



Edson Campos Bento

**Avaliação das Condições de Estanqueidade
das Fundações e da Ombreira da Hidroelétrica
de Laúca - Angola**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil do Departamento de
Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Celso Romanel
Co-orientador: Prof. Pedricto Rocha Filho

Rio de Janeiro
Dezembro de 2014



Edson Campos Bento

**Avaliação das Condições de Estanqueidade
das Fundações e da Ombreira da Hidroelétrica
de Laúca - Angola**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil do
Departamento de Engenharia Civil do Centro
Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela
Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Celso Romanel

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Pedricto Rocha Filho

Co-orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Ana Cristina Castro Fontenla Sieira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial

Centro Técnico Científico PUC-Rio

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Edson Campos Bento

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Jean Piaget de Angola, de Luanda – Angola, em 2010, tendo exercido a profissão de Engenheiro Civil durante o período 2010-2012. Ingressou, em 2012, no curso de Mestrado em Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, na área de Geotecnia, desenvolvendo dissertação de mestrado na linha de pesquisa de fundações de barragens.

Ficha Catalográfica

Bento, Edson Campos

Avaliação das condições de estanqueidade das fundações e da ombreira da hidroelétrica de Laúca - Angola / Edson Campos Bento; orientador: Celso Romanel; co-orientador: Pedricto Rocha Filho. – 2014.

170 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2014.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Barragens. 3. Ensaio de Lugeon. 4. Permeabilidade. 5. Barragem de Laúca - Angola. I. Romanel, Celso. II. Rocha Filho, Pedricto. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Dedico esse trabalho, primeiramente, a Deus, pai todo poderoso, sem ele, tal obra não seria possível; aos meus pais, tios, irmãos, primos, sobrinhos, amigos, especialmente, à Maria Emília Amorim Miranda da Conceição.

Aos meus orientadores, professores ao longo desta carreira estudantil, e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, me apoiaram.

Sem o incondicional apoio de todos vocês, nada disso se tornaria possível.

Agradecimento

Agradeço, primeiramente a Deus, Pai todo poderoso, sem ele, não seria possível a minha existência.

Aos meus avós, pais e tios por terem me mostrado o caminho da escola como uma das melhores formas de ganhar a vida honestamente e pela educação que eles me deram. Espero que desta forma, eles possam se sentir orgulhosos por terem apostado, investido e confiado em mim.

Aos meus queridos irmãos e primos por tudo, pelas vezes que não pude levá-los a passear, porque tinha que estudar, em especial a minha noiva Zuela Capilo. Contudo, eles compreendiam-me. Espero que sigam o mesmo caminho que o meu e que o façam da melhor forma.

Aos meus amigos e colegas Camila Bergmann, Eridson Cardoso, Guillermo Jordan, Gustavo Sobreira, Hugo David, Rui Francisco e Thaís Abreu, pela grande ajuda em todas as etapas deste trabalho.

Ao meu orientador, corpo docente desta Universidade, e, em especial, aos meus colegas que me deram força e ensinamentos para não desistir e, incansavelmente, ofereceram-me conhecimento científico e orientação para a elaboração deste trabalho.

Às empresas que colaboraram para a elaboração deste trabalho: a toda equipe da Odebrecht Angola e, especialmente, à pessoa de António Carlos Daiha que, incondicionalmente, esteve sempre à disposição para a devida colaboração; a Intertechne, em especial aos engenheiros Davi Maranesi e Sérgio Kraemer Montenegro que sempre estiveram prontos para apoiar esta dissertação; a Furnas, à pessoa do engenheiro Edgar Neto e ao Ministério da Construção de Angola, à pessoa do director nacional de infraestrutura José Paulo Kai que sempre foi um pai, amigo, irmão e conselheiro.

Aos meus orientadores prof. Pedricto Rocha Filho: "Edson o mais importante não é como você entra aqui, mais sim como você sai". E, Celso Romanel. Aos professores Alberto Sayão: "Edson lê este livro como se fosse um romance, não se preocupe com as fórmulas". Michéle Casagrande, Sérgio Fontoura e Eurípides Vargas, pelos seus ensinamentos durante a etapa da minha formação, da realização desta pesquisa e pela oportunidade que me concederam, o meu muito obrigado pelo carinho e paciência.

Agradeço também aos professores da UFRJ/COPPE, Edson Watanabe, Romildo Toledo Filho, Taborda Gárcia, Michèle Schubert Pfeil, Anna Laura Nunes e Ana Cristina (UERJ).

A Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro /PUC-Rio, o meu muito obrigado pela oportunidade de ter aberto as portas várias vezes, incondicionalmente, para frequentar o Mestrado. Agradeço também ao programa do governo brasileiro CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pela aposta, oportunidade e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa, que me concedeu.

À todos que, direta ou indiretamente, me apoiaram ao longo da minha vida, da minha carreira estudantil e da elaboração deste trabalho para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, o meu muito obrigado.

Resumo

Bento, Edson Campos; Romanel, Celso; Rocha Filho, Pedricto. **Avaliação das Condições de Estanqueidade das Fundações e da ombreira da Hidroelétrica de Laúca – Angola.** Rio de Janeiro, 2014. 170p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O aproveitamento hidroelétrico de Laúca, está localizado no km 307,5, do rio Kwanza (medido a partir de sua foz), cerca de 47 km a jusante do AHE Capanda, próximo à localidade de N’hanguéYa Pepe, na província do Kwanza Norte – Angola. A obra teve início no final de 2012 e terminará em 2017. Normalmente, as fundações de barragens são obras projetadas na superfície do globo e apoiadas sobre as rochas, e em muitas dessas rochas encontram-se fraturadas que geram algumas descontinuidades, ocasionando valores elevados da permeabilidade nas fundações de barragens. Esta dissertação tem como principal objetivo avaliar as condições de estanqueidade das fundações do aproveitamento hidrelétrico de Laúca. Esta avaliação foi feita a partir dos resultados de ensaios de perda d’água sob pressão e interpretada através da teoria dos ensaios de Maurice Lugeon, que são realizados em maciços rochosos através de furos de sondagens em diferentes estágios. Estes ensaios têm como finalidade indicar os valores da permeabilidade e do comportamento desses maciços, em relação à percolação d’água através das descontinuidades. Através da teoria de Lugeon, pode-se definir o tipo de escoamento, comportamento do preenchimento nas fraturas e fissuras que indiquem valor representativo da permeabilidade do maciço, que, por sua vez, orientará uma tomada de decisão sobre a necessidade de se adotar alguma intervenção, bem como a adoção de um programa de tratamento das fundações da barragem.

Palavras-chave:

Barragens; Barragem de Laúca; Ensaio de Lugeon; Permeabilidade.

Abstract

Bento, Edson Campos; Romanel, Celso (Advisor); Rocha Filho, Pedricto (Co-Advisor). **Evaluation of the flow conditions Through the Foundation of the Laúca Dam - Angola.** Rio de Janeiro, 2014. 170p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Laúca Dam is located at km 307.5 of the Kwanza River (measured from its mouth), about 47 km downstream from Capanda Hydroelectric Project, near the village of Ya N'hangue Pepe in the province of Kwanza Norte - Angola. Usually dam foundations are designed and constructed along the eroded channel rivers and supported on the rocks, and many of these rocks are fractured, and generate some discontinuities with a high degree of hydraulic conductivity of the dam foundations. This dissertation aims to assess and to evaluate the seepage conditions throughout the foundations of hydroelectric Laúca. This evaluation is normally made using the tests of loss of water with pressure and interpreted using the proposal of Maurice Lugeon, i.e., the well-known in the practice of dam engineering as the Lugeon test. This test is performed in rock masses through boreholes and different stages, aims to determine the hydraulic conductivity and the behavior of the fractured rock mass, taking into the consideration the water flow through the discontinuities and fractures. Using the Lugeon set of results, it can be estimated important engineering characteristics such as: the volume and the type of flow and representatives values of the equivalent mass of the hydraulic conductivity. All this information is useful to establish the grouting procedure and also to verify the performance of the treatment carried out to reduce leakage through the dam foundation.

