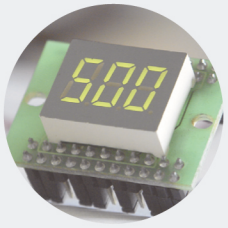
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA - SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ENERGIA



ANÁLISE DA TRANSMISSÃO DE ENERGIA EM CABOS SUBAQUÁTICOS

RENATA SILVA DO NASCIMENTO

Junho de 2017

POLITÉCNICO
DO PORTO

ANÁLISE DA TRANSMISSÃO DE ENERGIA EM CABOS SUBAQUÁTICOS

Renata Silva do Nascimento

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2016

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE - Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Renata Silva do Nascimento, Nº 1141734, 1141734@isep.ipp.pt

Orientação científica: Dr. Maurício Dias, fmd@isep.ipp.pt

Convênio: Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie

Orientação: Profa. Dra. Ivanilda Matile, email imatile@mackenzie.br

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2016

Ao Pedro que transformou a minha ida à Portugal.

Agradecimentos

À Deus primeiramente e à Cristo Jesus por me darem suporte ao longo de uma vida toda e principalmente nesta reta final de entrega desta dissertação.

À Profa. Dra. Ivanilda Matile por me orientar e dar todo o suporte necessário para permitir a conclusão deste trabalho.

Ao Dr. Maurício Dias por colaborar com o meu trabalho, me orientando em tudo o que foi possível.

Ao engenheiro Marcelo Alvares Fernandes da Copel por todas as informações prestadas sobre as travessias com cabos subaquáticos realizados pela Companhia Paranaense de Energia (Copel).

Aos engenheiros João Alberto Pereira e Marcos Alexandre Siqueira por forneceram dados dos projetos da Eletrobrás Amazonas utilizando cabos subaquáticos.

À minha mãe por permitir que eu realizasse os meus sonhos e que meu deu todas as condições para que eu chegasse até aqui.

A todos os amigos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

A implantação de sistemas de transmissão subaquáticos está se tornando cada vez mais importante no setor energético, uma vez que o aproveitamento da energia advinda de fontes renováveis exploradas cada vez mais longe da costa tem aumentado. Além disso, a possibilidade de conectar ilhas e comunidades isoladas às redes de transmissão em terra podem ser feitas com cabos subaquáticos, tornando importante analisar os parâmetros de cabos, modelos de linhas de transmissão e a tecnologia mais indicada para diferentes níveis de tensão e potência instalada. Neste trabalho foram analisados dois estudos de casos: um projeto da Copel que fornece energia da rede básica de transmissão no continente à Ilha do Mel, localizada na costa paranaense e, um estudo sobre a possibilidade de interligar duas ilhas dos Açores, nomeadamente Ilha de São Miguel e Santa Maria. O estudo técnico foi realizado modelando e simulando na plataforma Matlab, linhas de transmissão em CA e CC. Foram utilizados parâmetros de cabo obtidos junto a fornecedores e os sistemas de conversão foram baseados em tecnologias HVAC e HVDC, presentes em diversos projetos analisados ao longo do trabalho. Através das simulações foi possível perceber que quando se transmite baixas potências em linhas consideradas curtas ou médias, a tecnologia em CA é mais indicada, embora as perdas sejam significativas quando as variáveis distância e potência aumentam. Para grandes distâncias e, quando se transmite grandes potências, a tecnologia HVDC é a mais indicada tecnicamente.

Palavras-Chave

Transmissão Subaquática, HVAC, HVDC, Cabo Subaquático, Matlab.

Abstract

The deployment of underwater transmission systems is becoming increasingly important in the energy sector, since increase in the use of renewable sources explored further away from the coast. Furthermore, the possibility of connecting islands and isolated communities to the power grid can be made with underwater cables, being important to analyze the cable parameters, transmission lines models and the most suitable technology for different voltage levels and installed power. In this paper two case studies were analyzed: a Copel project that supplies power from the main transmission network on the mainland to Ilha do Mel, located on the Paraná coast, and a study on the possibility of linking two islands of the Azores, namely Island São Miguel and Santa Maria. The technical study was done through the modeling and simulation in the Matlab platform transmission lines in AC and DC. Cable parameters obtained from the suppliers were used, and the conversion systems were based on HVAC and HVDC technologies, available in many projects analyzed throughout the work. Through the simulations was possible understand that when low power is conducted in lines considered as short or medium, AC technology is more indicated. However, the losses are significant when the ‘distance’ and ‘power’ variables increase. At great distances, when transmitting high-voltage power, HVDC technology is the most technically appropriate.

Keywords

Underwater transmission, HVAC, HVDC, submarine cable, Matlab.

Índice

AGRADECIMENTOS ..... **I**

RESUMO ..... **III**

ABSTRACT ..... **V**

ÍNDICE ..... **VII**

ÍNDICE DE CIRCUITOS ..... **IX**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **XI**

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS ..... **XIII**

ÍNDICE DE GRÁFICOS ..... **XV**

ÍNDICE DE TABELAS ..... **XVII**

ACRÓNIMOS ..... **XIX**

SÍMBOLOS ..... **XXI**

1. INTRODUÇÃO **1**

1.1. OBJETIVOS 3

1.2. JUSTIFICATIVA 3

1.3. METODOLOGIA 5

1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO 6

2. PESQUISAS CORRELATAS **7**

3. TRANSMISSÃO SUBAQUÁTICA DE ENERGIA **15**

3.1. FUNDAMENTOS DA TEORIA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO 15

3.2. MODELOS DE LINHA 17

3.3. TRANSMISSÃO EM CORRENTE ALTERNADA (*ALTERNATING CURRENT - AC*) 18

3.4. TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA (*DIRECT CURRENT - DC*) 25

3.5. CABOS PARA TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEA E SUBAQUÁTICAS 33

3.6. CÁLCULO DE PARÂMETROS EM CABOS 36

3.7. EMPREENDIMENTOS DE TRANSMISSÃO SUBAQUÁTICA NO BRASIL 37

4. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO EM PORTUGAL E NO BRASIL **45**

4.1. ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES - PORTUGAL 45

4.2. ILHA DE SANTA MARIA 47

4.3.ILHA DE SÃO MIGUEL 53
4.4.ILHA DO MEL - BRASIL 60

5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 65

5.1.SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE ALTERNADA (AC) PARA A ILHA DO MEL 65
5.2.SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA (DC) PARA A ILHA DO MEL 70
5.3.SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE ALTERNADA (AC) PARA OS AÇORES 75
5.4.INTERLIGAÇÃO SANTA MARIA A SÃO MIGUEL (AÇORES – AC) 76
5.5.SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA (DC) PARA AÇORES 79
5.6.ANÁLISE DOS RESULTADOS 84

6. CONCLUSÕES 85

REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS 87

ANEXO A. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO CABO SUBAQUÁTICO 95

ANEXO B. HIGH VOLTAGE CABLES AND SYSTEMS – NEXANS 99

ANEXO C. CABO SUBMARINO MONOFÁSICO FIBEP WTR SWD (DUPLA ARMAÇÃO) NEXANS 103

ANEXO D. CABO SUBMARINO FIBEP WTR SWD 3X50 MM2 8,7/15 KV – NEXANS 105

ANEXO E. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 109

ANEXO F. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 111

Índice de Circuitos

Circuito 1 Modelo de linha de transmissão ideal (Adaptado de FUCHS 1977, p.55) 15

Circuito 2 Modelo de linha com parâmetros distribuídos (Adaptado de Fuchs, 1977, p. 56)..... 18

Circuito 3 Sistema de alimentação duplicado da plataforma *Martin Linge* (SIEMENS 2013b, p.9)..... 22

Circuito 4 Cabo com retorno pelo solo ou pela água (ABB, 2012, p.14) 27

Circuito 5 Cabo com retorno por condutor metálico (ABB, 2012, p.14)..... 27

Circuito 6 Bipolar com retorno pelo solo (ABB, 2012, p.14) 28

Circuito 7 Sistema de alimentação das unidades A1 e A2 da plataforma de petróleo Troll A (ABB, 2015) 29

Circuito 8 Circuito AC da transmissão subaquática da Ilha do Mel e o cálculo do *load flow* (NASCIMENTO, 2016) 68

Circuito 9 Modelagem da transmissão da Ilha do Mel em DC (NASCIMENTO, 2016) 71

Circuito 10 Circuito AC da transmissão subaquática de Açores e o cálculo do *load flow* (NASCIMENTO, 2016) 77

Circuito 11 Modelagem da transmissão de Açores em DC (NASCIMENTO, 2016)..... 80

Circuito 12 Modelagem da transmissão de Açores em DC com circuito duplo (NASCIMENTO, 2016) 83

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama esquemático da transmissão em AC. (Adaptado de Fuchs 1977) . 19

Figura 2 Representação da transmissão como um barramento Adaptado de Fuchs (1977) 20

Figura 3 Diagrama esquemático da transmissão em DC (Adaptado de Matlab R15b, 2015)..... 25

Figura 4 Cabo da Prysmian utilizado nas travessias subaquáticas (Fernandes, 2016) . 34

Figura 5 Corte transversal do cabo trifásico blindado com condutores coaxiais dispostos de forma equidistante (Rocha, 2007 p.24) 36

Figura 6 Possíveis trajetos de barco para o acesso a Barreira do Andirá (Adaptado de Google Maps, 2016)..... 38

Figura 7 Trajeto aproximado do cabo que atende barreira do Andirá (Adaptado do Google Earth, 2016) 39

Figura 8 Desenho esquemático do cabo utilizado em Andirá (Adaptado de Costa, 2016, p.1)..... 40

Figura 9 Trajeto do cabo que interliga a Vila do Pesqueiro à Manacapuru (Adaptado do Google Earth, 2016) 41

Figura 10 Composição do cabo trifásico utilizado na travessia do Rio Solimões para a Comunidade do Pesqueiro (Adaptado de Costa, 2016, p10)..... 42

Figura 11 Divisão do Arquipélago adaptado do Google Earth (Adaptado do Google Earth, 2016)..... 46

Figura 12 Rede de Distribuição de energia em Santa Maria (EDA, 2015 p.322) 51

Figura 13 Rede de transporte de energia da Ilha de São Miguel (EDA,2015, p.307).... 56

Figura 14 Vilarejos isoladas na Ilha do Mel (REVISTA ILHA DO MEL 2009) 60

Figura 15 Projeto de modernização do fornecimento de energia as ilhas paranaenses (Adaptado de Fernandes 2016) 62

Figura 16 Fluxo de Potência a partir da Subestação de Pontal do Sul (FERNANDES, 2016) 66

Figura 17 Ajuste da tensão na fonte pelo cálculo do *load flow* (Nascimento, 2016)..... 69

Figura 18 Potência medida na entrada da linha e na carga na Ilha do Mel em AC (NASCIMENTO, 2016)..... 70

Figura 19 Potência medida na entrada da linha e na carga na Ilha do Mel em DC (NASCIMENTO, 2016)..... 73

Figura 20 Potência medida na entrada da linha e na carga de Açores em AC (NASCIMENTO, 2016)..... 78

Figura 21 Potência medida na entrada da linha e na carga de Açores em DC (NASCIMENTO, 2016)..... 81

Figura 22 Potência medida na entrada da linha e na carga de Açores em DC com circuito duplo (NASCIMENTO, 2016) 82

Índice de Fotografias

Fotografia 1 Projeto *Martin Linge* (SIEMENS, 2013a, não paginado) 21

Fotografia 2 Parque eólico *Lillgrund* (SIEMENS, 2008, não paginado). 22

Fotografia 3 Projeto Thornton Banks (ABB, 2012a, p.1) 24

Fotografia 4 Plataforma Petrolífera *Troll A* (ABB, 2015, não paginado) 28

Fotografia 5 Plataforma do parque eólico offshore HelWin2 (SIEMENS, 2014) 30

Fotografia 6 Parque eólico BorWin1 (SIEMENS, 2016b) 32

Fotografia 7 Baia de São Lourenço onde é cultivado grandes vinhas ao redor de piscinas naturais (AÇORES, 2016d) 48

Fotografia 8 Bacia das Sete Cidade: encontro dos rios de duas tonalidades (Açores, 2016b) 53

Fotografia 9 Lançamento do cabo subaquático em torno da Ilha das Peças (FERNANDES, 2016) 63

Fotografia 10 Posicionamento do cabo subaquático em torno da Ilha das Peças(FERNANDES, 2016) 63

Fotografia 11 Cabo monofásico da Nexans (NEXANS, 2016, p. 1) 79

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Participação das fontes de energia na matriz energética dos Açores (ELETRICIDADE DOS AÇORES (EDA), 2016 p.4). 47

Gráfico 2 Consumo acumulado em MWh pelos diversos setores da sociedade na Ilha de Santa Maria (EDA, (2016 p.6)) 50

Gráfico 3 Consumos na ponta e fora de ponta ao longo do ano de 2015 na Ilha de Santa Maria 50

Gráfico 4 Consumo acumulado em MWh pelos diversos setores da sociedade na Ilha de São Miguel (EDA, 2016 p.8) 57

Gráfico 5 Consumos na ponta e fora de ponta ao longo do ano de 2015 na Ilha de São Miguel (EDA, 2015) 58

Gráfico 6 Tensões e correntes na carga da Ilha do Mel com transmissão AC (NASCIMENTO, 2016) 70

Gráfico 7 Tensões e correntes na carga da Ilha do Mel com transmissão DC (NASCIMENTO, 2016) 72

Gráfico 8 Tensões e correntes na carga com transmissão DC com filtro DC (NASCIMENTO, 2016) 73

Gráfico 9 Tensões e correntes na carga dos Açores com transmissão AC (NASCIMENTO, 2016) 78

Gráfico 10 Tensões e correntes na carga de Açores com transmissão DC (NASCIMENTO, 2016) 81

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Parâmetros para modelo de linha curta em 60 Hz (FUCHS (1977, p.120) 18

Tabela 2 – Parâmetros para modelo de linha curta em 60 Hz (Fuchs, 1977, p.123) 18

Tabela 3 – Dados técnicos do projeto *Lillgrund* (ABB, 2013, p.1) 23

Tabela 4 – Dados Técnicos do Projeto Thornton Banks (ABB, 2012, p.1) 24

Tabela 5 – Dados técnicos da alimentação de Troll A (ABB, 2015) 29

Tabela 6 – Dados técnicos do projeto HelWin2 (SIEMENS, 2015) 31

Tabela 7 – Dados técnicos do parque eólico BorWin1 (SIEMENS, 2016b) 32

Tabela 8 – Empreendimentos em transmissão subaquática da ABB e SIEMENS (Adaptado de ABB, 2016 e Siemens, 2016) 33

Tabela 9 – Materiais extrudados e estratificados que compõe a blindagem de condutores cobertos (Adaptado da Prysmian, 2012 p.8) 35

Tabela 10 – Especificações do cavo utilizado pela Eletrobrás Amazonas (Adaptado de Costa, 2016) 40

Tabela 11 – Dados elétricos linha de transmissão subaquática que interliga Vila do Pesqueiro a Manacapuru (Adaptado de Costa, 2016, p1) 43

Tabela 12 – Centrais geradoras de energia em Santa Maria (Adaptado da ELETRICIDADE DOS AÇORES (EDA), 2015, p.18) 49

Tabela 13 – Evolução do consumo de energia na ponta e fora de ponto entre 2013 e 2014 em Santa Maria (Adaptado da EDA, 2015) 52

Tabela 14 – Centrais geradoras de energia em São Miguel (Adaptado da EDA, 2015) 55

Tabela 15 − Rede de Transporte de São Miguel (Adaptado da EDA, 2015)..... 56

Tabela 16 − Evolução do consumo de energia na ponta e em vazio entre 2013 e 2014 em São Miguel (Adaptado da EDA, 2015)..... 59

Tabela 17 – Dados estimados do consumo das ilhas (FERNANDES, 2016)..... 63

Tabela 18 – Características da linha de transmissão utilizado na interligação da Ilha do Mel a Pontal do Sul (FERNANDES, 2016)..... 66

Tabela 19 – Custos referentes ao projeto de interligação das ilhas paranaenses (FERNANDES, 2016) 74

Tabela 20 – Padronização dos limites de tensão na rede de transporte (Adaptado da ERSE, 2009, p.4) 76

Tabela 21 – Dados elétricos do cabo (NEXANS, 2016) 79

Acrónimos

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AC	*Alternating Current*
APC	*Active Power Control*
DC	*Direct Current*
EDA	Eletricidade dos Açores
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FP	Fator de Potência
HVAC	*High Voltage Alternating Current*
HDVC	*High Voltage Direct Current*
HVDC-LCC	*High Voltage Direct Current with Line Commutated Converter*
HVDC-VSC	*High Voltage Direct Current with Voltage Source Converter*
IPCC	*Intergovernamental Panel on Climate Change*
IEC	*International Electrotechnical Commission*
IGBT	*Insulated Gate Bipolar Transistor*
MTDC	*Multi-terminal Direct Current*
PRCI	*Pipeline Research Council International*
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

PSS®E	*Power Transmission System Planning Software*
PVC	*Polyvinyl chloride*
P.U	Por Unidade
PWM	*Pulse Width Modulation*
RAA	Região Autônoma dos Açores
RQS	Regulamento da Qualidade de Serviço
SIN	Sistema Interligado Nacional
VSC	*Voltage Source Converter*

Símbolos

φ	Ângulo de defasagem
U_1	Tensão no barramento 1
U_2	Tensão no barramento 2
δ_1	Ângulo da tensão U_1
δ_2	Ângulo da tensão U_2
ε_r	Permissividade elétrica relativa
μ_0	Permeabilidade do vácuo
C	Capacitância
l	Comprimento da linha
L	Indutância
r	Resistência da linha
Zc	Impedância característica
ν	Velocidade de propagação da onda
τ1	Tempo de energização da linha
ω	Velocidade angular
P	Potência ativa
Q	Potência reativa
S	Potência aparente

g	Condutância
j	Indicador de número complexo
x	Reatância da linha
μ	Permeabilidade magnética

1. INTRODUÇÃO

As características de transmissibilidade de energia diferem quando a transmissão é em realizada em *Direct Current* (DC) ou *Alternating Current* (AC). Parâmetros como indutância e capacitância, que influenciam muito na transmissão em AC, praticamente não interferem em sistemas DC. Além das perdas, as diferenças de custos também são significativas uma vez que para cada um destes sistemas, os equipamentos utilizados são diferentes.

Além das diferenças das tecnologias utilizadas em transmissão AC e DC, há também diferentes meios pelos quais o transporte de energia pode ser feito, tais como subterrâneo, aéreo ou subaquático. As linhas aéreas são as mais utilizadas para a transmissão e distribuição de energia, mas em algumas situações específicas, quando não é possível construir torres de transmissão por exemplo, ou por restrições geográficas e ambientais, as transmissões subterrâneas e subaquáticas podem atender esta demanda.

Em grandes centros urbanos, as empresas de distribuição têm optado por construir redes subterrâneas de energia, que além de contribuir de forma positiva no aspecto arquitetônico e visual (por eliminar torres, postes, transformadores e cabos), têm se mostrado seguros e mantém os sistemas protegidos de agentes externos, como queda de arvores e vandalismos. Além dessas vantagens mencionadas, estudos feitos por concessionárias de distribuição

apontam que os transformadores enterrados têm aumentado a vida útil, em decorrência de menores taxas de curto-circuito. (COPEL, 2013).

Existem estudos para aumentar as tensões nominais nas redes de subtransmissão e primárias de distribuição em São Paulo, desde 2011. Com o aumento da tensão, há redução de perdas de potência nos condutores. Existem limites ótimos para a compensação dos custos de investimento nas transmissões de potência em alta tensão. (ELETROPAULO, 2011).

