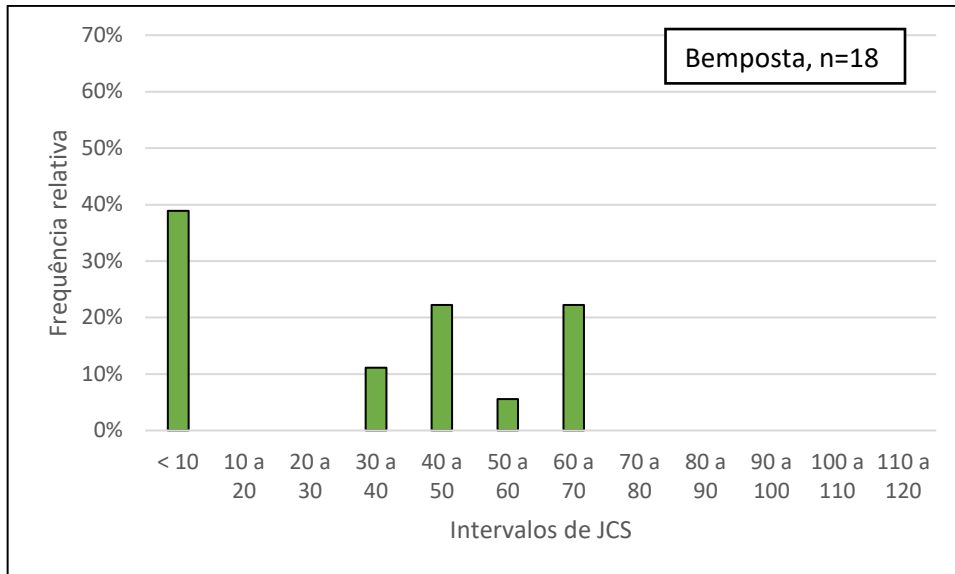


Fig. 103- Grupo Bemposta.

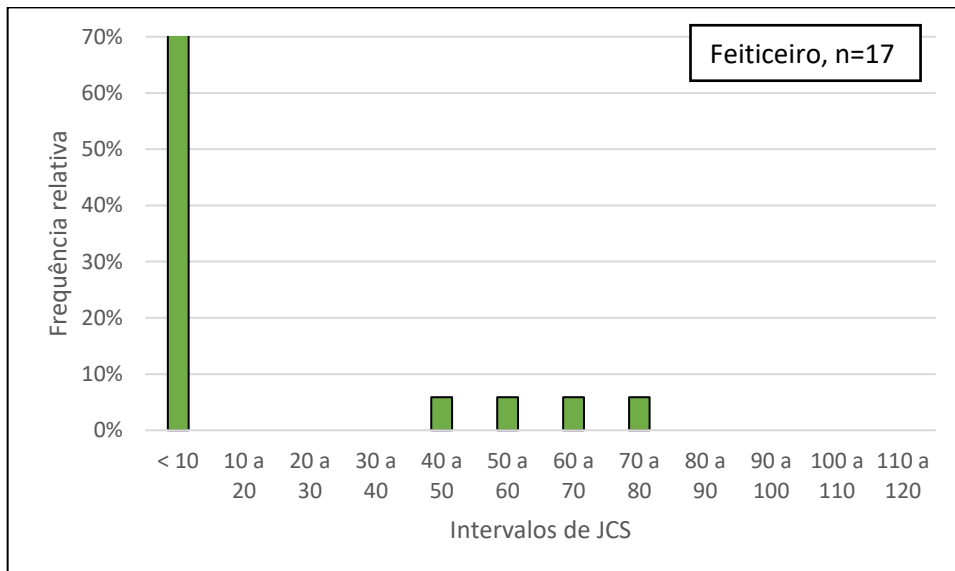


Fig. 104- Grupo Feiticeiro.

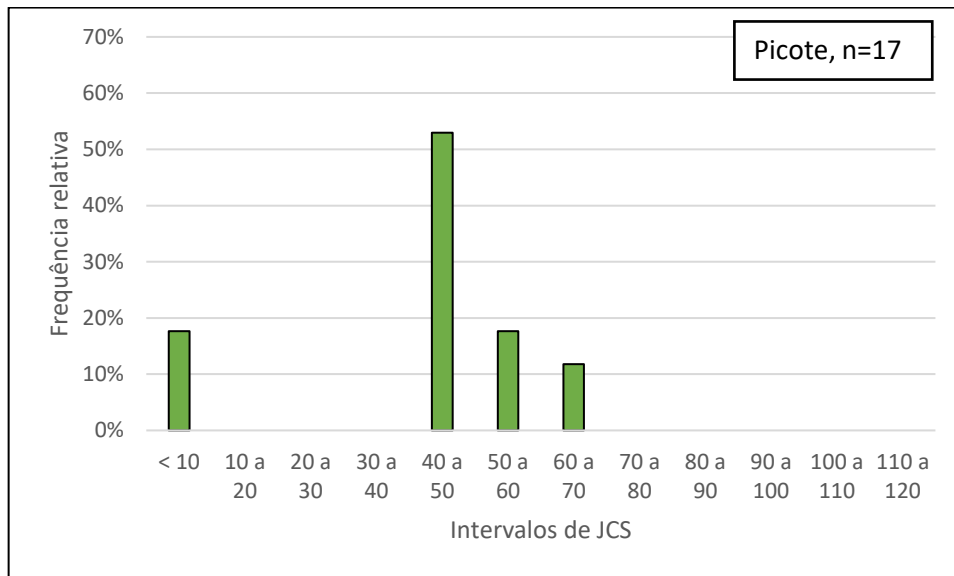


Fig. 105- Grupo Picote.

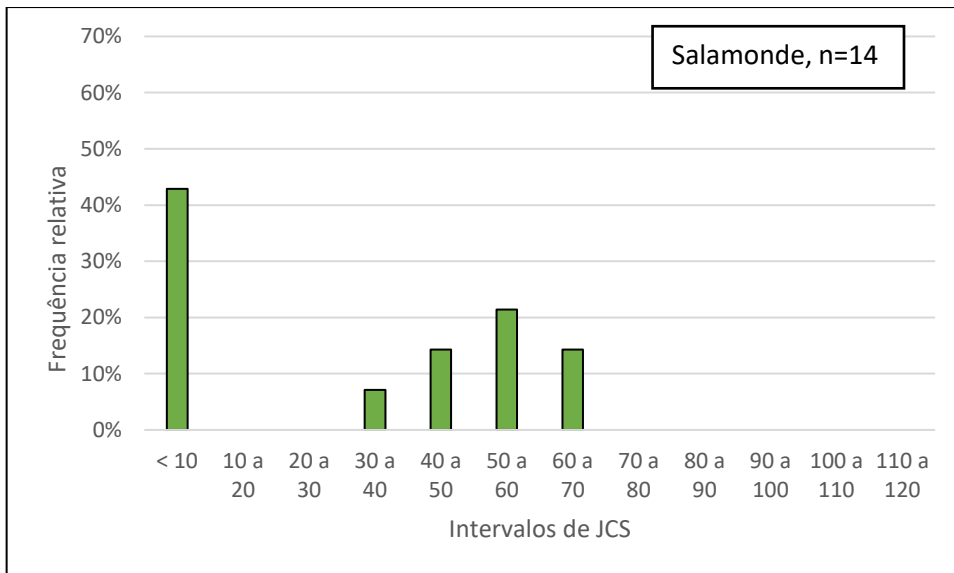


Fig. 106- Grupo Salamonde.