Keywords

Dam; Laúca Dam; Lugeon Test; Permeability.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	22
1.1	PROBLEMÁTICA	22
1.2	JUSTIFICATIVA.....	23
1.3	OBJETIVOS	23
1.3.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>23</i>
1.3.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>23</i>
1.4	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1	TRATAMENTO DE FUNDAÇÕES DE BARRAGENS.....	25
2.2	TIPOS DE BARRAGENS	26
2.3	CONCRETO COMPACTADO A ROLO.....	26
2.3.1	<i>Definição</i>	<i>27</i>
2.3.2	<i>Evolução</i>	<i>27</i>
2.3.3	<i>Razões de Emprego.....</i>	<i>27</i>
2.3.4	<i>Aplicações</i>	<i>27</i>
2.4	HIDROLOGIA E ESTUDOS DE HIDROGEOLOGIA	28
2.4.1	<i>Aspectos hidrogeológicos.....</i>	<i>28</i>
2.5	GEOLOGIA E ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....	28
2.5.1	<i>Definição geológica.....</i>	<i>29</i>
2.5.2	<i>Mapa geológico</i>	<i>29</i>
2.6	INVESTIGAÇÃO GEOLOGICA.....	29
2.6.1	<i>Rocha - descontinuidades</i>	<i>30</i>
2.6.2	<i>Qualidade da massa rochosa.....</i>	<i>30</i>
2.7	PROBLEMAS GEOTÉCNICOS DAS FUNDAÇÕES DE UMA BARRAGEM.....	31
2.7.1	<i>Caracterização geológica das fundações.....</i>	<i>31</i>
2.7.2	<i>Caracterização</i>	<i>32</i>
2.7.3	<i>Percolação em meios porosos.....</i>	<i>32</i>
2.7.4	<i>Percolação em meio fraturado</i>	<i>33</i>
2.8	CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DAS FUNDAÇÕES DE UMA BARRAGEM	33

2.8.1	<i>Critério de classificação</i>	33
2.8.2	<i>Estanqueidade</i>	34
2.9	ENSAIO DE LUGEON.....	35
2.9.1	<i>Descrição</i>	35
2.9.2	<i>Metodologia</i>	36
2.9.2.1	Explicação do cálculo.....	38
2.9.3	<i>Interpretação</i>	39
2.9.4	<i>Limitações do ensaio Lugeon</i>	41
2.9.5	<i>A Unidade Lugeon(U.L)</i>	42
2.9.6	<i>Definição da unidade Lugeon</i>	42
2.9.7	<i>Testes em Outras pressões:</i>	43
2.10	PERMEABILIDADE EM MACIÇOS ROCHOSOS.....	43
2.10.1	<i>Ensaio de Perda d'água Sob Pressão</i>	43
2.10.2	<i>Comportamento do Maciço Rochoso e Coeficiente de Permeabilidade (K)</i>	44
2.10.3	<i>Condicionantes geológicos – geotécnicos e limites de ‘permeabilidade’</i>	50
2.10.4	<i>Análise dos ensaios de perda d'água sob pressão</i>	53
2.10.4.1	Furos de controle ou de verificação	55
2.10.4.2	Metodologias de controle e formas de análise da eficiência das cortinas de injeção	56
2.10.5	<i>Determinação da permeabilidade dos maciços rochosos</i>	57
2.10.6	<i>Execução de injeções</i>	61
2.10.6.1	Furos e cortinas de injeção.....	61
2.10.6.2	Pressões de injeção	64
2.10.6.3	Ensaio prévios “insitu” de injeção.....	67
2.10.6.4	Ensaio de injetabilidade	68
3	ESTUDO DE CASO – HIDRELÉTRICA DE LAÚCA - ANGOLA	70
3.1	CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO DE LAÚCA	70
3.2	TIPO DE BARRAGEM.....	71
3.3	RIO KWANZA.....	72
3.4	ASPECTOSGEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	76
3.4.1	<i>Geologia Regional</i>	76
3.4.2	<i>GeologiaEstrutural</i>	76
3.5	GEOLOGIA DO LOCAL DE APROVEITAMENTO	77
3.6	ASPECTOS GEOTÉCNICOS.....	81
3.6.1	<i>Barragem</i>	81
3.6.2	<i>Mapa geológico local</i>	83
3.6.3	<i>Perfis Geológicos</i>	84