A transmissão em corrente contínua de alta tensão (HVDC) de Itaipu foi uma construção pioneira no Brasil. Esta opção foi tomada, principalmente por ser um empreendimento binacional, que fornece energia a dois países (Brasil e Paraguai), com níveis diferentes de frequências nominais, de 60 e 50 Hz respectivamente. Como a implantação dos sistemas de transmissão DC em média tensão foram ampliadas em outros países, são necessários estudos mais aprofundados para determinar os limites de tensão em média tensão e o tipo de transmissão de energia (AC ou DC) que compensem as perdas técnicas nos dois sistemas. Além disso, as características elétricas dos cabos subaquáticos e subterrâneos são bem diferentes dos cabos nus ou protegidos utilizados nas transmissões aéreas.

As transmissões em sistemas subaquáticos têm vindo da necessidade, em vários países no mundo, de empregarem energia limpa, como geração eólica *offshore* dentre outras opções disponíveis de energia exploradas no mar. A opção por geração de energia com fontes renováveis é provocada por fortes pressões de órgãos internacionais que prezam pela sustentabilidade na exploração de fontes energéticas.

No Brasil, programas como o Luz para Todos recebe incentivos do Governo Federal para ampliação no atendimento às regiões localizadas na Amazônia. Nesta região, é praticamente inviável a construção de usinas no local e o transporte de energia através de linhas aéreas, devido às limitações geográficas da floresta amazônica e dos grandes rios que cortam a superfície. (ELETROBRAS AMAZONAS ENERGIA, 2013). Outras comunidades localizadas no estado de Rondônia, como a Reserva Extrativista do Lago de Cunhai, e algumas ilhas no estado do Rio de Janeiro, Marambaia e Jaguané, também se beneficiam da utilização de cabos subaquáticos graças a este programa. (MME, 2011).

Diante do problema de se projetar sistemas de transmissão subaquáticos, na escolha do tipo de transmissão e níveis de tensão, é necessário verificar a viabilidade técnica para sistemas AC e DC para transportar pequenas quantidades de energia em curtas e médias distâncias.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por finalidade analisar a transmissão subaquática de energia em sistemas de média tensão e baixa potência

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Pesquisar os cabos utilizados em sistemas subaquáticos.
b) Calcular os parâmetros de transmissão em corrente continua e corrente alternada.
c) Determinar as condições da transmissão em AC e DC para sistemas subaquáticos em função da tensão e potência nominais.

1.2. JUSTIFICATIVA

Os sistemas subaquáticos que têm sido amplamente utilizados devido à demanda crescente por fontes de energias renováveis instalados no mar, que utilizam o vento e o movimento das marés (parques *offshore* e *wave energy*), e a necessidade de conectar ilhas e sistemas isolados à rede terrestre.

Desde a adesão ao tratado de Kyoto por diversos países no mundo, as mudanças climáticas tem sido um forte incentivo para a mudança na forma como os países exploram as fontes de energia disponíveis na terra. (METZ et al., 2007). Algumas conferências e tratados foram assinados a fim de reduzir a emissão dos gases que contribuem com o efeito estufa e consequentemente afetam no clima da atmosfera. Um dos acordos mais arrojados, foi assinado na cidade de Bruxelas em 2010, e ficou conhecido como o tratado 20 20 20, que tem diversos metas com a finalidade de alavancar o crescimento econômico de maneira sustentável. Para diminuir a emissões de gases do efeito estuda, foi elaborado uma meta de redução em até 20% até o ano de 2020, relativos a emissão produzida em 1990, e se as condições forem favoráveis este número pode subir para 30%. (EUROPA, 2010).

Um grande exemplo na Europa de países que substituíram a geração em grande escala de energia termelétrica com fontes poluentes, por fontes de energia limpa é proveniente do governo alemão, que em 2011 abastecia o país com 18% de energia gerada em usinas nucleares, e gradativamente vem substituindo-as por fontes renováveis, parque eólicos *offshore* e fotovoltaicos, e para o ano de 2020 contará com 35% de energia elétrica

proveniente de fontes renováveis. (WILLE, 2012). Portugal, que também participa do tratado assinado em Bruxelas, possui metas semelhantes, de reduzir 21% da emissão de gases de efeito estufa em relação ao índice de emissão do ano de 1990 e assim aumentar para 31% a utilização de fontes renováveis no processo de geração de energia elétrica. (SOCIEDADE PORTUGUESA DE INOVAÇÃO, 2014).

Portugal assim como o Brasil, possui um grande potencial de exploração de energia eólica *offshore*. Um projeto português que está em fase de testes, pretende instalar 25 MW de energia *offshore* em Aguçadora, no município de Póvoa de Varzin. Trata-se de um empreendimento entre a empresa americana, *Principle Power* e a EDP Inovações. Para tanto desde 2011 conta com um protótipo com potência de 2 MW, que está em operação e conectado à rede, instalado à 5 km da costa, que posteriormente deverá ser ampliado para fornecer 25 MW. (SILVA et al., 2011). O Potencial energético *offshore* em Portugal é estimado em 40 GW para sistemas flutuantes e entre 1400 a 3500 MW, em sistemas com fundação fixa.

Em Portugal, a opção por parques eólicos *offshore* se deve à boa qualidade e estabilidade do vento, maior vida útil das turbinas e a possibilidade de adaptação de plataformas petrolíferas desativadas em usinas *offshore*. (MACHADO, 2014). O aproveitamento da energia das marés torna-se interessante por haver tecnologias que permitem prever a ocorrência de correntes marítimas. (PÁSCOA, 2014).

Oferecer possibilidades diferentes de geração de energia e sobretudo renováveis aliado ao uso de sistemas de transmissão eficientes e de custo compensatório, contribuem no aumento da eficiência energética, bem como levar eletricidade às regiões isoladas, que carecem de eletricidade e que fazem parte de um total de 1,3 bilhões de pessoas no mundo sem acesso a este bem. Aumenta a oferta de energia contribuem para alavancar a economia, visto que pode favorecer a geração de empregos (UNIDO,2012).

A implantação de parques eólicos na orla marítima do Brasil já é uma realidade. A implantação de parques *offshore* ainda não se tornou justificável, devido ao elevado custo desta tecnologia. Porém, segundo os dados obtidos no trabalho de Ortiz e Kampel (2011), a obtenção de energia *offshore* supera em 12 vezes a capacidade de potência explorável no continente. Além disso, para reduzir os sistemas isolados e conectá-los ao Sistema Interligado Nacional (SIN), é necessária a travessia de grandes rios e braços de mar, para

levar energia elétrica a comunidades, principalmente na Amazônia e interligar ilhas próximas da costa.

Tendo em vista este cenário, é de suma importância analisar as tecnologias empregadas na transmissão de energia subaquática em corrente alternada e corrente continua, desde equipamentos de conversão até os cabos de energia.

Ao realizar este trabalho foi possível identificar as limitações técnicas e econômicas para a utilização desta tecnologia no Brasil e em Portugal, de acordo com as necessidades mencionadas anteriormente. Aumentará a quantidade de informações referentes ao uso dos cabos subaquáticos no Brasil que estão pouco presentes em trabalhos acadêmicos. Estas informações poderão ser utilizadas para reduzir custos, ao indicar a tecnologia mais eficiente para as aplicações parecidas com as que serão abordadas no trabalho

1.3. METODOLOGIA

Inicialmente houve uma pesquisa bibliográfico dos trabalhos relacionados com o tema, para analisar o desempenho das tecnologias em corrente continua e em corrente alternada que melhor se adaptam ao estudo.

Foram escolhidos dois casos exemplos para o estudo da viabilidade técnica da transmissão AC e DC em média tensão: A interconexão da Ilha do Mel no Brasil e a interligação de duas ilhas no arquipélago de Açores em Portugal.

Foi feita uma pesquisa documental através de consultas aos sites dos fabricantes de cabos, e as empresas que desenvolvem equipamentos para transmissão e distribuição de energia em sistemas subaquáticos, com o intuito de identificar equipamentos e componentes que podem ser empregados em projetos de transmissão subaquática.

Foram pesquisadas as metodologias de cálculo de parâmetros elétricos para cabos subaquáticos nos trabalhos relacionados com o tema. Esta análise permitiu a verificação e o dimensionamento dos cabos subaquáticos que se adequam aos sistemas AC e DC estudados.

Os sistemas de transmissão foram modelados e simulados no SimPower do aplicativo Matlab para testar o desempenho destes cabos em relação aos níveis de tensão e potências escolhidos.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este trabalho estará estruturado em seis seções:

A seção 1 apresenta a Introdução do trabalho, no qual será caracterizado e conceituado o tema do trabalho. Nesta seção estão inclusos os objetivos gerais e específicos, a justificativa e importância do tema, a metodologia proposta e a estrutura desta monografia.

A seção 2 contempla a revisão da literatura com o estado da arte das pesquisas publicadas sobre este tema. Através da análise destas publicações, foi possível demonstrar a originalidade e a contribuição desta pesquisa.

A seção 3 apresenta uma breve fundamentação teórica aplicada aos exemplos dos empreendimentos que utilizaram transmissão subaquática, parques *offshore* instalados principalmente em Portugal, e os projetos brasileiros desenvolvidos nesta área. Também foram apresentadas as características dos cabos subaquáticos e a teoria sobre as tecnologias utilizadas.

Na seção 4 foram apresentados os estudos de caso. Sua caracterização e o dimensionamento da demanda de cada localidade.

A seção 5 foi destinada ao procedimento experimental, com a modelagem dos circuitos de transmissão e os resultados das simulações para cada caso. Apresenta a análise do desempenho destas transmissões.

A seção 6 relata as conclusões do trabalho e as indicações para futuros trabalhos.

2. PESQUISAS CORRELATAS

O estudo de Rodrigo Pereira Carvalhal (2008), baseia-se em três esquemas de transmissão de energia em DC para alimentar sistemas isolados. O fornecimento de energia é realizado por uma rede de alimentação em corrente alternada, pelo que se fez necessário projetar sistemas de conversão para corrente contínua de acordo com os três esquemas propostos. Foram analisados três tipos de esquemas de alimentação em DC: sistema ponto a ponto para atender várias cargas em AC, alimentação da carga através de um sistema multipolos em DC, e um esquema híbrido para fornecer energia à carga em AC e DC. Também foi verificado algumas condições de operação como: partida de motor, degrau de carga (perda e/ou inserção de cargas) e curtos-circuitos. Os três sistemas foram submetidos as condições de contorno como mencionadas anteriormente, e na simulação alcançaram estabilidade de tensão para o nível a qual foi projetado, quando simulado em regime permanente os limites adotados de distorção harmônica foram respeitados nas três simulações. No estudo da rede utilizando sistema *VSC-HVDC* multipolos quando submetido a diferentes acoplamentos de carga, foi verificado apenas alteração nos níveis de tensão terminal. O acionamento simultâneo de três motores de 10 MVA cada, não comprometeu o sistema, devido à baixa potência nominal utilizadas. No estudo do comportamento do sistema frente a variação de carga (perdas e inserções) foi possível operar normalmente o sistema, porém ao simular partidas simultâneas de motores, o reestabelecimento da rede deu-se apenas em metade da instalação. Para avaliar o sistema na presença de curtos-circuitos, foi suprimido a atuação da

proteção, pois o intuito era de verificar apenas os limites das grandezas elétrica e a recuperação do sistema. Em suma o trabalho mostrou que é possível operar os diversos sistemas dentro das especificações e em condições de contorno conforme foi proposto ao sistema VSC-HVDC, portanto os sistemas isolados podem ser substituídos por cabos conectados à rede de acordo com os casos analisados.

Percebon (2013) realizou um estudo aplicado a modelagem de cabos umbilicais, que são conhecidos pela sua utilização massiva em transmissão de energia elétrica para plataformas de petróleo, conexão de geração eólica *offshore* à rede terrestre e envio de dados entre plataformas petrolíferas dentre outras aplicações, e esta variedade na utilização se deve as diversas camadas internas com dutos eletro-hidráulicos ou até mesmo óptico-elétrico que o cabo umbilical pode ter. Percebon (2013), abordou diversas metodologias aplicadas na obtenção de parâmetros transversais e longitudinais, tais como métodos analíticas, numéricos bem difundidos na análise de parâmetros em cabos subterrâneos e subaquáticos, e soluções computacionais. Para facilitar a modelagem dos cabos, os mesmos foram admitidos como unipolar com blindagem metálica, e revestido no exterior por uma isolação. A modelagem dos cabos foram considerada complexas pelo autor, devido principalmente a simetria do cabo em relação a assimetria dos objetos ao redor, contudo foi possível observar que para frequências altas, aumenta o erro no cálculo da resistência devido ao efeito pelicular, reduzindo a indutância interna do cabo a níveis próximos de zero e foi possível elaborar um programa no Matlab que calculava parâmetros elétricos séries em cabos coaxiais (elemento básico de um cabo umbilical) através da equações de Bessel de primeira e segunda ordem.

Um outro trabalho que utilizou cabos umbilicais, foi elaborado Carlos Alberto Soares da Costa, Eliran de Paiva e Gilcarlos R. Medeiros (2014), e possui como diferencial, em relação ao trabalho de Percebon (2013), a análise de aspectos econômicos. Os estudos foram voltados a otimizar cabos umbilicais que suprem o fornecimento de energia elétrica das plataformas petrolíferas no Rio Grande do Norte Para reduzir o tamanho do cabo foi considerado a retirada de trechos de *riser* dinâmicos (tubos que transportam fluidos do mar até a plataforma flutuante), e acessórios do tipo *Bend Stiffiner e Bend Restricto*r, (elementos que acrescentam rigidez a estruturas *offshore*) e algumas caixas de junção. A otimização do cabo obteve êxito, pois as alterações puderam ser avaliadas no *software Pipeline Stability Analysis* (PRCI), como estabilidade hidrodinâmica, estabilidade vertical e lateral, variáveis

meteo-oceanográficas e morfologia do solo, de forma que os resultados comprovaram uma economia na ordem de 15% quando comparadas a um projeto sem as otimizações que foram efetuadas, sendo até recomendadas para projetos semelhantes.

A dissertação elaborada por Mário Rui Canatário Marques (2007) adotou como estudo de caso, a possibilidade de conectar três ilhas da região central dos Açores (Portugal), Ilhas de Pico, Faial e São Jorge, com o objetivo de obter uma possível melhoria na eficiência energética, sendo abordados os aspetos de maior relevância numa rede interligada tais como os custos, o dimensionamento de potências a transitar, bem como outras variáveis que influenciam o sistema e seus equipamentos. A qualidade de energia a fornecer em detrimento dos custos angariados, constituiu a base do estudo sendo feito uma análise acerca da atualidade das três ilhas no contexto económico e tecnológico na ótica do consumo e qualidade de serviço. O autor concluiu que a produção térmica a óleo combustível, em função da retirada do uso de diesel, seria vantajosa pela poupança de 1M€ no ano de 2005, no caso em estudo e relativamente ao custo variável. Sendo que, o custo fixo representara um valor de encargo de 220 000€ em 2005, pela não desativação dos grupos a diesel. Foi analisado também que o tipo de ligação que melhor se adequaria seria o bipolar, pois permitiu que o trânsito de potência bidirecional e o uso de IGBT's nos ondulares, associados em serie e paralelo alcançassem índices de potências desejáveis. A rentabilidade da interligação das três ilhas entre si angariaria incrementos na qualidade de energia da população e das interrupções a que estão expostas, e que uma transmissão em corrente contínua seria tecnologicamente mais competitiva, com reduzidas perdas e melhor controlo de transito de potência tanto quanto na redução de equipamentos.

Miguel Guilherme Mateus Neves Veríssimo (2012) desenvolveu um estudo de viabilidade técnica na utilização de Sistemas Multiterminais em DC e em alta tensão (AT) para a interligação de parques eólicos *offshore* às linhas de transmissão terrestre. Na simulação foi utilizado o *Power Transmission System Planning Software* (PSS®E), para a análise de um sistema com a finalidade de alimentar 42 cargas de 1250 MW. Foram analisadas diferentes topologias de redes no sistema *Multi-Terminal Direct Current* (MTDC) e as tecnologias AC e DC aplicadas a regimes estacionários e regimes transitórios da rede. A simulação do trânsito de potência elaborada, resultou que a tensão medida nas barras encontrava-se dentro dos limites aceitáveis, não havendo sobrecargas nem anomalias na rede. Com a utilização do *Active Power Control* (APC), as redes *offshore* mantiveram-se estáveis, forçando o

sistema de proteção a atuar e consequentemente desligar os geradores, e excluído o APC do sistema, o mesmo sofreu um aumento ligeiro de frequência, e coube ao sistema de proteção retirar de serviço os geradores e posteriormente o MTDC. Na simulação de redundância do sistema, foi retirado uma linha DC do sistema MTDC com êxito, pois não houve necessidade de interromper o fornecimento de energia, e o sistema não sentiu a perturbação. De forma a que o autor obteve resultados dentro do esperado, na qual as tensões medidas estavam dentro do limite aceitável e ao inserir perturbações severas no sistema, como curto-circuito no MTDC, as máquinas geradoras *offshore* não sofreram influência em seu funcionamento com o uso do APC.

João Vitor Santos Machado (2014) em sua dissertação, orientou o seu trabalho a estudar as limitações da tecnologia HVAC, aplicados na transmissão de energia elétrica em parques *offshore* quando comparadas com a tecnologia HVDC. O autor investigou diversos modelos de parâmetros indicados para linhas de transmissão como: modelo de parâmetros distribuídos, concentrados e modelo de parâmetros dependentes de frequência, sendo que optou por utilizar o modelo exato de linha para obter valores mais próximos do real. Para a simulação foi adotado um cabo com extensão de 200 km, e com parâmetros devidamente definidos. Como fruto de seu trabalho, pôde verificar economicamente a tecnologia mais indicada para potências inferiores e superiores a 300 MW. O comportamento capacitivo do cabo HVAC submarino, demonstrou a necessidade de compensação reativa, para absorção da potência reativa gerada ao longo do cabo. E assim pôde ser observado que a vantagem na utilização de tecnologias HVDC é de não custear sistemas de compensação de reativos, pois não há produção de reativos, o que torna uma solução viável à medida que os parques são instalados cada vez mais longe da costa. As desvantagens, no entanto, estão relacionadas com o espaço. A análise econômica e física permitiu-lhe adquirir o conhecimento de que o sistema HVAC propõe melhores e apreciáveis vantagens em comparação com o HVDC-VSC em parques offshore com potência menor que 300 MW.

A dissertação de Hélder Magalhães da Costa (2013), trata principalmente de estudos relacionados com a recomposição de sistemas ao ser inseridos numa rede de geração convencional, a produção de energia advinda de parques eólicos *onshore* e *offshore*. O objetivo das simulações é de recompor no menor tempo possível o sistema e maximizar a quantidade de cargas alimentadas. O autor considerou que no desenvolvimento de um plano de reposição, existe necessidade das unidades de geração terem capacidade de regulação das

variáveis do sistema, constituindo-se, portanto, um problema na otimização do processo. Sendo a reposição em serviço uma tarefa importante em qualquer rede elétrica, o autor considerou ser possível utilizar de forma mais abrangente os diversos tipos de geração que de uma forma harmônica podem participar ativamente na reposição de serviço, independente de condições de recurso renovável que acarretam maior ou menor quantidade de potência gerada. E por intermédio da simulação, em que foi utilizado o *software* EUROSTAG para cenários distintos de perturbação na rede, pôde-se verificar que a inclusão de parques *offshore*, e consequentemente o aumento de geração, contribuiu de forma positiva para o sucesso da reposição do sistema, tornando-o mais robusto, ressaltado que as reposições foram alcançadas com diferenças mínimas para os três casos. E também foi possível observar que a inclusão do parque *offshore* injetava uma quantidade significativa de potência reativa ao sistema que favoreceu no balanceamento do mesmo.