3.6.4	<i>Resumo dos resultados dos ensaios em amostras de rochas.....</i>	89
3.6.5	<i>Parâmetros de Classificação.....</i>	91
3.6.6	<i>Permeabilidade (K).....</i>	92
3.6.7	<i>Sismicidade.....</i>	92
4	APRESENTAÇÃO DOS GRÁFICOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	
	COM BASE EM LUGEON	95
4.1	GRÁFICO E TABELAS.....	96
4.1.1	<i>Gráficos e Tabelas - 1</i>	96
4.1.2	<i>Gráficos e Tabelas - 2</i>	97
4.1.3	<i>Gráficos e Tabelas - 3</i>	98
4.1.4	<i>Gráficos e Tabelas - 4</i>	99
4.1.5	<i>Gráficos e Tabelas - 5</i>	100
4.1.6	<i>Gráficos e Tabelas - 6</i>	101
4.1.7	<i>Gráficos e Tabelas - 7</i>	102
4.1.8	<i>Gráficos e Tabelas - 8</i>	103
4.1.9	<i>Gráficos e Tabelas - 9</i>	104
4.1.10	<i>Gráficos e Tabelas10</i>	105
4.1.11	<i>Gráficos e Tabelas - 11</i>	106
4.1.12	<i>Gráficos e Tabelas - 12</i>	107
4.1.13	<i>Gráficos e Tabelas - 13</i>	108
4.1.14	<i>Gráficos e Tabelas - 13</i>	109
4.1.15	<i>Gráficos e Tabelas - 15</i>	110
4.1.16	<i>Gráficos e Tabelas - 16</i>	111
4.1.17	<i>Gráficos e Tabelas - 17</i>	112
4.1.18	<i>Gráficos e Tabelas - 18</i>	113
4.1.19	<i>Gráficos e Tabelas - 19</i>	114
4.1.20	<i>Gráficos e Tabelas - 20</i>	115
4.1.21	<i>Gráficos e Tabelas - 21</i>	116
4.1.22	<i>Gráficos e Tabelas - 22</i>	117
4.1.23	<i>Gráficos e Tabelas - 23</i>	118
4.1.24	<i>Gráficos e Tabelas - 24</i>	119
4.1.25	<i>Gráficos e Tabelas - 25</i>	120
4.2	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	121
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	127
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129

ANEXO 1..... 133

Lista de Figuras

Figura 2-1 - Esquematização do ensaio tipo Lugeon com obturador duplo	36
Figura 2-2 - Ensaio de perda d'água	44
Figura 2-3 - Parâmetros de análise de um meio fraturado	45
Figura 2-4 - Modelos de fluxos considerados na análise de ensaios de furo único (Hsieh; Neuman; Simpson, 1983)	46
Figura 2-5 - Casos teóricos esperados de comportamento do trecho ensaiado (Oliveira <i>et al.</i> , 1975)	47
Figura 2-6 - Comparação das formulas de permeabilidades (Zeigler, 1976).	49
Figura 2-7- Relação entre a perda d'água e a abertura da fissura das fraturas	52
Figura 2-8– Variação da permeabilidade de maciços rochosos fraturados, com a profundidade, (Azevedo; Albuquerque Filho, 1998)	53
Figura 2-9- Valores de vazão específica máxima em cada etapa de injeção na barragem de Xavantes (Rio Paranapema, SP/PR). (Modificado de IPT, 1977 f).	54
Figura 2-10 - Esquema de montagem para ensaio de perda de carga e perda d'água sob pressão (ABGE, 1975).	57
Figura 2-11 - Parâmetro do ensaio de perda d'água sob pressão (ABGE, 1975).	59
Figura 2.12 – esquema das etapas de injeção pelo método ascendente (Modificado de Boudeaux, 1980).	62
Figura 2.13 – Esquema das etapas de injeção pelo método ascendente (Modificado de Boudeaux, 1980).	63
Figura 2.14 – Curva de pressões de injeção x profundidade segundo a prática norte-americana (Modificado de Sabarly, 1968).	64

Figura 2.15– Esquema de montagem americano para injeção de calda de cimento (IPT, 1984).	65
Figura 2.16 - Esquema de montagem europeu para injeções de calda de cimento (IPT, 1984).	65
Figura 2-17– Representação gráfica da (1) “regra européia” e (2) “regra americana”	66
Figura 2.18– “Curva” e valores máximos de pressões de injeções em função da profundidade, propostas e adotadas em projetos de barragens brasileiras (Modificado de Sampaio, 1983).	66
Figura 3.1 - Barragem de Laúca.	72
Figura 3.2 - Barragem de cambambe.	73
Figura 3.3 - Vista da encosta da margem direita (fluxo para a esquerda).	76
Figura 3.4 - Fratura de alívio aberta.	79
Figura 3.5 - Principais lineamentos mapeados na área.	80
Figura 3.6 - Vista da área do emboque, com a falha 1 marcada.	80
Figura 3.7 - Vista da encosta da margem direita, na área afetada pela falha 2 (fluxo para a esquerda).	81
Figura 3.8 - Calcario Poroso.	82
Figura 3.9 - Aspecto da encosta da margem direita, com os negativos formados na encosta.	82
Figura 3.10 - Aspecto da encosta na área da central principal.	83
Figura 3.14 - Mapa geológico local – planta.	84
Figura 3.15 - Perfil geológico da margem direita.	85
Figura 3.16 - Perfil geológico do eixo da barragem.	86
Figura 3.17 - Perfil geológico da margem esquerda.	87
Figura 3.20 - Mapa da sismicidade de Angola de acordo com a base de dados sismológica usada no estudo de ameaça sísmica.	93

Lista de Gráficos

Gráfico 4.1 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 1	
Gráfico 4.2 - Pressão Efetiva x Lugeon -ensaio número 1	96
Gráfico 4.3 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 2.	
Gráfico 4.4 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 2.	97
Gráfico 4.5 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva- ensaio número 3	
Gráfico 4.6 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 3	98
Gráfico 4.7 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva ensaio número 4	
Gráfico 4.8 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 4	99
Gráfico 4.9- Vazão Equivalente x Pressão Efetiva ensaio número 1	
Gráfico 4.10- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 1	100
Gráfico 4.11 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 2	
Gráfico 4.12 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 2	101
Gráfico 4.13 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 3	
Gráfico 4.14 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 3	102
Gráfico 4.15 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 4	
Gráfico 4.16 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 4	103
Gráfico 4.17- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 1	
Gráfico 4.18- Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 1	104
Gráfico 4.19- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 2	
Gráfico 4.20 -Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 2	105
Gráfico 4.21- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 3.	
Gráfico 4.22- Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 3.	106
Gráfico 4.23 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 4.	
Gráfico 4.24 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 4	107

Gráfico 4.25 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 1.	
Gráfico 4.26 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 1.	108
Gráfico 4.27 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 2	
Gráfico 4.28- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 2	108
Gráfico 4.29 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 3.	
Gráfico 4.30- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 3.	109
Gráfico 4.31 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 4	
Gráfico 4.32- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 4.	109
Gráfico 4.33 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 5.	
Gráfico 4.34- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 5.	110
Gráfico 4.35 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 6.	
Gráfico 4.36 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 6	110
Gráfico 37 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 7.	
Gráfico 38- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 7.	111
Gráfico 4.39 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número-8.	
Gráfico 4.40 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 8.	112
Gráfico 4.41 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número-1.	
Gráfico 4.42- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 1.	112
Gráfico 4.43 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 1.	
Gráfico 4.44- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 1.	113
Gráfico 4.45 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número-2.	
Gráfico 4.46- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 2.	114

Gráfico 4.47 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número	3.	
Gráfico 4.48- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 3.		115
Gráfico 4.49 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número	4.	
Gráfico 4.50- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 4.		116
Gráfico 4.51 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número	5.	
Gráfico 4.52 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 5.		117
Gráfico 4.53 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número	6.	
Gráfico 4.54 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 6.		117
Gráfico 4.55 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número	7.	
Gráfico 4.56 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 7.		118
Gráfico 4.57 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 8.		
Gráfico 4.58- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 8.		118
Gráfico 4.59 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número	9.	
Gráfico 4.60- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 9.		119
Gráfico 4.61- Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número 10.		
Gráfico 4.62 - Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 10.		119
Gráfico 4.63 - Vazão Equivalente x Pressão Efetiva - ensaio número	11.	
Gráfico 4.64- Pressão Efetiva x Lugeon - ensaio número 11.		120

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Magnitudes de pressão normalmente usada para cada fase de ensaio.	37
Tabela 2 - Condições das discontinuidades do maciço rochoso associadas a gamas de valores de absorção em Lu (adaptado de Houlsby, 1976).	38
Tabela 3- Síntese da interpretação dos ensaios Lugeon (modificado de Quiñones-Rozo, 2010)	41
Tabela 4- Equações mais frequentes no cálculo da permeabilidade	48
Tabela 5 - Dados básicos do projeto da hidrelétrica de Laúca – Angola.	74
Tabela 6 - Dimensionamento das estruturas hidrelétrica de Laúca – Angola.	75
Tabela 7 - Resultados dos ensaios em amostras de rochas.	90
Tabela 8 - Sondagens executadas.	91
Tabela 9 - Logs - Parâmetros de Classificação	91
Tabela 10 - Permeabilidade	92
Tabela 11 - Pontuação para definir Categorias de Risco de Barragens de acordo com o Boletim 72 do ICOLD (1989), USCOLD 1996. (Pontos entre parêntesis)	94
Tabela 12 - Categorização do risco ICOLD, Boletín 72 (1989), USCOLD 1999.	94
Tabela 4-13– Tipo de escoamento, fraturamento e colmatação - ensaio número 1, SR 101.	96
Tabela 4.14 - Tipo de escoamento, fraturamento e colmatação - ensaio número 2, SR 101.	97
Tabela 4.15 - Tipo de escoamento, fraturamento e colmatação - ensaio número 3, SR 101.	98