Thaís Brandão Ribeiro de Almeida (2011) em sua dissertação estudou um sistema de alimentação de cinco plataformas petrolíferas no Rio Grande do Norte (Brasil) em corrente continua, há uma distância considerável da costa, 2000 km. O sistema é composto por uma barra infinita que geram em 500 kV, cabos subaquáticos e conversores baseados em HVDC-VSC. Foram simulados no MATLAB alguns distúrbios no sistema a fim de avaliar a estabilidade frente a curtos-circuitos trifásicos, quedas de tensão no sistema de alimentação, desativação de plataformas e partidas de motores. Em regime permanente os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que foi possível entregar para a carga toda a potência solicitada, mantendo a tensão em 1 p.u. Nas simulações em regime transitório, a queda de tensão na alimentadora durante um curto intervalo de tempo não comprometeu o sistema, devido a robustez do controle projetado, que também se mostrou eficiente ao retirar duas plataformas da rede, bem como ao realizar partidas de motores e ao efetuar curtos-circuitos na carga.

Em território brasileiro Lee et al (2009) estudou um projeto de transmissão subaquática que visava o fornecimento de energia a Ilha de Santa Catarina, localizada na cidade de Florianópolis em Santa Catarina. Neste projeto realizado pela distribuidora Eletrosul, foi construído uma linha de transmissão subaquática de 4,65 km interligando a rede de transmissão terrestre a Ilha de Santa Catarina. Neste empreendimento foram utilizados cabos subaquáticos e subterrâneos, isolados em Polietileno Reticulado (XLPE) e protegido contra penetração de água em chumbo extrudado. Os cabos subaquáticos foram lançados a 25 km

entre si, e os cabos subterrâneos enterrados a 1m. Os testes realizados no projeto estavam de acordo com a norma do *International Electrotechnical Commission* (IEC – 26067), e após a instalação, obteve os resultados esperados. Este projeto, da concessionária de distribuição, ELETROSUL foi primeiro na América Latina a utilizar cabos isolado em XLPE, 230kV.

No artigo escrito por N. Barberis Negra, J. Todorovic e T. Ackermann (2006), é feita uma comparação entre as perdas percentuais nos sistemas de transmissão de parques *offshore* que utilizam a tecnologia HVAC, HVDC-LCC e HVDC-VSC. Para cada tecnologia, realizou-se cálculos para diferentes tamanhos de parques eólicos bem como, distancias distintas da costa e em diferentes níveis de tensão Foram analisadas soluções por intermédio de combinações das variáveis já citadas, tensão, distância da costa e potência instalada, sendo que dessa forma as três foram analisadas e comparadas, obtendo uma análise crítica e profunda no tocante a assuntos econômicos e de confiabilidade a fim de obter as melhores soluções para transmissão de energia eólica. O trabalho indicou que o desenvolvimento das linhas de transmissão para parques com potência instalada muito acima de 200 MW são críticas, e para distâncias inferiores a 70 km da costa, as perdas no sistema HVAC são menores, e acima disso é mais indicado o sistema HVDV-LCC. Porém outros aspectos devem ser considerados, como a quantidade de cabos, confiabilidade dos sistemas, ciclo de vida dos equipamentos e a integração dos diversos sistemas de potência *onshore* que não foi abrangido neste trabalho.

Todos estes trabalhos trazem uma gama de informações necessárias para iniciar o desenvolvimento deste trabalho. Os estudos de N. Barberis Negra, J. Todorovic e T. Ackermann (2006) e João Vitor Santos Machado (2014), já puderam diagnosticar que o sistema HVAC é mais indicado para distâncias inferiores a 200 km e para maiores distâncias da costa, o uso de HVDC resulta numa melhor performance. No trabalho de Veríssimo (2012) a utilização do APC tornou o sistema multiterminal, que alimenta as cargas isoladas, mais robusto quando submetido a distúrbios na rede. Nos estudos de Percebon (2013) as metodologias de obtenção de parâmetros séries e paralelos facilitam o estudo dos cabos utilizados em projetos de transmissão subaquático. As análises feitas na interligação das ilhas dos Açores por Marques (2007) indicam que economicamente seria vantajoso o uso de sistemas interligados nas ilhas que foram utilizadas como estudos de caso. Na recomposição de sistemas analisada por Costa (2013), foi possível mostrar que a conexão de parques eólicos *offshore* a rede de geração convencional não afetam na recuperação do sistema além

de proporcionar uma melhora significativa no balanceamento do mesmo. No Brasil a utilização de cabos subaquáticos XLPE no trabalho de Lee et al. (2009) tornou possível conectar a ilha de Santa Catarina ao continente e indicou a importância que as linhas subaquáticas têm em projetos de alimentação de sistemas isolados. Na análise da interligação em corrente continua de sistemas isolados, Carvalhal (2008) pôde simular vários distúrbios em esquemas diferentes de alimentação da carga, de forma a não comprometer o sistema e o mesmo manter-se dentro dos limites aceitáveis durante as simulações. Thaís (2011) nos estudos do HVDC-VSC à 300 km da costa, simulou situações de anomalias na rede e identificou que o sistema responde perfeitamente, recuperando-se em poucos segundos. Por fim as otimizações nos cabos submarinos realizadas no trabalho de Carlos Alberto Soares da Costa, Eliran de Paiva e Gilcarlos R. Medeiros (2014), não comprometeram na eficiência dos mesmos e reduziu custos para um projeto de igual dimensão, e embora a abordagem não seja diretamente relacionada com as características elétricas que serão discutidas neste trabalho, as análises feitas pelo autor poderão servir para aplicar neste trabalho de forma a reduzir custos e verificar se há alteração nos sistemas elétricos devido a retirada dos elementos comentados por Costa (2014) .

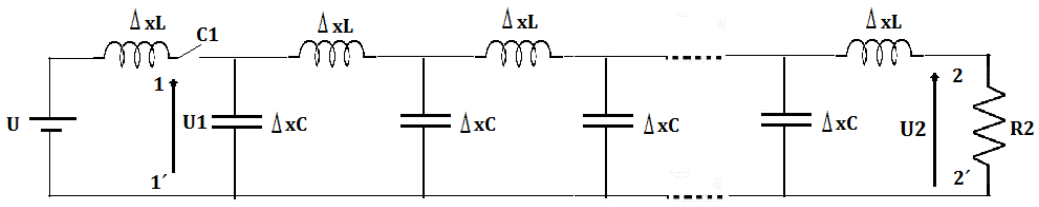
Como diferencial este projeto visa analisar a utilização de cabos subaquáticos para a interligar na rede, comunidades isoladas por rios e estudar a viabilidade de distribuição de energia em Portugal e no Brasil, com as tecnologias utilizadas na transmissão, ou seja, cabos HVAC e HVDC para pequenas potências, pois a maioria dos trabalhos encontrados, abordam sistemas em alta tensão e com potências instaladas acima de 200 MW. Além disso o trabalho faz uma comparação das variações dos parâmetros elétricos nos cabos, de acordo com a geometria e configuração do cabo, pois estes dados estão pouco presentes na literatura dos trabalhos pesquisados até agora.

3. TRANSMISSÃO SUBAQUÁTICA DE ENERGIA

Nesta seção estão contidos somente os conceitos fundamentais da teoria que foi utilizada durante a elaboração deste trabalho.

3.1. FUNDAMENTOS DA TEORIA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

O fenômeno de energização de uma linha de transmissão ideal pode ser simplificado e retratado como uma fonte ideal que fornece energia a um transmissor, através de dois condutores metálicos ideais (com resistência nula), fisicamente separadas entre si e a uma distância significativa de qualquer equipamento que interfira nas propriedades eletromagnéticas do circuito, conforme o Circuito 1. (FUCHS, 1977).



Circuito 1 Modelo de linha de transmissão ideal (Adaptado de FUCHS 1977, p.55)

Ao considerar uma separação física entre os dois condutores, o ar se comportará como um dielétrico. Um dielétrico por sua vez possui propriedades eletromagnéticas comuns a todos os materiais dessa natureza, de armazenar energia elétrica (HAYT JR., 2003) que, para efeito de observação será considerado perfeito, ou seja a condutância é nula.

No momento em que a chave C1 é ligada, inicia-se o processo de energização da linha:

d) Entre os terminais 1-1´ surgirá uma diferença de potencial (ddp);
e) Esta ddp energiza uma capacitância em paralelo (*shunt*) (µF/km)
f) A corrente fornecida pela fonte energiza uma indutância série (mH/km)
g) Após a propagação da emergia ao longo da linha, considerada em um tempo τ_1, aparecerá nos terminais da carga 2-2´ uma ddp.

O tempo τ1 dependerá da velocidade de propagação da onda eletromagnética bem como do comprimento da linha. A relação entre estas grandezas está mostrada na Equação 1.

$$\tau_1 = \frac{\nu}{l} \quad (1)$$

Em que:

τ_1 - tempo de energização da linha (s)
ν - velocidade de propagação da onda (km/s)
l - comprimento da linha (km)

A velocidade de propagação da onda também poderá ser calculada desde que se conheçam os valores de capacitância e indutância como mostrado na Equação 2.

$$\nu = \frac{1}{\sqrt{L.C}} \quad (2)$$

onde:

ν - velocidade de propagação da onda (km/s)
L - indutância da linha (H/km)
C - capacitância da Linha (F/km)

Um outro parâmetro da linha que independe da distância e que está ligada somente a indutância e capacitância do cabo, é a impedância natural da linha, Z0 (Equação 3).

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3)$$

Tal que:

Z_0 - impedância natural (Ω)
L - indutância da linha (H/km)
C - capacitância da Linha (F/km)

A impedância característica (Zc) é uma impedância complexa que depende de outros parâmetros como a frequência do sistema, resistência e condutância, mostrada na equação 4.

$$Z_C = \sqrt{\frac{r+j\omega L}{g+j\omega C}} \quad (4)$$

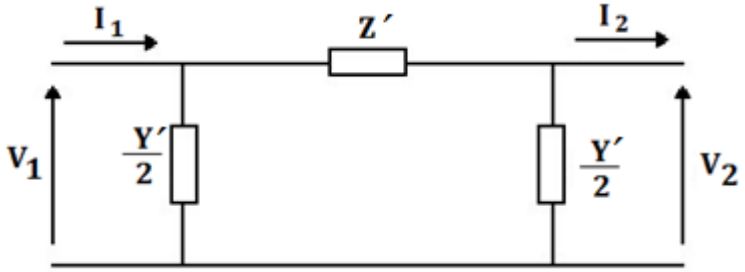
Sendo:

Z_c - impedância característica (Ω)
r - resistência da linha (Ω)
ω - velocidade angular dada por 2.π.f (rad/s)
g - condutância (S/km)
L - indutância da linha
C - capacitância da Linha

3.2. MODELOS DE LINHA

É possível utilizar modelos de parâmetros distribuídos e concentrados para as linhas de transmissão.

O Circuito 2 mostra um modelo de parâmetros distribuídos, onde a representação de um elemento infinitesimal da linha é dada pelos parâmetros de impedância série Z´- (resistência (R) e Indutância (L) ligados em série) e de admitância em paralelo Y´- (Capacitância (C) e Condutância (G) ligados em paralelo) por unidade de comprimento.



Circuito 2 Modelo de linha com parâmetros distribuídos (Adaptado de Fuchs, 1977, p. 56).

Este modelo pode ser utilizado para representar linhas de diversos comprimentos, porém depende da frequência.

O modelo de parâmetros concentrados é utilizado quando a relação da frequência com o comprimento da linha permite representar os efeitos físicos decorrentes da propagação da onda eletromagnética.

3.2.1. MODELO DE LINHA CURTA

O modelo de linha curta em 60 Hz é indicado para valores de tensão e corrente mostrados na Tabela 1

Tabela 1 –Parâmetros para modelo de linha curta em 60 Hz (FUCHS (1977, p.120)

Tensão (V)	Comprimento da linha (l)
$\leq 150\ kV$	Entre 60 e 80 km
$150\text{kV} < V \leq 400$ kV	Até 40 km
$\geq 400\ kV$	Até 20 km

3.2.2. MODELO DE LINHA MÉDIA

Tabela 2 –Parâmetros para modelo de linha curta em 60 Hz (Fuchs, 1977, p.123)

Tensão (V)	Comprimento da linha (l)
$150\text{kV} < V \leq 400$ kV	Até 200 km
$\geq 400\ kV$	Até 100 km

3.3. TRANSMISSÃO EM CORRENTE ALTERNADA (*ALTERNATING CURRENT - AC*)

Segundo Costa (2013), apesar dos avanços da tecnologia para transmissões de potência em corrente contínua, o sistema de transmissão em corrente alternada é o mais simples de se

realizar quando se pretende alimentar cargas mais próximas do ponto de geração, ou quando a potência a ser transmitida permitir.

A transmissão em corrente alternada consiste basicamente: na utilização de cabos trifásicos que, dependendo do nível de tensão e do trajeto percorrido, podem ser nus ou cobertos; de transformadores que são fixados ao longo da linha de forma a manter o nível de tensão adequado para ser transmitida a potência e outros equipamentos que permitem melhorar a qualidade da energia, tais como filtros, compensadores e reatores. A Figura 1 representa um esquema de transmissão em corrente alternada.

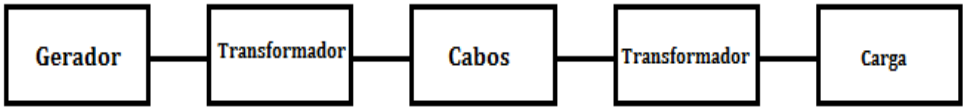


Figura 1 Diagrama esquemático da transmissão em AC. (Adaptado de Fuchs 1977)

No entanto, os equipamentos que compõe um sistema elétricos, cabos, transformadores e as cargas acopladas possuem características indutivas, que geram perdas ao longo das linhas, de forma tal que a potência no início da linha não é a mesma que chega ao consumidor. Vide equação 5.

$$\boldsymbol{P_{12} = \frac{U_1 U_2}{X} \sin(\delta_1 - \delta_2)} \tag{5}$$

Tal que:

U_1- módulo da tensão no barramento 1
U_2- módulo da tensão no barramento 2
δ_1- ângulo da tensão U_1
δ_2- ângulo da tensão U_2
X – reatância da linha definida como (ωl)

Seja a Figura 2 um esquema que represente uma linha de transmissão, na qual o barramento 1 e 2 são definidos respectivamente como o início e o final da linha, pela equação 5 é possível verificar que, com o aumento da impedância na linha, ocorre uma redução da potência transmitida.

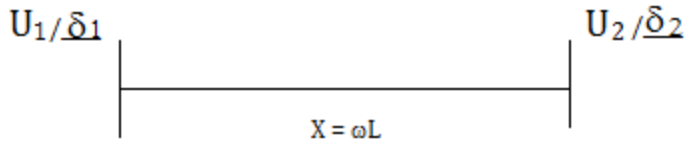


Figura 2 Representação da transmissão como um barramento Adaptado de Fuchs (1977)

Para aumentar a potência transmitida na linha para distâncias cada vez maiores é possível recorrer a alguns métodos:

1) Aumentar o nível de tensão de transmissão
2) Regular o ângulo de transmissão de forma a obter a defasagem angular próximo de 90^0
3) Reduzir a componente indutiva da linha

Com o aprimoramento dos dispositivos FACT's tornou-se viável o controle das duas primeiras alternativas. Embora estes equipamentos estejam em operação há muitos anos em linhas de transmissão, o conceito e a denominação FACT's veio a ser utilizado a partir dos anos 70. (HINGORANI; GYUGYI, 2009).

A transmissão em corrente alternada pode ser realizada em três ambientes diferentes: aéreo, subterrâneo e subaquático

A transmissão em sistemas aéreos normalmente utiliza cabos nus para o deslocamento de grandes potências e opera em alta tensão, a fim de diminuir as perdas. Em alguns trechos da linha, o nível de tensão é rebaixado numa subestação mais próxima do consumidor, onde é possível utilizar cabos subterrâneos ou até mesmo cabos aéreos. Para manter as linhas suspensas e eletricamente isoladas são utilizadas alguns dispositivos ou equipamentos ao longo das linhas. As torres são responsáveis por definir o trajeto das linhas e sustentá-las. Os isoladores garantem a isolação entre os condutores, além de conectá-los às torres e as ferragens, que têm a função de sustentar os cabos e conectá-las aos isoladores.

Em alguns trechos da transmissão há subestações elevadoras e rebaixadoras, que além de adequar a tensão ao nível de transmissão através de transformadores, podem conter bancos de capacitores e reatores que corrigem o fator de potência e melhoram o fluxo de potência.

Os sistemas subterrâneos normalmente são utilizados na distribuição. Todo o sistema é enterrado em dutos ou valas, incluindo os cabos e transformadores. Os cabos utilizados possuem isolação, para uma transmissão segura.

A transmissão subaquática é utilizada em transmissão de energia de parques eólicos *offshore* bem como na travessia de rios para o atendimento de sistemas isolados. As linhas geralmente são estendidas ao longo dos rios/mares até um ponto em terra, onde são conectadas a uma linha subterrânea até a subestação mais próxima. Os cabos empregados são isolados e blindados de forma a não haver contato com o meio externo e diminuir as perdas.

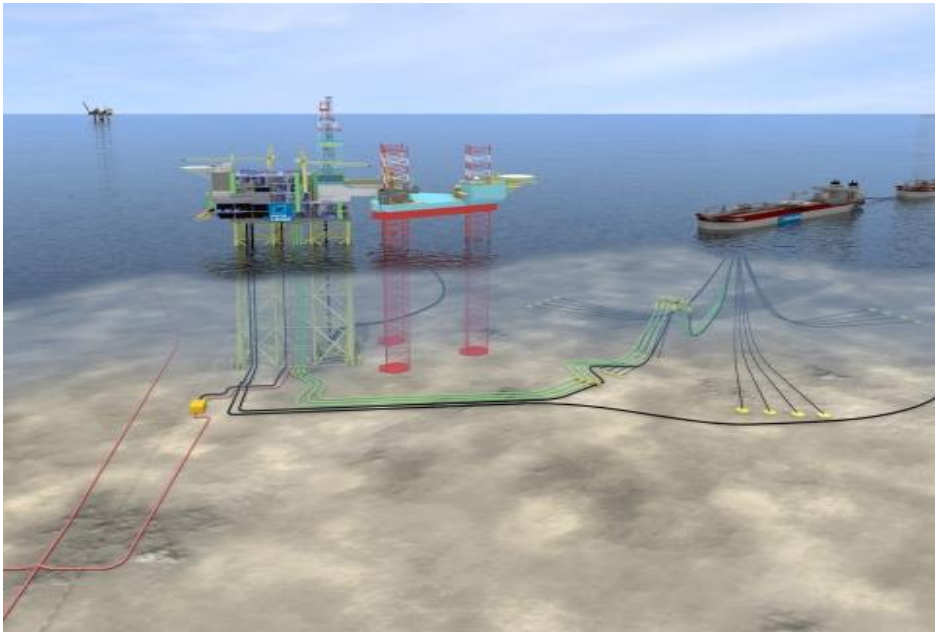
3.3.1. EXEMPLOS DE TRANSMISSÃO SUBAQUÁTICA EM AC

Estes exemplos de alimentação em corrente alternada são de sistemas isolados, alimentação de plataformas petrolíferas e conexão de parques eólicos *offshore*.

1. **Exemplo do projeto *Martin Linge***

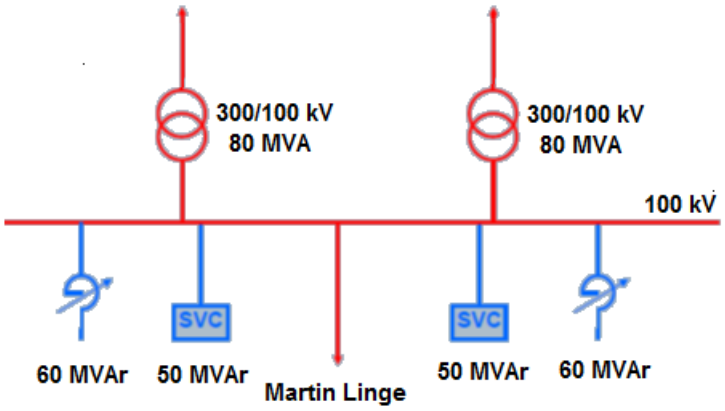
Este projeto foi executado pela SIEMENS em 2013 para conectar uma plataforma de petróleo e gás situada a aproximadamente 161 km da costa norueguesa. Para realizar o fornecimento de energia a esta plataforma, foi utilizado um sistema duplicado de alimentação em corrente alternada através de cabos submarinos. (SIEMENS, 2013a).

A rede elétrica norueguesa opera em 300 kV e a plataforma de petróleo em 100 kV. Foi necessário rebaixar a tensão ainda em terra na subestação *Kollsnes* e transmiti-la até a subestação que atende a alimentação de *Martin Linge*. A demanda do sistema é de 55 MW. Uma fotografia da plataforma pode ser vista na Fotografia 1.



Fotografia 1 Projeto *Martin Linge* (SIEMENS, 2013a, não paginado)

O diagrama unifilar da alimentação do sistema de *Martin Linge* pode ser visto no Circuito 3.



Circuito 3 Sistema de alimentação duplicado da plataforma *Martin Linge* (SIEMENS 2013b, p.9)

2. Exemplo do projeto do Parque eólico *Lillgrund*

O parque *Lillgrund*, situado a aproximadamente 7 km da costa sueca. É o projeto com maior capacidade instalada de geração de energia elétrica em parques eólicos *offshore* no país, e está localizado entre *Öresund*, *Malmö* e *Copenhaga*. Uma vista do parque eólico pode ser observada na Fotografia 2.

Fotografia 2 Parque eólico *Lillgrund* (SIEMENS, 2008, não paginado).

O Parque eólico *offshore* possui 48 aerogeradores, com capacidade instalada de 2,3 MW, que permitem o fornecimento de energia a pelo menos 60 mil casas. Para realizar o transporte de energia foi construída uma subestação o*ffshore* que eleva a tensão gerada pelas turbinas

de 33 kV para 138 kV. A energia então é transmitida em corrente alternada através de cabos subaquáticos e depois com 7 km de cabos subterrâneos até a rede de transmissão terrestre. Os dados do projeto estão resumidos na Tabela 3. (SIEMENS, 2008).

Tabela 3 –Dados técnicos do projeto *Lillgrund* (ABB, 2013, p.1)

Dados Técnicos	
Capacidade	110, 4 MW
Tensão	
Entrada	33kV
Saída	138kV
Transformadores	
offshore	1 x 120 MVA
Profundidade	4 - 8 m
Cabo	
Submarino	400mm^2 (7 km) - cobre
Subterrâneo	630 mm^2 (6km) - cobre
Dimensões	6 km^2
Instalação	2014
Comissionamento	2015

3. Exemplo do projeto do Parque eólico *Thornton Banks*

O projeto *Thornton Banks*, realizado pela ABB consiste num projeto de parque eólico *offshore* que produz cerca de 325 MW para o atendimento a 300 000 consumidores.

A 30 km de distância da costa belga, o parque possui 54 turbinas que geram energia em 33kV, porém a rede de transmissão terrestre (*onshore*) opera em 170kV, o que resultou na instalação de uma subestação elevadora *offshore* para elevar a tensão ao nível da rede terrestre. Antes de chegar a subestação *offshore* é feita uma conexão através de cabos de 33 kV que conduzem a energia das turbinas até a estação elevadora de 33/170kV. Após a elevação da tensão, 2 cabos subaquático de 170kV transportam a energia até o solo, ponto em que há conexão com cabos subterrâneos por um trajeto de 3 km até a subestação terrestre.

A subestação *offshore* do projeto *Thornton Banks* pode ser vista na Fotografia 3.

Fotografia 3 Projeto Thornton Banks (ABB, 2012a, p.1)

A construção deste parque deu-se em três fases, que pode ser acompanhado pela Tabela 4.

Ao final das três fases o parque eólico consegue produzir 1000 GWh de energia limpa. Com esta instalação, foi possível reduzir cerca de 415.000 toneladas de gás carbônico por ano, ao desativar o fornecimento de energia por termoelétricas.

Tabela 4 –Dados Técnicos do Projeto Thornton Banks (ABB, 2012, p.1)

Dados Técnicos	
Capacidade	325 MW
Tensão	
Entrada	36 kV AC
Saída	170 kV AC
Transformadores	
offshore	170MW - 33/155 kV
offshore	200 MW - 33/155 kV
Cabo Submarino	
conexão entre turbinas	36 kV AC - 60km
conexão *offshore*/onshore	170 kV AC - 2 x 35 km
Cabo Subterrâneo	170 kV AC - 2 x 3 km
Comissionamento	
Fase 1 - 2009	6 turbinas de 5MW
Fase 2 - 2012	30 turbinas de 6,15 MW
Fase 3 - 2013	18 turbinas de 6,15 MW

3.4. TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA (*DIRECT CURRENT - DC*)

A tecnologia para transmissão de potência em corrente contínua teve o seu uso intensificado a partir da década de 1980, com a evolução dos dispositivos de eletrônica de potência, como os tiristores, transistores e IGBT's em conversores de energia.

Um sistema de transmissão em corrente contínua é basicamente composto por transformadores, filtros CA e CC, retificadores, conversores, inversores e cabos monofásicos ou bifásicos. (Figura 3)

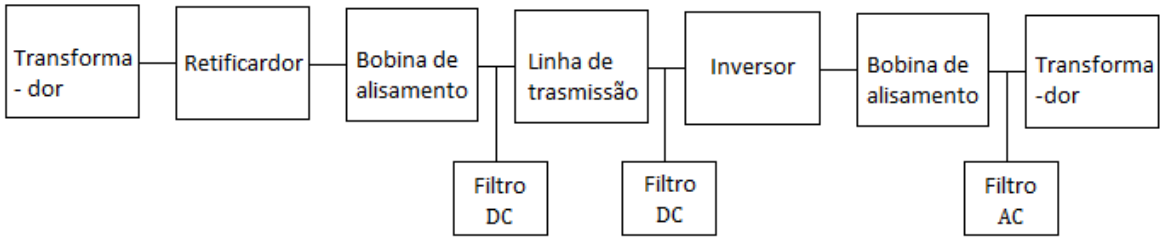


Figura 3 Diagrama esquemático da transmissão em DC (Adaptado de Matlab R15b, 2015)

Nesta configuração, o transformador tem a função de adequar a tensão AC ao nível solicitado pelo conversor, além de realizar isolação galvânica. Pode ser utilizado um único transformador trifásico ou até mesmo três transformadores monofásicos, dependendo da aplicação.

O retificador de potência transforma a tensão AC em tensão DC por meio de tiristores ou IGBT's. A tensão retificada possui uma grande quantidade de frequências harmônicas que são eliminadas com a instalação de filtros DC.

As bobinas de alisamento possuem indutância elevada a fim de eliminar as oscilações de corrente DC retificada e geralmente são colocadas em cada polo. Além disso, previne falhas de comunicação entre os inversores, limita a corrente de curto-circuito e também reduz o conteúdo harmônico da tensão (BRITO, 2013).

O inversor ou conversor tem a função de converter a energia recebida de DC para AC. Deve ser instalado com filtros AC, que são os responsáveis por absorver os harmónicos resultantes da comutação dos tiristores ou IGBT's presentes nos conversores, além de consumir potência reativa da rede.

Caso haja necessidade, é possível instalar um transformador na saída do sistema AC/DC/AC para adequar a tensão à carga.

O desenvolvimento dos conversores em DC nos sistemas HVDC-LCC, baseados em tiristores, contribuíram significativamente para que as transmissões em corrente contínua se tornassem uma boa opção para longas distâncias e transporte de um grande volume de energia. Este sistema ficou conhecido no mercado como HVDC Classic, cujas maiores empresas comercializadores são a ABB e Siemens. O sistema HVDC Classic da ABB possui tecnologia para atendimento de demandas acima de 100 MW em alta tensão e até potências muito acima disso em extra alta tensão, com alcance de até a 1100 kV. (ABB, 2016a). A SIEMENS, por sua vez, atende a este mesmo público, com equipamentos que operam em até ±800 kV com capacidade inferior a 10 GW. (SIEMENS, 2016a).

Com o uso intensificado dos dispositivos baseados em *Gate Bipolar Transistor* IGBT's (que atuam de forma mais rápida que o tempo de comutação dos componentes eletrônicos a base de tiristores) em sistemas de potência, grandes empresas atuantes neste mercado, como ABB e SIEMENS, desenvolveram linhas de equipamentos que utilizam a tecnologias dos *Voltage Source Converter* (VSC's).

Em 1997 além dos equipamentos HVDC Classic largamente difundidos em linhas de transmissão, a ABB passou a comercializar conversores baseados em VSC's, denominados HVDC Light para atender aos requisitos de transmissão subaquática e subterrânea. (ABB, 2012b).

A SIEMENS por sua vez, lançou a linha de equipamentos HVDC Plus para o atendimento da mesma necessidade de mercado. Dentre as maiores vantagens desta tecnologia destacam-se:

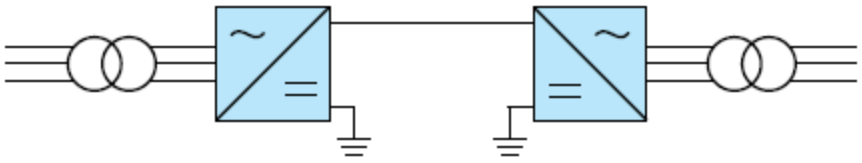
a) Acesso às redes AC fracas ou sistemas desprovidos de geração.
b) Controle independente de potência ativa e reativa.
c) Capacidade de energizar a rede de forma autônoma em casos de blackouts (*black-start capability).*
d) Capacidade de operar nos quatro quadrantes, pois as potências P e Q controladas podem ser positivas ou negativas.
e) Requer menos espaço

3.4.1. CONFIGURAÇÕES DE UM SISTEMA EM HVDC

1. Sistema Monopolar

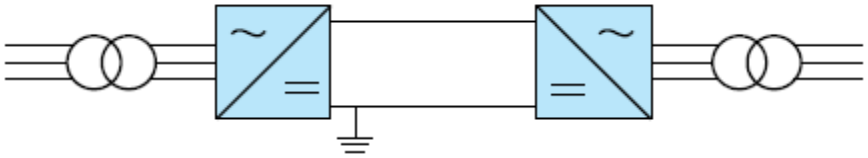
É a configuração mais simples de sistema, constituído por um único cabo de transmissão de alta tensão, com o retorno pelo solo, água ou por um condutor metálico. Estas condições apresentam baixa confiabilidade ao sistema, pois se houver necessidade de remoção do cabo, o fornecimento de energia será interrompido. (Circuito 4).

O custo do sistema que utiliza retorno pelo solo ou água é menor em relação as outras configurações bem como as perdas no sistema, pois requer apenas o cabo condutor de energia.



Circuito 4 Cabo com retorno pelo solo ou pela água (ABB, 2012, p.14)

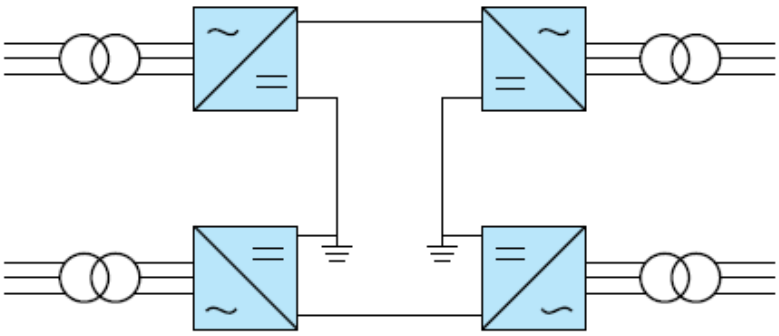
O cabo com retorno por condutor bimetálico é utilizado quando se quer um custo mais baixo, e há restrições ambientais que impeça utilizar retorno pelo solo. (Circuito 5).



Circuito 5 Cabo com retorno por condutor metálico (ABB, 2012, p.14)

2. Sistema Bipolar

Utilizam-se dois cabos com polaridades diferentes, ou seja, um com polaridade positiva para a transmissão da energia, e outro com a polaridade negativa para o retorno. Este sistema é mais confiável, ao passo que se for necessária a remoção de um dos condutores, por defeitos ou manutenção do sistema, a operação pode prosseguir com retorno pelo solo ou pela água. Este sistema é utilizado nos projetos ABB LIGHT, como mostrado no Circuito 6.



Circuito 6 Bipolar com retorno pelo solo (ABB, 2012, p.14)

Os sistemas Homopolares são circuitos constituídos por cabos de mesma polaridade, geralmente negativas e com retorno por terra. Em algumas aplicações é possível inserir retorno através de cabo, configurando desta forma dois circuitos duplos. A vantagem desta configuração consiste em dividir o transporte de metade da energia (Marques,2007).

3.4.2. EXEMPLOS DE TRANSMISSÃO SUBAQUÁTICA EM DC

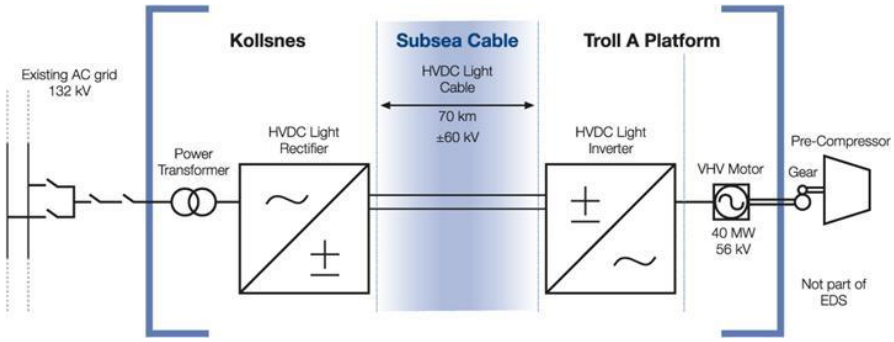
1. Exemplo do projeto da Plataforma Petrolífera *Troll A*

Troll A é uma plataforma petrolífera norueguesa instalada à 70 km da costa que recebeu o primeiro sistema de alimentação em corrente contínua e alta tensão. O projeto é dividido em duas unidades denominadas *Troll A 1&2* e *Troll A 3&4*. Na unidade 1&2 foram instalados dois compressores que consomem 44 MW cada, enquanto na unidade 3&4 cada um dos compressores instalados consome 50 MW. A imagem da plataforma pode ser vista na Fotografia 4.

Fotografia 4 Plataforma Petrolífera *Troll A* (ABB, 2015, não paginado)

A alimentação da plataforma vem da rede de transmissão continental que opera em 132 kV. Houve a necessidade de instalar na subestação Kollsnes, localizada em terra, um transformador para rebaixar a tensão para 60 kV e um sistema de retificação. Após a retificação na subestação terrestre (*onshore*), foram instalados dois cabos subaquáticos que transportam a energia da rede até a plataforma Troll A. Esta concepção de projeto elimina a necessidade de instalar transformadores, pois a tensão que chega à plataforma é suficiente para alimentar os compressores. A alimentação dos compressores é feita em corrente alternada, então, os retificadores foram acoplados diretamente aos compressores. (ABB, 2015).

O sistema de alimentação da plataforma de petróleo Troll A pode ser visto no Circuito 7 e as características técnicas do projeto na Tabela 5.



Circuito 7 Sistema de alimentação das unidades A1 e A2 da plataforma de petróleo Troll A (ABB, 2015)

Tabela 5 –Dados técnicos da alimentação de Troll A (ABB, 2015)

Dados Técnicos		
	A1 & A2	A3 & A4
Capacidade	88 MW	100 MW
Tensão		
Entrada	132 kV AC	
Link	±60 kV DC	
Saída	56 kV AC	66 kV AC
Cabo Submarino	4 x 70m	4 x 70m
Comissionamento	2005	2015

2. Exemplo do projeto parque eólico offshore *HelWin2*

O Projeto *HelWin2* faz partes dos cinco grandes parques eólicos *offshore* que produzem energia na Alemanha e utilizam o sistema HVDC Plus da Siemens. Somando com os outros quatro empreendimentos, *Helwin1, SylWin1 e BorWin1 e BorWin3* a produção de energia instalada chegará em 2019 no patamar de 3,8 GW. (Fotografia 5).

*HelWin*2 está situado à 130 km da costa e para conectar a geração eólica à rede terrestre, foi construída uma subestação *offshore* que utiliza dois transformadores de 508MVA que eleva a tensão de 155kV para 320kV.

Fotografia 5 Plataforma do parque eólico offshore HelWin2 (SIEMENS, 2014)

Os cabos submarinos são conectados à estação elevadora terrestre e transportam a energia através até um ponto mais próximo da terra, e então o percurso é concluído com dois cabos subterrâneos que seguem para a subestação terrestre. A Tabela 6 apresenta os dados técnicos do parque. (SIEMENS, 2015).

Tabela 6 –Dados técnicos do projeto HelWin2 (SIEMENS, 2015)

Dados Técnicos	
Capacidade	690 MW
Tensão	
Entrada	155 kV AC
Link	320 kV DC
Saída	400 kV AC
Transformadores	
Offshore	2 x 508 MVA
Terrestre (*Onshore*)	2 x 506 MVA
Profundidade	24m
Cabo Submarino	2 x 131 km
Mar	800mm^2 (68 km) - cobre
Mar Wadden	1100mm^2 (17 km)- cobre
Terra	1800mm^2 (46 km) -Alumínio
Instalação	2014
Comissionamento	2015

3. Exemplo do projeto parque eólico *BorWin1*

O Parque eólico *offshore* de *BorWin1* está a cerda de 130 km de distância da costa alemã, e foi construída com sucesso através do sistema de transmissão em corrente contínua utilizando equipamentos da linha ABB Light. (Fotografia 6).

O projeto *BorWin1* possui 80 turbinas com potência de 5 MW cada, totalizando 400 MW de potência instalada. A energia produzida pelas turbinas é transportada por cabos de 36 kV até o posto de transformação *offshore*. Neste posto há uma estação elevadora que sobe a tensão de 36kV para 150kV e, após essa elevação, passa por um sistema de retificação. Posteriormente é transmitida através de cabos submarinos à rede terrestre utilizando cabos submarinos de 150 kV. Na chegada em terra há 2 cabos subterrâneos que conectam os cabos submarinos a rede de energia alemã que opera em 380 kV. Os dados técnicos estão relacionados na Tabela 7. (SIEMENS, 2016b).

Fotografia 6 Parque eólico BorWin1 (SIEMENS, 2016b)

Tabela 7 –Dados técnicos do parque eólico BorWin1 (SIEMENS, 2016b)

Dados Técnicos	
Capacidade	400 MW
Tensão	
Entrada	36 kV
Link	150 kV
Saída	380 kV
Transformadores	
Offshore	36 / 150 kV
Terrestre (*Onshore*)	150 / 380 kV
Cabo Submarino	
parque ao sistema *onshore*	150 kV DC - 2 x 125 km
Cabo Subterrâneo	
até a subestação *onshore*	150 kV DC - 2 x 75 km
Comissionamento	2015

Como comparação dos recentes empreendimentos realizados pelas empresas ABB e SIEMENS, a Tabela 8 mostra separadamente os projetos de parques eólicos e ligações com plataformas de petróleo.