Tabela 4.16 - Tipo de escoamento, fraturamento e colmatação - ensaio número 3, SR 101.	99
Tabela 4.17 - Tipo de escoamento, fraturamento e colmatação - ensaio número 1, SR 108.	100
Tabela 4.18 - Tipo de escoamento, fraturamento e colmatação - ensaio número 2, SR 108.	101
Tabela 4.19 - Tipo de escoamento, fraturamento e colmatação - ensaio número 3, SR 108.	102
Tabela 4.20 - Tipo de escoamento, fraturamento e colmatação - ensaio número 4, SR 108.	103
Tabela 21 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 1, SR 101.	135
Tabela 22 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 2, SR 10.	136
Tabela 23 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 3, SR 101.	137
Tabela 24 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 4, SR 101.	138
Tabela 25 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 7, SR 101.	139
Tabela 26 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 8, SR 101.	140
Tabela 27 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 1, SR 108.	141
Tabela 28 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 2, SR 108.	142
Tabela 29 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 3, SR 108.	143
Tabela 30 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 4, SR 108.	144
Tabela 31- Ensaio de Perda d'água - ensaio número 5, SR 108.	145
Tabela 32 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 6, SR 108.	146
Tabela 33 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 7, SR 108.	147
Tabela 34 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 8, SR 108.	148
Tabela 35 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 1, SR 109.	149
Tabela 36 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 2, SR 109.	150
Tabela 37 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 1, SR 110.	151
Tabela 38 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 2, SR 110.	152
Tabela 39 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 3, SR 110.	153
Tabela 40 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 4, SR 110.	154
Tabela 41 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 5, SR 110.	155
Tabela 42 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 6, SR 110.	156
Tabela 43 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 7, SR 110.	157
Tabela 44 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 8, SR 110.	158

Tabela 45 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 1, SR 104.	159
Tabela 46 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 2, SR 104.	160
Tabela 47 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 3, SR 104.	161
Tabela 48 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 4, SR 104.	162
Tabela 49 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 5, SR 104.	163
Tabela 50 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 6, SR 104.	164
Tabela 51 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 7, SR 104.	165
Tabela 52 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 8, SR 104.	166
Tabela 53 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 9, SR 104.	167
Tabela 54 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 10, SR 104.	168
Tabela 55 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 11, SR 104.	169
Tabela 56 - Ensaio de Perda d'água - ensaio número 12, SR 104.	170
Tabela 57 - Tabela Ensaio de Perda d'água - ensaio número 13, SR 104.	171

Símbolos

V (m/s)- velocidade média do escoamento

P_{max} (kgf / cm²) - pressão máxima

D (m) - profundidade

Q (l/min) - vazão

L – litro

P₀ (kgf / cm²) - pressão padrão

P (kgf / cm²) - pressão de ensaio

K_m (cm/s) - permeabilidade do maciço rochoso

K_f (cm/s) - permeabilidade da descontinuidade.

K_r (cm/s) - permeabilidade da matriz rochosa

a(mm) - abertura das descontinuidades

b (mm) -espaçamento das descontinuidades

g (m /s²)-aceleração da gravidade

v (m²/s)-viscosidade cinemática

L_m(m) - distância radial a partir da seção ensaiada correspondente a 100% de perda de carga piezométrica

r (mm) - raio do furo

H_c - carga piezométrica no centro do trecho ensaiado

P.E(l/min/m/kgf/ cm²) - perda d' água específica

Q_E (l/min/m) - vazão específica

CE(kgf / cm²) - pressão efetiva

F- função (diâmetro do furo e do comprimento (L) do trecho ensaiado)

H (m) - carga da coluna d' água

P_m(kgf / cm²) - pressão manométrica

C (m) - comprimento da tubulação (utilizado no cálculo da perda de carga)

N(m) - profundidade do N.A

N'(m) - é altura do N.A em casos de artesianismo.

K - coeficiente de permeabilidade (cm/s)

H_t - carga hidráulica do teço em metro

L_t - comprimento do trecho em metro