Tabela 8 –Empreendimentos em transmissão subaquática da ABB e SIEMENS (Adaptado de ABB, 2016 e Siemens, 2016)

ABB		
Corrente Alternada	HVDC Light	
Parque eólico	Petróleo	Parque eólico
Thornton Banks	**Troll A**	**BorWin 1**
Siemens		
Corrente Alternada		HVDC Plus
Petróleo	Parque eólico	Parque eólico
Martin Linge	**Lillgrund**	**HelWin2**

3.5. CABOS PARA TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEA E SUBAQUÁTICAS

A escolha de um cabo para um projeto de linha de transmissão, seja aérea, subterrânea ou subaquática, exige pesquisa entre os melhores fabricantes em busca de bons materiais condutores e isolantes, bem como cálculos de dimensionamento.

Os cabos mais utilizados em linhas de transmissão são os cabos nus de alumínio ou cobre e os cabos isolados para transmissões subterrâneas e subaquáticas.

Os cabos subaquáticos, também conhecidos como cabos umbilicais, são bastante utilizados na indústria do petróleo. Segundo Rocha (2007), do ponto de vista elétrico estes cabos podem ser vistos como um condutor tubular dentro de um outro condutor tubular. Os cabos utilizados nas travessias subaquáticas têm os aspectos construtivos relacionados na Figura 4.

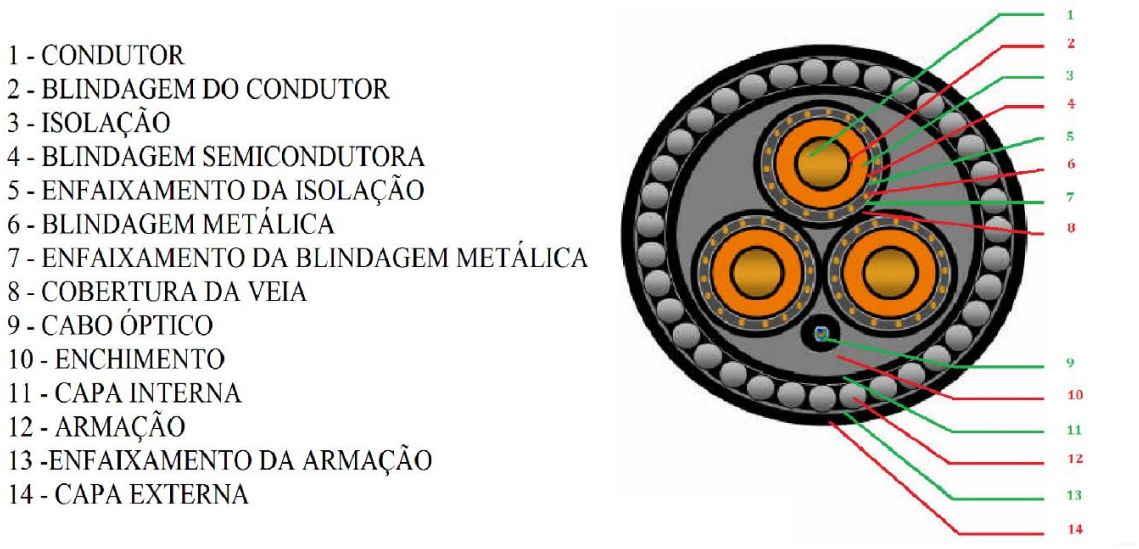


Figura 4 Cabo da Prysmian utilizado nas travessias subaquáticas (Fernandes, 2016)

Os condutores utilizados nos cabos subaquáticos são geralmente de cobre e a blindagem de alumínio. A escolha do material além de determinar os parâmetros elétricos, influenciam diretamente no preço do projeto. O condutor é redondo e construído com fios redondos entrelaçados e compactados, ou, para as grandes seções transversais, camadas concêntricas de fios de formato trapezoidal. O condutor também pode ser selado, caso haja necessidade de bloquear longitudinalmente a penetração de água em caso de danos ao cabo, visto que o mesmo estará permanentemente imerso em águas profundas.

A isolação tem a função de proteger os materiais condutores da influência de agentes externos, e isolar eletricamente os condutores entre si. Os materiais mais utilizados na isolação dos condutores se dividem em dois grupos: extrudados e estratificados

No grupo dos materiais extrudados encontram-se os termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são polímeros lineares que amolecem com o aumento da temperatura, enquanto que os termofixos, constituído por polímeros tridimensionais, não amolecem com o aumento da temperatura.

Os materiais extrudados têm dispersão da rigidez dielétrica maior que nos cabos estratificados devido a sua construção não envolver completamente o condutor e desta forma originam-se os gaps. Porém esta característica pode ser melhorada ao passo que seja aprimorada no processo fabril a aplicação do material no condutor. (PRYSMIAM, 2012).

Dentre todos os materiais isolantes, os estratificados são considerados os mais eficientes. Além da alta confiabilidade, possuem baixa dispersão de sua rigidez dielétrica e podem ser utilizados em altíssima tensão, quando a isolação é com óleo impregnado. Na Tabela 9 estão identificados os materiais extrudados e estratificados que são utilizados como isolantes:

Tabela 9 –Materiais extrudados e estratificados que compõe a blindagem de condutores cobertos (Adaptado da Prysmian, 2012 p.8)

Sólidos (Extrudados)	Termoplásticos	PVC (Policloreto de vinila)
		PET (Polietileno)
	Termofixos	XLPE e TR XLPE (Polietileno reticulado quimicamente)
		EPR, HEPR e EPR 105 (Borracha etilenopropileno)
Estratificados	Papel impregnado com massa	
	Papel impregnado com óleo fluído sob pressão	

O acolchoamento ou o preenchimento do núcleo do cabo (Enchimentos) é feito com a finalidade de ocupar espaços antes vazios, dar ao cabo um aspecto arredondado, além de evitar a penetração de agua que poderia danificar e se propagar ao núcleo. Além de materiais extrudados podem ser encontrados no mercado cabos que utilizam enchimentos à base de fibra de vidro, algodão ou componentes do petróleo. (PERCEBON, 2013).

As blindagens podem ser aplicadas sobre o condutor e/ou sobre o isolamento do condutor. No primeiro caso, a blindagem ou bainha, como e normalmente é conhecida, serve para preencher as irregularidades que o material condutor possa ter. Desta forma, a blindagem evita que o campo elétrico formado no condutor assuma formas destorcidas, o que ocasionaria degradação do condutor, pois haveria esforços concentrados em determinados pontos. (PRYSMIAN GROUP, 2012).

Sobre o isolamento a blindagem é feita de material semicondutor, podendo ou não ser adicionada uma camada de material condutor. Tem por finalidade confinar o campo magnético dentro do cabo isolado, impedindo que sejam formadas lacunas entre a superfície e o isolamento.

Após as diversas camadas constituintes do cabo é necessário adicionar uma proteção ao cabo com material não metálico ou metálico. As proteções não metálicas geralmente são de *PVC,* polietileno, neopreme ou materiais não halogênios, conhecidos como *Afumex*. (PRYSMIAN GROUP, 2012). Nas proteções metálicas podem ser utilizadas fitas de alumínio ou de aço, e

são indicadas em situações que exigem esforços de tração do cabo. Um invólucro de liga de chumbo é fornecido para cabos submarinos, a fim de manter a isolação e o condutor do cabo seco.

Em linha geral a escolha da proteção é determinada segundo as características do local. Deve ser considerado a umidade, riscos de incêndio, propagação de elementos químicos, dentre outros aspectos.

3.6. CÁLCULO DE PARÂMETROS EM CABOS

Os cabos subaquáticos sejam eles do tipo tubulares (*pipe-type*) ou umbilicais, com ou sem mangueiras, possui características diferentes de cabos utilizados em outras aplicações, pois são compostos por diversos elementos condutores, semicondutores e isolantes alternadamente. Os cálculos de parâmetros em cabos com este tipo de construção são altamente dependentes da frequência e são influenciados pelo efeito pelicular e de proximidade nos cabos.

Considerando os cabos coaxiais da Figura 5 num sistema de transmissão a três fios, os raios r1, r2 e r3 são respectivamente: r1 – raio do núcleo; r2 – raio do centro do cabo até a camada isolante e r3 – raio do centro do condutor até blindagem.

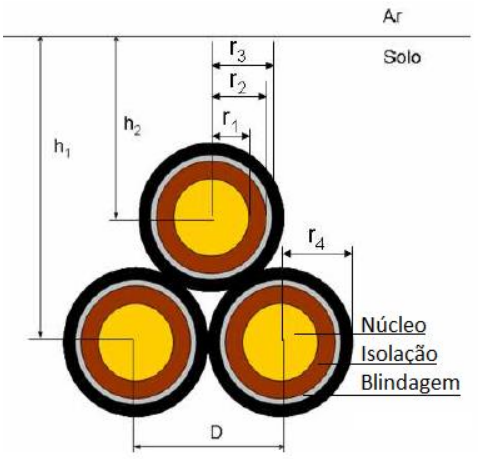


Figura 5 Corte transversal do cabo trifásico blindado com condutores coaxiais dispostos de forma equidistante (Rocha, 2007 p.24)

No cálculo de parâmetros transversais é possível utilizar a formulação desenvolvida por Rocha (2007) para cabos coaxiais e do tipo *pipe type* com n elementos metálicos e n cabos mutuamente acoplados.

A admitância de um cabo umbilical pode ser obtida através da equação 6.

$$Y(\omega) = G + j\omega P^{-1} \tag{6}$$

Como o cabo possui um bom isolante, o parâmetro de condutância (G) pode ser desprezado, uma vez que as perdas no dielétrico e as correntes capacitivas são tão pequenas que podem ser desconsideradas.

O parâmetro P representa o coeficiente de potencial de Maxwell, e é calculado através da equação 7. Esta formulação, no entanto, só pode ser utilizada no cálculo de cabos subterrâneos e subaquáticos.

$$P_{cabo\ in_n} = \begin{bmatrix} (P_c + P_s) & P_s \\ P_s & P_s \end{bmatrix} \tag{7}$$

A matriz expressa na equação 7 é calculada o usando-se os coeficientes do potencial do isolante externo ao condutor ou da primeira blindagem (P_c), conforme equação 8 e (P_s) é o coeficiente de potencial do isolante externo à blindagem ou da segunda camada isolante, visto na equação 9.

$$P_c = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_1} \ln\frac{r2}{r1} \tag{8}$$

$$P_s = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_2} \ln\frac{r4}{r3} \tag{9}$$

Tal que

$\varepsilon_1 =$ Permissividade relativa da primeira camada isolante.
$\varepsilon_2 =$ Permissividade relativa da segunda camada isolante.
$\varepsilon_0 =$ Permissividade do vácuo

Os valores dos parâmetros obtidos nas tabelas dos fabricantes se aproximam dos obtidos com estes cálculos.

3.7. EMPREENDIMENTOS DE TRANSMISSÃO SUBAQUÁTICA NO BRASIL

3.7.1. PROJETO DE INTERLIGAÇÃO BARREIRA DO ANDIRÁ

Barreira do Andirá é uma comunidade que pertence ao município de Barreirinha, ocupa uma área de aproximadamente 5750 m^2 e sua população, segundo dados de 2010 fornecida pelo

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é estimada em 27,4 mil habitantes. (IBGE, 2013).

Barreirinha é cercada ao norte por um rio caudaloso, o Paraná do Ramos e ao sul pelo rio Andirá o que faz com que seu acesso seja restrito por modais de hidrovias, partindo de Manaus, capital da Amazônia e cidades vizinhas, Boa Vista do Ramos, Maués, Parintins, entre outras. Embora tenha um aeroporto na cidade, ainda não há linhas aéreas comerciais em operação, portanto o acesso é feito exclusivamente por barcos. (BAETURISMO, 2016).

Barreira do Andirá, por ser uma comunidade mais ao norte da cidade e mais afastada do munícipio de Barreirinha, não é conectado ao sistema de distribuição da cidade. Seu acesso é exclusivamente feito pelas vias fluviais dos vilarejos mais próximos. Partindo do Município de Barreirinha, o acesso a Barreira do Andirá pode ser feito por dois rios distintos: Rio Andirá por pelo menos 32,4 km de barco ou pelo Rio Paraná do Ramos por 39 km também de barco. A localização desta comunidade está mostrada na Figura 6.

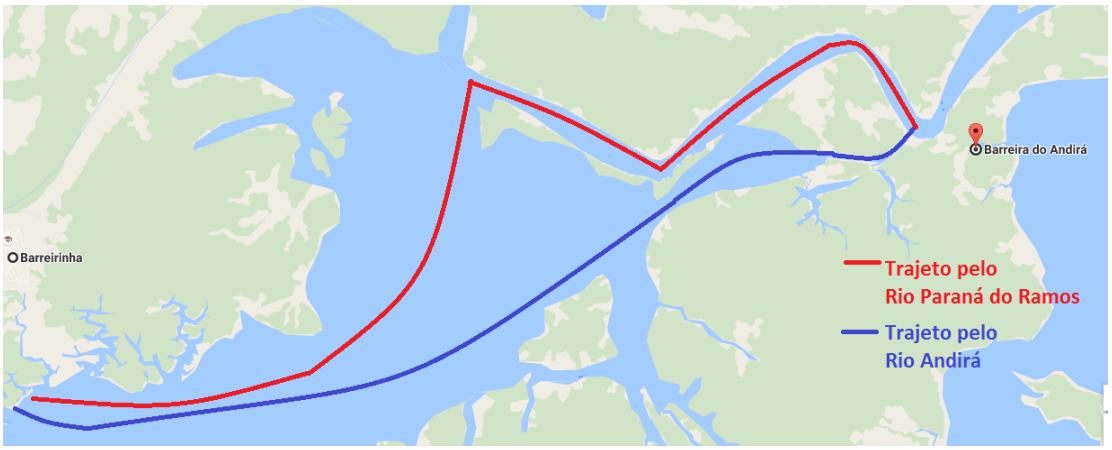


Figura 6 Possíveis trajetos de barco para o acesso a Barreira do Andirá (Adaptado de Google Maps, 2016)

A restrição de acesso fez com que a Eletrobrás Amazonas estudasse meios de fornecer energia aos moradores desta vila. Por volta de 2012, foi lançado um cabo no rio Andirá até a Vila Manaus, e de Vila Manaus através de trechos aéreos e subaquáticos até Vila Amazonas, conforme mostra a Figura 7.

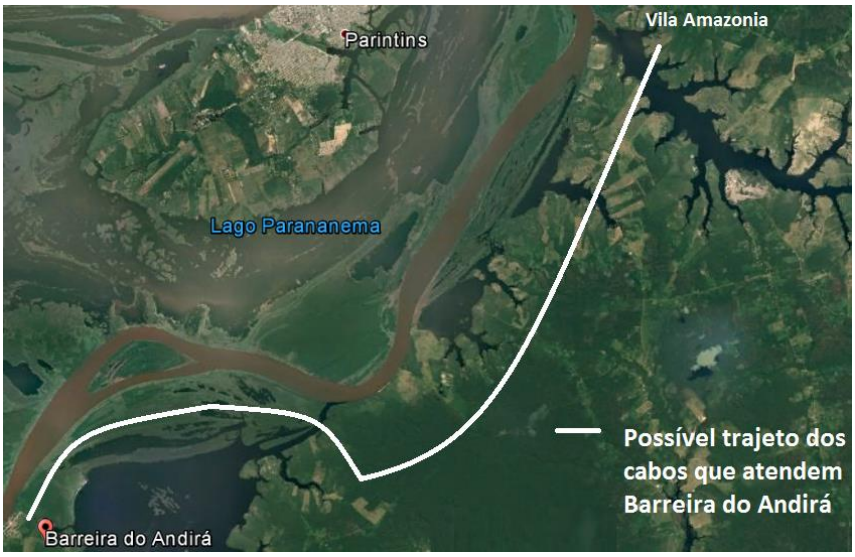
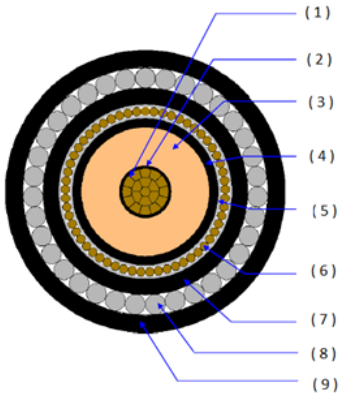


Figura 7 Trajeto aproximado do cabo que atende barreira do Andirá (Adaptado do Google Earth, 2016)

Até esta data (2012), o fornecimento de energia em Vila Amazonas era realizado por um sistema isolado, composto por termoelétricas a diesel, que era suficiente para atender a demanda da região e a Barreira do Andirá. Porém, com o programa Luz Para Todos do Governo federal, a Eletrobrás Amazonas utilizou trechos de transmissão aérea percorrendo Vila Amazônia até Vila Manaus, e de Vila Manaus, um trecho subaquático até Barreira do Andirá (Costa, 2016). No mapa, não é possível identificar a localização de Vila Manaus por ser uma comunidade pequena e sem registro de coordenadas geográficas nos sites do governo.

Estudos foram realizados para verificar a possível instalação de uma termoelétrica em Barreira do Andirá, porém a dificuldade de manter uma usina termoelétrica em funcionamento, implicaria em realizar viagens de balsa para transportar o combustível (que duram cerca de 2 horas das regiões mais próximas), além de permanecer o alto custo de manutenção pelo deslocamento da mão-de-obra. (Costa, 2016). Outras soluções como parque solar ou eólico, ocupariam grande área do vilarejo para atender a demanda máxima, além de também requerer deslocamento de profissionais da Eletrobrás Amazonas para manutenções periódicas.

Segundo o engenheiro João Alberto Pereira Costa (2016), do trecho compreendido entre Vila Manaus e Barreira do Andirá foi utilizado um cabo monofásico da Nexans cuja especificação está na Tabela 10 e o desenho esquemático na Figura 8.



(1) Condutor de cobre Estanhado, bloqueado e compactado
(2) Blindagem semicondutora extrudada, aderida ao isolamento
(3) Isolação – HEPR, alto modulo
(4) Blindagem semicondutora extrudada, *free-strippable, processada em triplice extrusão e sistema Dry-curing*
(5) Bloqueio longitudinal e blindagem metálica em fita de cobre estanhada aplicada com sobreposição, e acolchoamento para proteção mecânica do dielétrico.
(6) 1ª camada de armação de fios de cobre.
(7) Capa de estanqueidade e acolchoamento da armação, com características elétricas controladas para equipotencialização dos fios da armação.
(8) 2ª camada de armação de fios de aluminio extra-duro
(9) Cobertura externa de polietileno com elevadas características mecânicas

Figura 8 Desenho esquemático do cabo utilizado em Andirá (Adaptado de Costa, 2016, p.1)

Tabela 10 – Especificações do cavo utilizado pela Eletrobrás Amazonas (Adaptado de Costa, 2016)

Características da linha de transmissão subaquática		
1	Tensão eficaz entre fase (kV)	15
2	Resistência CC do condutor à temperatura de operação (Ω/km)	0,4986
3	Resistência CA do condutor à temperatura de operação (Ω/km)	0,5329
4	Reatância indutiva de sequência positiva / negativa (Ω/km)	0,1707
5	Capacitância (µF/km)	0,2481
6	Indutância (mH/km)	0,4528
7	Queda de Tensão (%):	1,2237

A travessia se dá num percurso de 1119 m em meio subaquático, operando em 13.8 kV e atende os 349 domicílios na Barreira do Andirá, cuja demanda total não passa de 560 kW.

1.1.1 Projeto de Interligação Comunidade do Pesqueiro

Manacapuru é uma cidade da região metropolitana de Manaus, no estado da Amazônia, e possui aproximadamente 7330 km^2 e a população é estimada em 95330 habitantes segundo a projeção realizada pelo censo em 2010 (IBGE, 2016)

A economia da cidade de Manacapuru é baseada na agricultura, plantio de legumes - verduras e frutas e agropecuária - criação de gado, pesca.

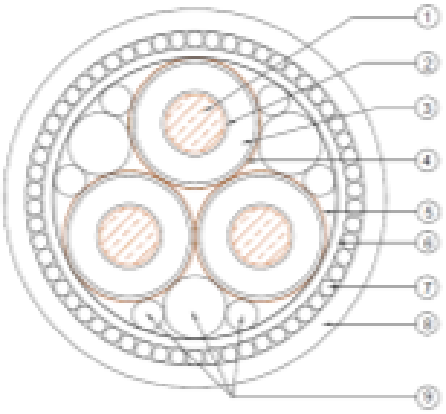
O acesso a Manacapuru é feito de barcos pelas hidrovias, partindo de Manaus e o trajeto percorrido é de aproximadamente 88 km.

Por ser dividida pela Rio Solimões, o atendimento a uma parcela da cidade é feito através de cabo subaquático de 3.325 m em 15 kV. E o sistema é conectado direto no Sistema Interligado Nacional (SIN). Na Figura 9 é possível verificar o trajeto do cabo pelo rio Solimões.

Figura 9 Trajeto do cabo que interliga a Vila do Pesqueiro à Manacapuru (Adaptado do Google Earth, 2016)

O projeto de atendimento à comunidade do Pesqueiro, em Manacapuru, é o maior trajeto de travessia realizado com cabo subaquático com cabo trifásico 50 mm² pela Eletrobrás Amazonas. Atende a 1069 domicílios na comunidade do Pesqueiro que demanda 1,71 MW no máximo. A realização do projeto teve incentivo financeiro do Programa Luz para Todos, do governo federal, que visa levar às comunidades isoladas e às populações que vivem em zonas rurais distantes das metrópoles, o acesso à energia. (Costa, 2016).

A especificação do cabo trifásico utilizado está na Tabela 11 e o desenho esquemático na Figura 10.



1. **Condutor:** De cobre estanhado formação redondo compactada, bloqueado, atendendo a classe 2 de encordoamento.
2. **Blindagem do condutor:** Camada de material condutor não metálico (semicondutor) termofixo para uniformizar o campo elétrico no condutor.
3. **Isolação:** Camada de composto termofixo a base de etilenopropileno de alto módulo e classe térmica elevada – tipo HEPR, de grande estabilidade térmica para temperatura de operação em regime permanente de até 90°C.
4. **Blindagem semicondutora da isolação:** Camada de material condutor não metálico (semicondutor) em íntimo contato com a isolação, tornando o campo elétrico radial e uniforme. Constituída por composto termofixo de fácil remoção e à temperatura ambiente.
5. **Blindagem metálica da isolação, sistema de bloqueio e fitilhos coloridos para identificação das fases:** Constituída por uma fita de cobre estanhada, aplicada helicoidalmente com sobreposição adequada.
6. **Capa interna (acolchoamento):** Camada extrudada contínua de polietileno termoplástico – tipo ST7.
7. **Armação:** Formada por uma coroa de fios de aço galvanizada com propriedades prescritas pela NBR 6251 e com amarração de fita têxtil reforçada.
8. **Cobertura:** Camada extrudada contínua de polietileno termoplástico – tipo ST7.
9. **Enchimentos extrudados**

Figura 10 Composição do cabo trifásico utilizado na travessia do Rio Solimões para a Comunidade do Pesqueiro (Adaptado de Costa, 2016, p10)

Tabela 11 – Dados elétricos linha de transmissão subaquática que interliga Vila do Pesqueiro a Manacapuru (Adaptado de Costa, 2016, p1)

Características da linha de transmissão subaquática da Vila do Pesqueiro		
1	Tensão eficaz entre fase (kV)	15
2	Resistência CC do condutor à temperatura de operação (Ω/km)	0,4986
3	Resistência CA do condutor à temperatura de operação (Ω/km)	0,4993
4	Reatância indutiva de sequência positiva / negativa (Ω/km)	0,1420
5	Capacitância (µF/km)	0,2481
6	Indutância (mH/km)	0,3766
7	Queda de Tensão (%)	1,1312

Em alguns casos é praticada uma tarifa social de modo a permitir que a população pague valores mais baixos na fatura de energia e, em outras situações, quando os moradores vivem em condições precárias há isenção total do pagamento de energia. (BRASIL. MME, 2016).

4. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO EM PORTUGAL E NO BRASIL

4.1. ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES - PORTUGAL

A Região Autónoma dos Açores (RAA) está localizada no Oceano Atlântico, a distância de aproximadamente 1300 km de Lisboa. O arquipélago é composto por nove ilhas que são divididas em 3 grupo: Ocidental, formada pelas Ilhas de Corvo e Flores; Oriental, com as Ilhas de São Miguel e Santa Maria; e Central, que agrupa cinco ilhas, Graciosa, Faial, Pico, São Jorge e Terceira. A disposição das ilhas está ilustrada na Figura 11.

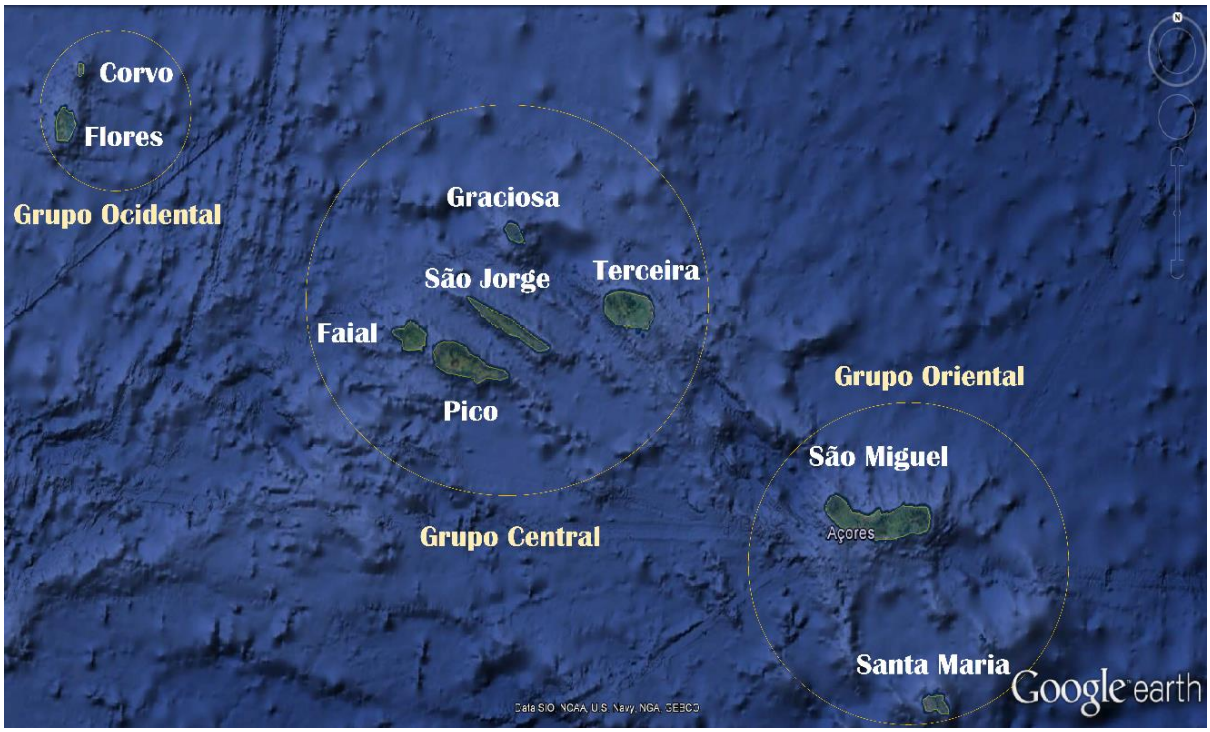


Figura 11 Divisão do Arquipélago adaptado do Google Earth (Adaptado do Google Earth, 2016)

A produção, transporte e distribuição de energia da Região Autônoma dos Açores é de responsabilidade da empresa Eletricidade dos Açores (EDA), que atua desde 1980 no arquipélago. A produção de energia nas ilhas é diversificada, composta por fontes não renováveis, termoelétricas a diesel e a óleo combustível, e por fontes renováveis, centrais geotérmicas e hídricas e parques eólicos.

O Gráfico 1 mostra a produção acumulada entre os meses de janeiro à de julho de 2016 de todas as ilhas e aponta que a parcela gerada de energia advinda de combustíveis fósseis corresponde a 66.6% da matriz energética, enquanto que as fontes renováveis contribuem com apenas 33.4%. (ELETRICIDADE DOS AÇORES (EDA), 2016).

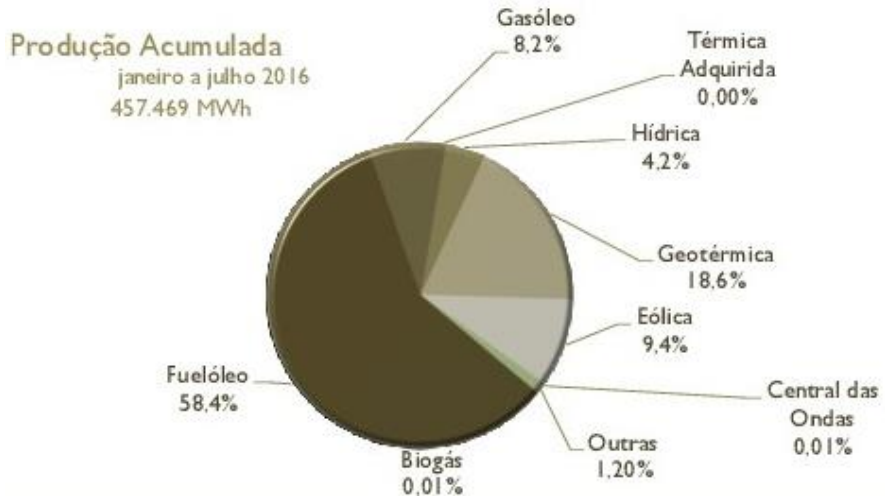


Gráfico 1 Participação das fontes de energia na matriz energética dos Açores (ELETRICIDADE DOS AÇORES (EDA), 2016 p.5).

4.2. ILHA DE SANTA MARIA

4.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ILHA

Santa Maria encontra-se no extremo sudeste dos Açores e possui uma extensão territorial de aproximadamente 97,42 km^2. A sua localização, mais ao sul que as outras ilhas, proporciona um clima mais quente e seco, com baixos índices pluviométricos, característica esta que confere à vegetação da ilha uma tonalidade amarela e favorece o crescimento de vegetação seca. (AÇORES, 2016c).

Santa Maria se destaca das outras ilhas no pioneirismo da ocupação, dando início ao primeiro povoamento dos Açores em 1427.

Fotografia 7 Baia de São Lourenço onde é cultivado grandes vinhas ao redor de piscinas naturais (AÇORES, 2016d)

Na ilha de Santa Maria, do ponto de vista das atividades econômicas de maior relevância, denota-se a predominância da agricultura e em especial, a pecuária como sendo as atividades de maior produtividade. Isto deve-se em especial, no caso da pecuária, à condições e peculiaridades favoráveis à produção de extensas pastagens conducentes a uma boa criação de gado, tanto para abate quanto para consumo. Apesar disso, a agropecuária apresenta riscos considerados iminentes no que diz respeito a contaminação de solos e o seu esgotamento, que tem como consequência a deterioração da qualidade da água. (SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR, 2010)

Em termos de produtividade, é dominante a criação de bovinos e aves, no contexto agropecuário, sendo o bovino o de maior interesse da ilha para produção de carne e leite.

A produtividade agrícola da ilha, nomeadamente o trigo e o milho, são tidos como uma atividade bastante reduzida, sendo cada vez mais encarada como um meio de subsistência ou consumo próprio.

Em virtude das características climáticas de Santa Maria, bem como dos seus solos férteis, destaca-se o desenvolvimento de culturas hortifrutíferas, nomeadamente meloa, banana e

laranja, que permite atingir produtividades elevadas. Contudo, a área destinada às atividades destas produções agrícolas vem diminuindo pela metade.

A pesca na ilha tem vindo a diminuir, deixando de ser uma atividade de grande relevância do ponto de vista econômico e passou a ser explorada de forma artesanal. (SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR, 2010)

4.2.2. SETOR ENERGÉTICO

O sistema eletro produtor da ilha de Santa Maria é constituída por 2 fontes de energia, um parque eólico e uma termoelétrica a diesel, que juntas fornecem até 8407 kW, conforme a Tabela 12.

Tabela 12 − Centrais geradoras de energia em Santa Maria (Adaptado da ELETRICIDADE DOS AÇORES (EDA), 2015, p.18)

Centrais de Geração de Energia					
Sigla	Nome	Fonte Primária	Grupos Geradores		
			Tensão de Geração (kV)	Unidades	Potência Instalada (kW)
CTAR	Aeroporto	Térmica - Diesel	6	5	6407
			0,4	1	500
PEFG	Figueiral	Eólica	0,4	5	1500
Total	-	-	-	11	8407

A população local é estimada em 5.547 habitantes que totalizam 3.781 consumidores (EDA 2016). No entanto o uso de energia para fins doméstico representa apenas 32,4% do consumo de Santa Maria. Os setores do comércio e indústria são os maiores consumidores, e representam cerca de metade da carga instalada no sistema de distribuição. A distribuição do consumo anual na ilha está representada no Gráfico 2.

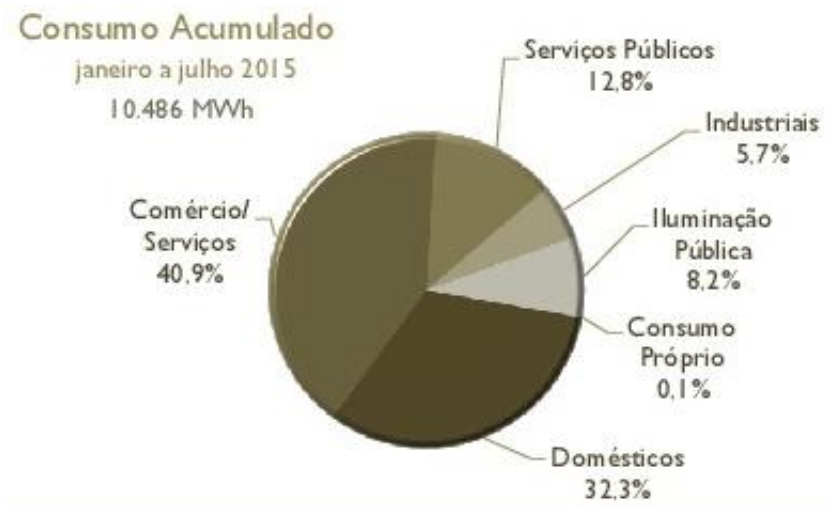


Gráfico 2 Consumo acumulado em MWh pelos diversos setores da sociedade na Ilha de Santa Maria (EDA, (2016 p.6))

A rede de distribuição utiliza linhas subterrâneas e aéreas, operando em 10kV. São responsáveis por realizar o despacho das usinas geradoras, bem como interligar as subestações elevadoras, conforme a Figura 12.

O Consumo da ilha ao longo do ano de 2015 manteve-se estável nos períodos de ponta e em vazio (fora de ponta), sendo que em julho e agosto, meses que correspondem ao verão português, os gráficos indicam um aumento do consumo de energia nos dois períodos, conforme Gráfico 3. Numa projeção que considera os 3 últimos anos, pode ser verificado que não há grandes alterações quando se comparam os 12 meses do ano, mostrado no Gráfico 3.

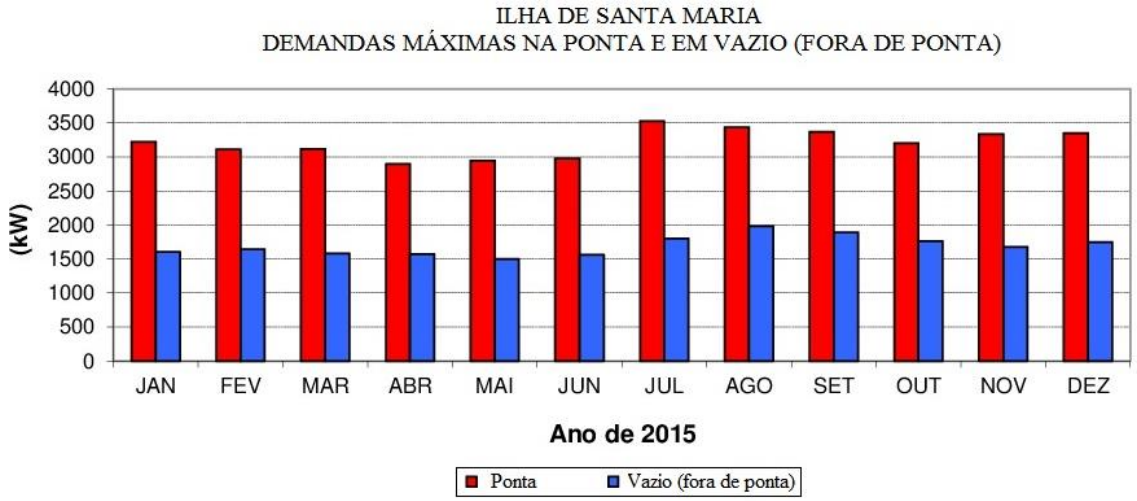


Gráfico 3 Consumos na ponta e fora de ponta ao longo do ano de 2015 na Ilha de Santa Maria

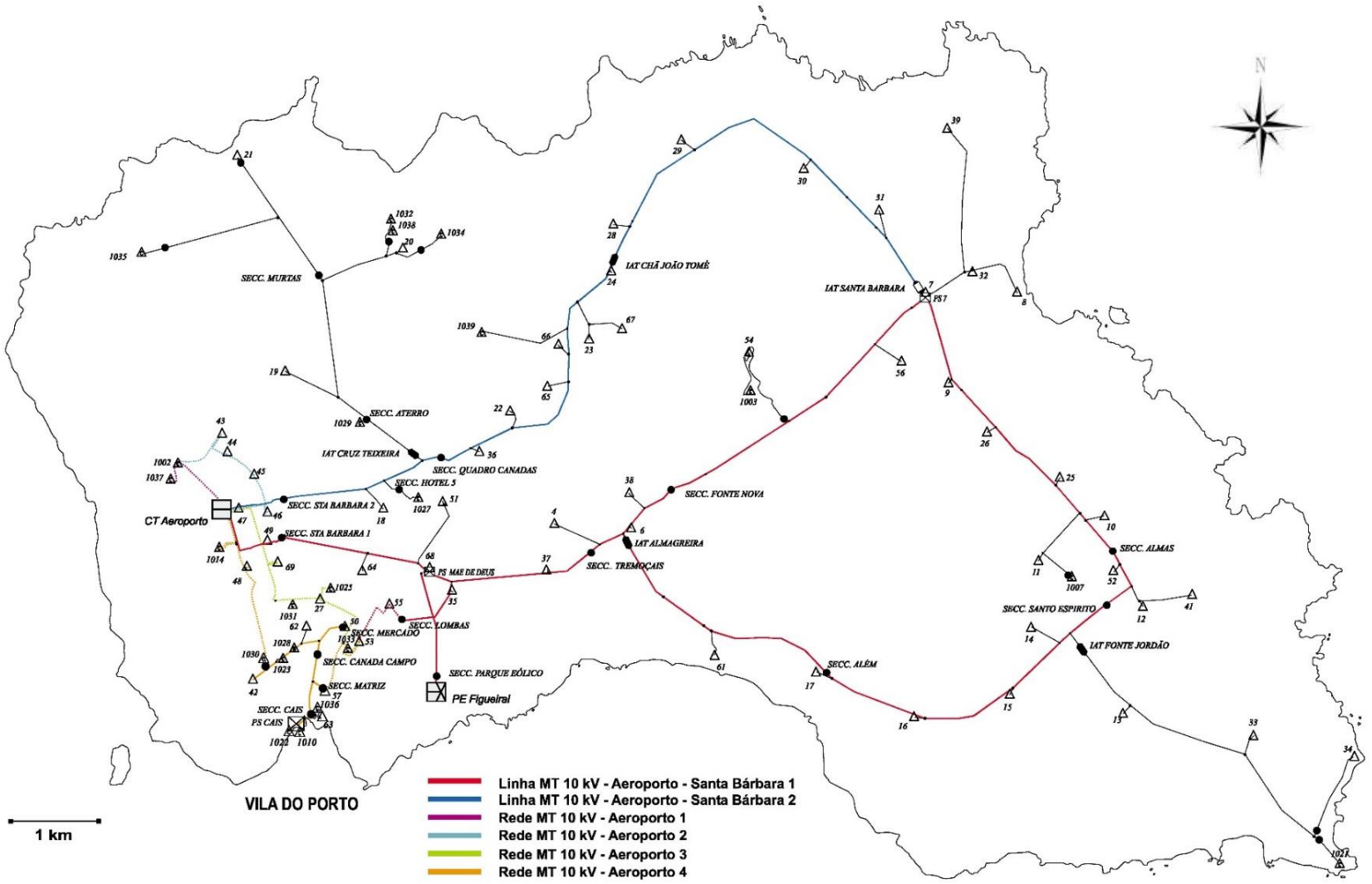


Figura 12 Rede de Distribuição de energia em Santa Maria (EDA, 2015 p.322)

Tabela 13 – Evolução do consumo de energia na ponta e fora de ponto entre 2013 e 2014 em Santa Maria (Adaptado da EDA, 2015)

Evolução das demandas nos horários de Pontas e Fora de Ponta Mensais (kW) - Situação em 31 de dezembro de 2015												
Ponta	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2013	3.346	3.232	3.258	2.981	3.029	3.137	3.387	3.750	3.383	3.487	3.279	3.427
2014	3.143	3.312	3.215	3.126	2.989	3.072	3.279	3.500	3.238	3.282	3.230	3.310
2015	3.223	3.108	3.120	2.900	2.946	2.979	3.525	3.438	3.370	3.203	3.338	3.350
Fora de Ponta	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2013	1.700	1.775	1.614	1.604	1.601	1.688	1.836	2.050	2.029	1.907	1.681	1.794
2014	1.635	1.652	1.583	1.635	1.655	1.650	1.769	1.931	1.790	1.765	1.643	1.621
2015	1.603	1.643	1.580	1.574	1.500	1.562	1.800	1.979	1.893	1.761	1.677	1.749

4.3. ILHA DE SÃO MIGUEL

4.3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ILHA

São Miguel é considerada umas das sete maravilhas naturais de Portugal, onde desembocam dois rios com tonalidades diferentes, verde e azul como mostrado na Fotografia 8. É a maior ilha do arquipélago dos Açores, com dimensões territoriais de 759,41km^2 e com a maior população, de aproximadamente 137.699 habitantes. (AÇORES, 2016a).

Fotografia 8 Bacia das Sete Cidade: encontro dos rios de duas tonalidades (Açores, 2016b)

A posição geográfica da ilha de São Miguel facilitou o descobrimento da ilha entre 1427 e 1431, pois está localizada a aproximadamente 81 km de Santa Maria, a primeira ilha a ser povoada nos Açores.

A beleza exuberante chama a atenção sobre a ilha, na qual destacam-se duas montanhas separadas por um plano de altitude inferior, a paisagem formada pelos prados e vegetação plantada a ribeira, reforça o nome de Ilha Verde, dada a São Miguel.

Na ilha de São Miguel, as explorações de gados de leite, prevalecem com valores superiores à média das outras ilhas dos Açores. Outas atividades importantes são a policultura agropecuária e cultivo diversas culturas agrícolas. (SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR, 2011)

Os citrinos, os frutos tropicais (ananás) e o chá, são as culturas com maior importância na ilha e que apesar de não existirem dados referentes ao número de explorações e áreas de

cultivo, tem uma grande relevância económico e social. Esta atividade engloba uma área da costa norte da ilha, onde estão localizadas duas fábricas de chá, únicas na Europa, a Gorreana e a Porto Formoso.

Na ilha de São Miguel a cultura principal é a do milho para forragem e batata, como cultura temporária, cujo elevado número de geração deve-se à exploração em bovinos de leite. O subsetor carnes está fortemente concentrado em São Miguel. (SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR, 2011).

A produção de beterraba sacarina na ilha, com fim industrial, é exclusiva nos Açores e atinge entre 20 e 90 toneladas de produtividade por hectares, atualmente. A beterraba concede às indústrias do açúcar e do álcool matéria-prima, assim como subprodutos para forragem, cuja importância na pecuária é vasta, sendo esta última a atividade predominante na Região. (SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR, 2011).

A fabricação de alimentos destinados ao consumo de animais, a transformação de cereais e a produção de óleos e sabões estão fortemente presentes na ilha de São Miguel e na Ilha de Terceira, destinada sobretudo aos mercados locais. A produção de cimento, relativa ao setor da construção, constitui-se da fabricação de outros produtos minerais de relevância econômica e social. (SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR, 2011).

São Miguel possui uma gastronomia riquíssima, na qual está presente variedades de peixes, crustáceos além de carne de gado. As frutas exóticas cultivadas em solo açoriano permitem a fabricação de licores de abacaxi ou ananás, anona ou fruta do conde e maracujá.

4.3.2. SETOR ENERGÉTICO

O sistema eletroprodutor de energia é diversificada, a produção de energia é obtida através de sistemas hídricos, parques eólicos, centrais geotérmicas e termoelétricas a óleo combustível, conforme relacionado na Tabela 14.

Tabela 14 – Centrais geradoras de energia em São Miguel (Adaptado da EDA, 2015)

Centrais de Geração de Energia					
Sigla	Nome	Fonte Primária	Grupos Geradores		
			Tensão de Geração (kV)	Unidades	Pot. Instalada (kW)
CTCL	Caldeirão	Térmica – Óleo Combustível	11	4	67.280
			6,3	4	30.784
CGRG	Ribeira Grande	Geotérmica	10	4	16.600
CGPV	Pico vermelho	Geotérmica	11	1	13.000
PEGR	Graminhais	Eólica	0,4	10	9.000
CHTN	Túneis	Hídrica	6	1	1.658
CHTB	Tambores	Hídrica	0,4	1	94
CHFN	Fábrica Nova	Hídrica	3	1	608
CHCN	Canário	Hídrica	0,4	1	400
CHFR	Foz da Ribeira	Hídrica	0,4	1	800
CHRP	Ribeira da Praia	Hídrica	0,4	1	800
CHSC	Salto do Brito	Hídrica	0,4	1	670
Total	-	-	-	30	141.694

A rede de transmissão conecta o sistema eletroprodutor às subestações elevadoras, que elevam a tensão para dois valores padronizados: em média tensão (MT) de 30kV, e em alta tensão (AT) de 60kV. Ver Figura 13. A legenda está na Tabela 15 (dados da rede).

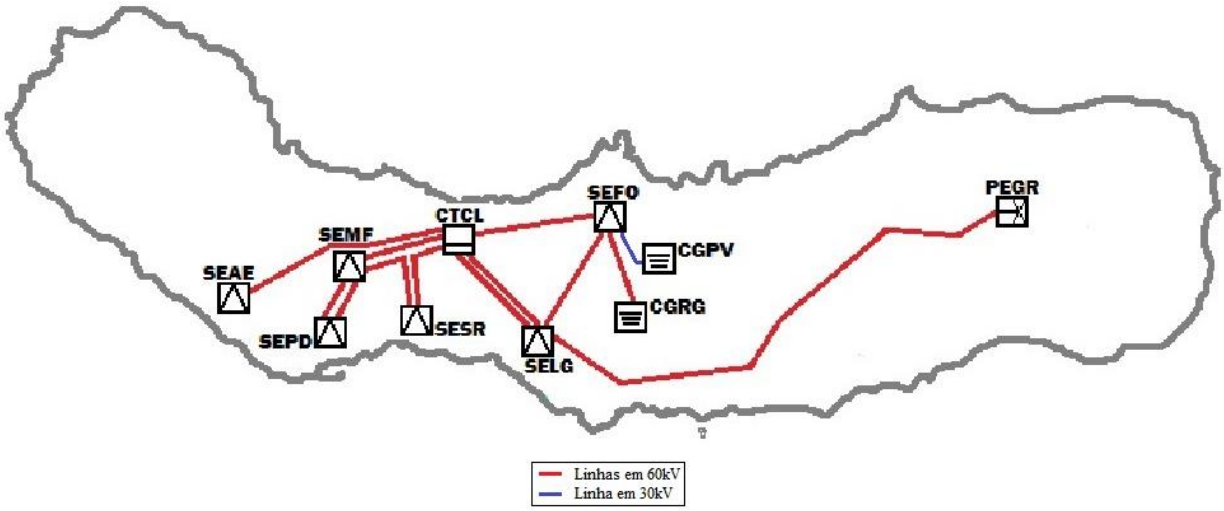


Figura 13 Rede de transporte de energia da Ilha de São Miguel (EDA,2015, p.307)

Tabela 15 − Rede de Transporte de São Miguel (Adaptado da EDA, 2015)

REDE DE TRANSPORTE AT/MT					
Sigla	Designação	Tensão (kV)	Extensão da Rede (km)		
			Aérea	Subt.	Total
CTCL-SEAE	Caldeirão - Aeroporto	60	9,37	-	9,37
SEPD-SEMF	Ponta Delgada - Milhafres 1	60	2,00	-	2,00
SEPD-SEMF	Ponta Delgada Milhafres 2	60	2,00	-	2,00
CTCL-SEMF	Caldeirão - Milhafres	60	5,65	-	5,65
CTCL-SESR	Caldeirão - São Roque	60	4,04	-	4,04
SEMF-SESR	Milhafres - São Roque	60	6,45	-	6,45
CTCL-SEFO	Caldeirão - Foros	60	9,95	-	9,95
CTCL-SELG	Caldeirão - Lagoa 1	60	5,68	-	5,68
CTCL-SELG	Caldeirão - Lagoa 2	60	5,68	-	5,68
SELG-SEFO	Lagoa - Foros	60	8,58	-	8,58
PEGR-SELG	Graminhais - Lagoa	60	31,10	-	31,10
CGRG-SEFO	Sogeo - Foros	60	4,53	-	4,53
	Sub-Total Rede AT 60 kV		95,03	-	95,03
SEFO-CCPV	Pico Vermelho - Foros	30	1,58	0,24	1,82
	Sub-Total Rede MT 30 kV		1,58	0,24	1,82
	Total da Rede Transporte AT/MT		96,61	0,24	96,85

Por se a maior ilha em dimensões territoriais e em número de habitantes da Região Autônoma dos Açores, São Miguel representa o maior centro produtor de energia e consequentemente os maiores índices de consumo. A população é estimada em 137.699 habitantes, mais da metade da população dos Açores.

Os setores do comércio e indústria representam mais da metade do consumo de São Miguel, de um total de 62.775 consumidores ligados à rede, enquanto que as residenciais usufruem de um terço do total de energia produzido na ilha. Estes dados podem ser vistos através dos registros do acumulado entre os meses de janeiro e julho de 2016, que está representado no Gráfico 4.

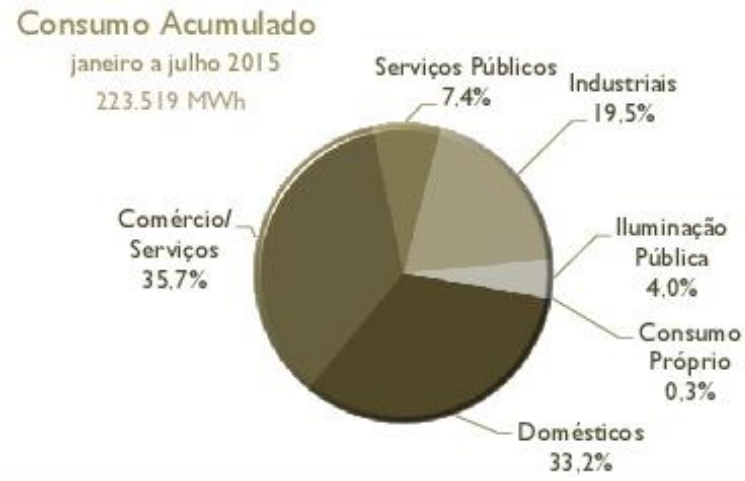


Gráfico 4 Consumo acumulado em MWh pelos diversos setores da sociedade na Ilha de São Miguel (EDA, 2016 p.8)

Nos períodos de ponta e fora de ponta, os registros dos meses de julho e agosto apontam para um maior consumo na ponta, assim como na Ilha de Santa Maria, e isto se explica por serem meses do verão, e em vazio (fora de ponta) os meses de agosto e setembro possuem um consumo maior em comparação com os outros meses do ano, conforme indicado no Gráfico 5. De 2013 a 2015 os registros de consumo se mantém estáveis ao longo do ano, como mostra a Tabela 9.

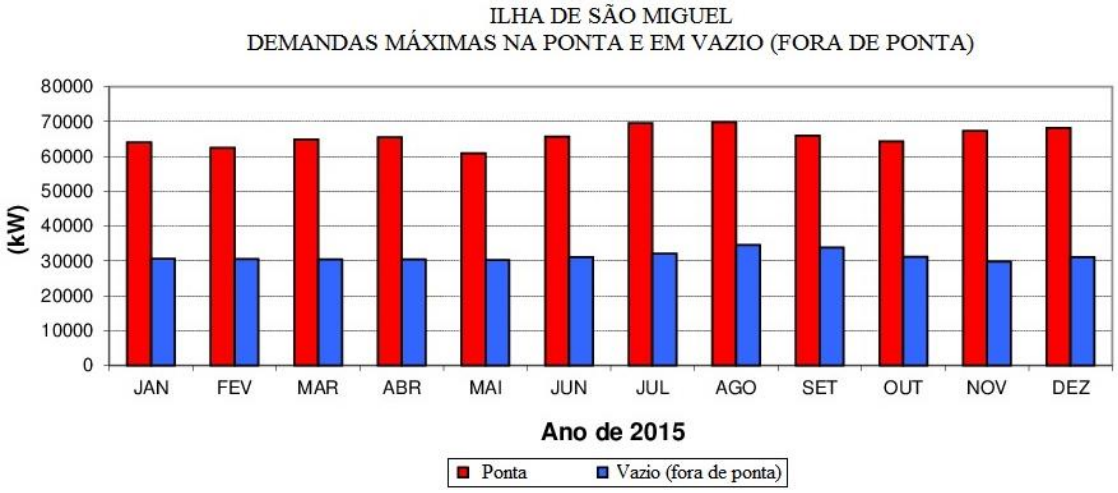


Gráfico 5 Consumos na ponta e fora de ponta ao longo do ano de 2015 na Ilha de São Miguel (EDA, 2015)

Tabela 16 − Evolução do consumo de energia na ponta e em vazio entre 2013 e 2014 em São Miguel (Adaptado da EDA, 2015)

Evolução do consumo nos períodos de Ponta e Fora de Ponta Mensais (kW) - Situação em 31 de dezembro de 2015												
Ponta	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2013	64.70	63.17	63.22	61.13	62.18	60.58	65.43	65.87	65.22	65.37	65.57	70.03
2014	67.32	65.46	61.57	59.82	60.25	63.01	65.87	68.17	67.83	65.43	63.72	67.66
2015	64.05	62.48	64.88	65.55	60.92	65.68	69.54	69.86	66.01	64.35	67.35	68.21
Fora de Ponta	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2013	30.70	29.40	29.82	29.42	28.56	29.27	30.11	32.96	33.45	32.31	30.95	30.90
2014	30.76	30.45	29.91	30.05	29.35	29.95	32.37	34.60	32.72	30.70	30.08	31.46
2015	30.71	30.60	30.46	30.48	30.29	31.18	32.09	34.65	33.87	31.21	29.80	31.16

4.4. ILHA DO MEL - BRASIL

4.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ILHA

A ilha do Mel é uma reserva ecológica tombada desde 1975, e recebe o título de patrimônio arqueológico, etnográfico e paisagístico. Está localizada na cidade de Paranaguá, no estado do Paraná, cercada por outras ilhas de pequena extensão, ao norte pela ilha das Peças, a oeste pela ilha da Cotinga. (PARANAGUA, 2016) e (FONSECA NETO, 2015).

Formada a aproximadamente 5 mil anos atrás, após o nível do mar descer consideravelmente, a ilha do Mel é formada por rochas, além de morros e solo arenoso próximo das praias. O ecossistema é composto por restingas e Floresta Atlântica.

Dos 27.6 km^2 de extensão territorial, apenas 2 km^2 tem permissão de uso, e neste pequeno espaço destinado a ocupação humana, a população se divide cinco vilarejos: Fortaleza, Nova Brasília, Farol, Praia Grande e Encantadas, que somadas não passa de 1500 habitantes.

Figura 14 Vilarejos isoladas na Ilha do Mel (REVISTA ILHA DO MEL 2009)

O turismo move economicamente a ilha que oferece vários atrativos aos turistas, são ao todo 19 praias espalhadas, dentre as quais algumas não possuem ocupação humana, é possível realizar trilhas mata adentro até os 8 grandes morros existentes na Ilha do Mel.

Para chegar até ilha é possível embarcar no terminal em Pontal do Sul, distante de barco a 30 min, para quem está se deslocando do Sul, ou pelo município de Paranaguá, a 90 min também de barco, para os turistas que chegam pelo norte do Paraná. Aos que acessam de fora do estado, há opção de vir de avião até a Curitiba, capital do Paraná e seguir até aos terminais de embarque já mencionados.

Porém o acesso ao turismo é restrito a 5000 pessoas por dia, além de ser proibido a circulação de carros, e desta forma o turista necessariamente é obrigado a deixar o carro nos estacionamentos dos terminais do continente pelo que a circulação de pessoas na ilha é feita a pé ou de bicicleta.

4.4.2. SETOR ENERGÉTICO

Até o ano de 1988 as ilhas paranaenses situadas na baia de Paranaguá, não tinham acesso à energia elétrica. O primeiro passo em prol de fornecer energia foi através de um sistema isolado a base de geradores a diesel. Este recurso, porém, não supria a necessidade dos habitantes, e por isto o sistema de alimentação funcionava apenas das 7 horas da manhã às 2 horas da madrugada.

A fim de resolver o problema de falta de energia, deu-se início o lançamento do primeiro cabo subaquático pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), em 1998 que interligava Pontal do Sul a Ilha do Mel, e um outro cabo que conecta Ilha das Peças a Superagui. Um cabo subterrâneo foi colocado na Ilha das Peças para conectar os dois trechos de cabo subaquático e assim realizar a transmissão entre a subestação do continente para as três ilhas. Vide Figura 15.

Uma segunda fase de ampliação do sistema de distribuição de energia, deu-se em 2012 com o projeto que visava energizar as ilhas do Mel, Superagui e Peças em forma de anel. Nesta configuração, as ilhas recebem energia do continente através da Subestação de Guaraqueçaba e Pontal do Sul, em havendo problemas de transmissão por um dos caminhos, o fornecimento de energia não é interrompido.

Figura 15 Projeto de modernização do fornecimento de energia as ilhas paranaenses (Adaptado de Fernandes 2016)

Esta nova etapa do projeto além de melhorar a confiabilidade do sistema elétrico, uma vez que oferece duas opções de fornecimento de energia, também pôde ampliar o atendimento a outros 170 consumidores, que sob condições precárias utilizavam geradores próprios.

Em 2013 foi realizada a modernização de alguns trechos, como a substituição de cabos subterrâneos na Ilha das Peças, e a ampliação das subestações adjacentes.

A segunda fase do projeto, que inclui as trocas de cabos subterrâneos e a alimentação das Ilhas pela Subestação de Guaraqueçaba foi executada em um prazo de 16 meses, e algumas dificuldades na execução do projeto se deve ao longo trecho de travessia de cabos subaquáticos, cerca de 23 km, para o qual foi necessário a colaboração de 3 empresas e 50 pessoas (Fotografia 9 e Fotografia 10). (AEN.PR, 2012).

Fotografia 9 Lançamento do cabo subaquático em torno da Ilha das Peças (FERNANDES, 2016)

Fotografia 10 Posicionamento do cabo subaquático em torno da Ilha das Peças(FERNANDES, 2016)

O consumo das ilhas é relativamente baixo, e as demandas praticamente se mantém constantes ao longo do ano. Exceto a Ilha do Mel que recebe muitos turistas nas festas de final de ano e no mês de fevereiro, durante o carnaval. Os dados de consumo nas ilhas estão na Tabela 17.

Tabela 17 – Dados estimados do consumo das ilhas (FERNANDES, 2016)

	Demanda Máxima
Ilha do Mel	600 kW
Ilha das Peças	100 kW
Ilha de Superagui	95 kW
	795 kW

5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram simulados dois casos, após o dimensionamento e a modelagem dos dois sistemas em estudo: a implantação da transmissão feita pela COPEL (2016) e também a proposta de interligação de algumas ilhas dos Açores.

Para a escolha dos cabos elétricos do HVDC, foi utilizado o critério de dimensionamento pela capacidade de condução de corrente.

A modelagem foi feita utilizando o software *Matlab* versão 2015 b pois contém todos os blocos de circuitos necessários para a análise dos fenômenos que ocorrem na rede.

5.1. SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE ALTERNADA (AC) PARA A ILHA DO MEL

A modelagem do circuito foi baseada nos dados fornecidos pelo Engenheiro Marcelo (FERNANDES, 2016) que se encontram na Tabela 18 e o fluxo de potência transmitida está mostrado na Figura 16

Tabela 18 – Características da linha de transmissão utilizado na interligação da Ilha do Mel a Pontal do Sul (FERNANDES, 2016)

Características da linha de transmissão subaquática da Ilha do Mel da COPEL		
1	Tensão eficaz entre fase e terra (kV)	19.92
2	Tensão eficaz entre fases (kV)	34,5
3	Máxima tensão eficaz entre fases em condições normais de operação (kV)	35
4	Nível básico de impulso - BIL (kV)	125
5	Resistência CC do condutor à 20ºC (Ω/km)	0,270
6	Resistência CC do condutor à máxima temperatura de 90ºC (Ω/km)	0,3417
7	Resistência elétrica de sequência positiva / negativa à máxima temperatura (Ω/km)	0,342
8	Resistência elétrica de sequência zero (Ω/km)	0,685
9	Reatância indutiva de sequência positiva / negativa (Ω/km)	0,179
10	Reatância indutiva de sequência zero (Ω/km)	0,0697
11	Capacitância (µF/km)	0,1805
12	Capacidade de condução de corrente (A):	248

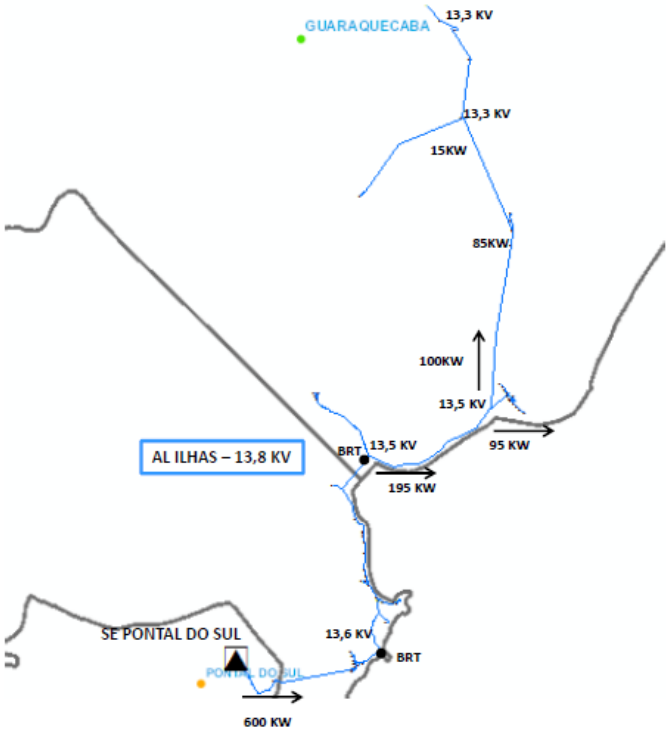


Figura 16 Fluxo de Potência a partir da Subestação de Pontal do Sul (FERNANDES, 2016)

5.1.1. DIMENSIONAMENTO DO CABO

A potência máxima solicitada pela carga é de 795 kW e foi transmitida no nível de tensão de 13,8kV (um dos valores padronizados no Brasil) que é o mesmo nível de tensão da subestação terrestre.

A carga máxima transportada pelo cabo é de 795 kW, considerando as demandas da Ilhas do Mel, das Peças e do Superagui, a corrente calculada é de 36,15 A. (Equação 10)

$$|\boldsymbol{I}| = \frac{|S|}{\sqrt{3}V} = \frac{|(795+j338.3)X\ 10^3|}{\sqrt{3}x\ 13.8\ \text{x}\ 10^3} = 36{,}15\ \text{A} \tag{10}$$

Pelo método de queda de tensão aproximada é possível verificar em qual trecho da linha a tensão cai abaixo do permitido pela norma. O PRODIST (módulo 8) estabelece um limite de queda de tensão de 7 % para a faixa considerada ADEQUADA em 13,8 kV. (ANEEL, 2016).

$$\boldsymbol{coef} = \frac{r\cos\varphi + x\sin\varphi}{V^2} \times 100 \tag{11}$$

$$\boldsymbol{coef} = \frac{0{,}342\times 0{,}92 + 0{,}179\ \text{x}\ \sin(\cos^{-1}(0,92))}{13.8^2} \times 100 = 0{,}202 \tag{12}$$

$$\Delta\boldsymbol{v}(\%) = coef \times l \times S \tag{13}$$

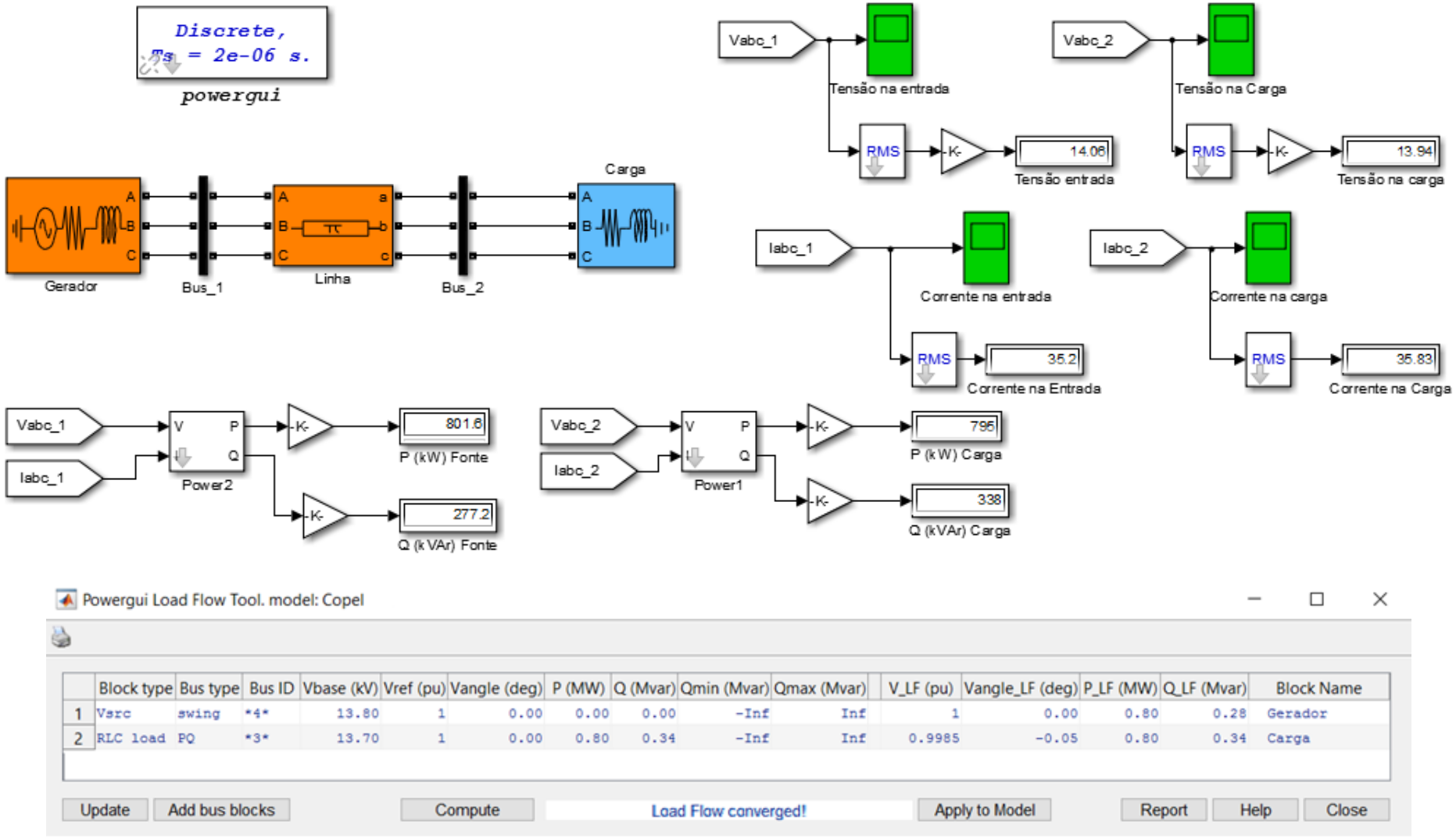
$$l = \frac{0{,}93}{0{,}202\times 0{,}864} = 5{,}35\ km \tag{14}$$

O cabo subaquático utilizado tem comprimento de aproximadamente 5 km, saindo da subestação em Pontal do Sul, no continente.

Os parâmetros utilizados na modelagem da linha foram os dados do cabo do projeto.

O circuito modelado em AC no Matlab e o cálculo do fluxo de potência estão representados no Circuito 8.[1]

[1] As citações (NASCIMENTO, 2016) referem-se à autora Renata Silva do Nascimento.



Circuito 8 Circuito AC da transmissão subaquática da Ilha do Mel e o cálculo do *load flow* (NASCIMENTO, 2016)

Neste circuito, a subestação Pontal do Sul no continente, foi modelada como uma barra infinita, representado por uma fonte de tensão de 13,8 kV com um limite de corrente de curto-circuito de 1000 MVA.

Na simulação do cálculo do fluxo de potência (*load flow*) a tensão da fonte foi ajustada (como se ajustasse o TAP do transformador na subestação) para garantir a transmissibilidade da potência, como mostrado na Figura 17.

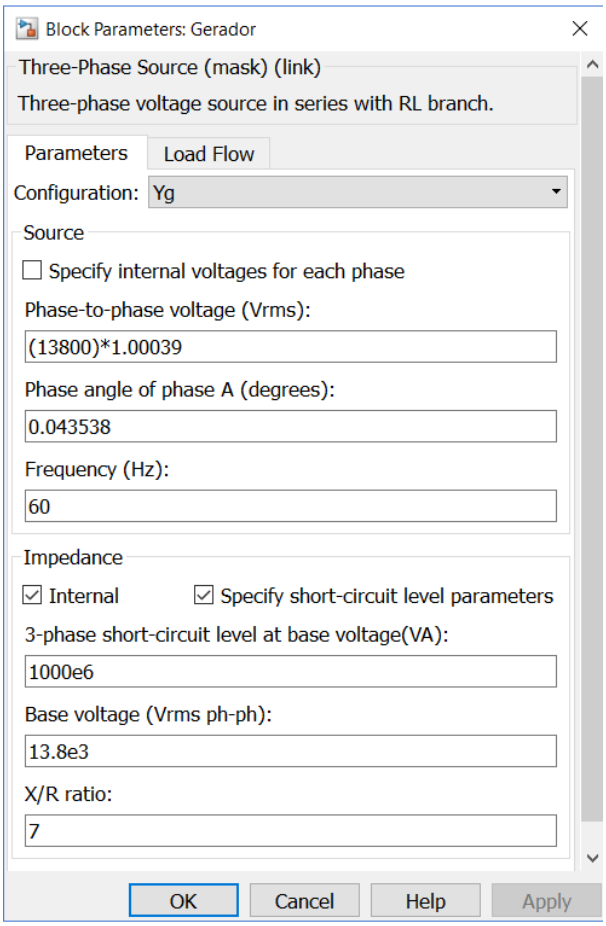


Figura 17 Ajuste da tensão na fonte pelo cálculo do *load flow* (Nascimento, 2016)

Desta forma, a corrente e a tensão na carga ficaram em níveis adequados, de acordo com o PRODIST módulo 8 (ANEEL, 2016). (Gráfico 6).

A potência na carga foi totalmente transferida, como mostra a Figura 18.

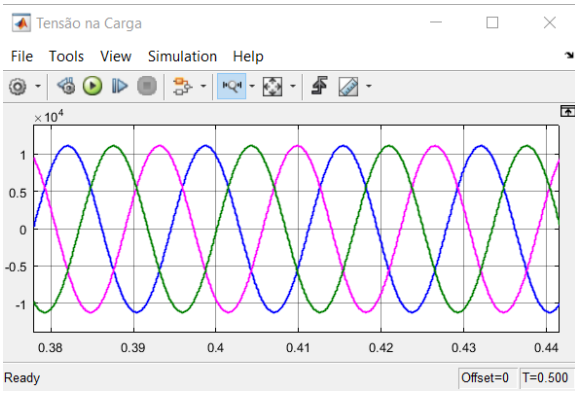


Gráfico 6a – Tensão na carga em AC

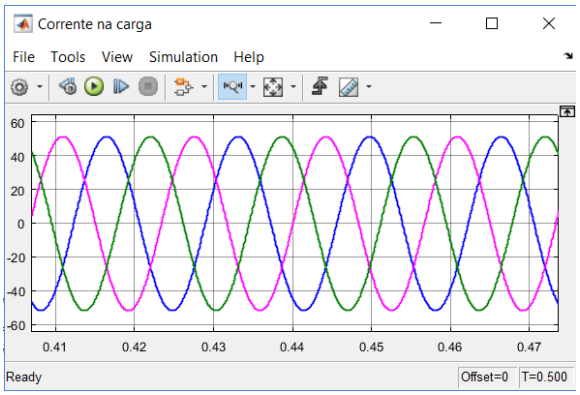


Gráfico 6b Corrente na carga em AC

Gráfico 6 Tensões e correntes na carga da Ilha do Mel com transmissão AC (NASCIMENTO, 2016)

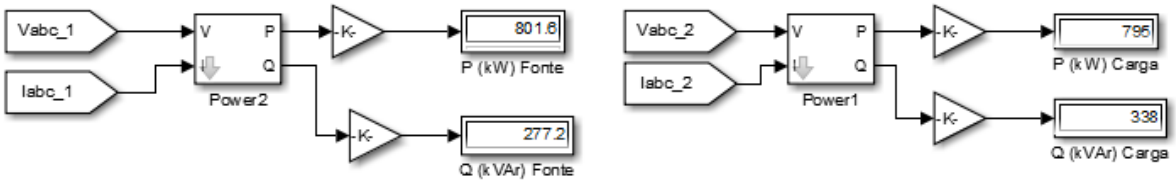


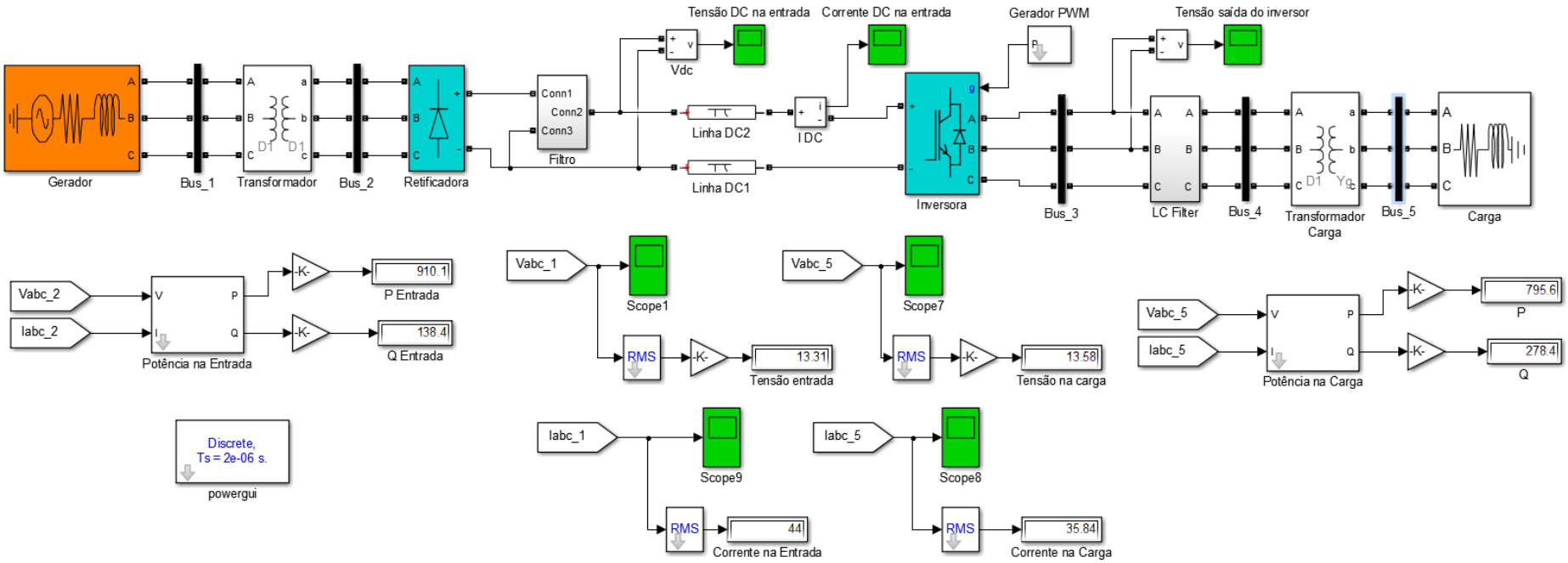
Figura 18 Potência medida na entrada da linha e na carga na Ilha do Mel em AC (NASCIMENTO, 2016)

Observa-se que o cabo subaquático tem uma característica predominantemente capacitiva, pois a potência reativa solicitada da fonte foi menor que a realizada na carga. A perda de potência ativa na linha pode ser calculada pela diferença entre a potência medida na entrada e a potência medida na carga. Portanto, neste caso, a perda é de 6,6 kW como calculado na equação 15.

$$Perda_{AC-Mel} = 801{,}6 - 795 = 6{,}6\ kW \quad (15)$$

5.2. SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA (DC) PARA A ILHA DO MEL

Para analisar a escolha do tipo de sistema mais adequado para as transmissões (AC ou DC), foi modelado o mesmo sistema em HVDC (Circuito 9), baseando-se, neste caso em dados de fabricantes que têm implementado estes sistemas principalmente na Europa (SIEMENS e ABB, 2016).



Powergui Load Flow Tool. model: copel_DC

	Block type	Bus type	Bus ID	Vbase (kV)	Vref (pu)	Vangle (deg)	P (MW)	Q (Mvar)	Qmin (Mvar)	Qmax (Mvar)	V_LF (pu)	Vangle_LF (deg)	P_LF (MW)	Q_LF (Mvar)	Block Name
1	RLC load	PQ	*2*	13.80	1	0.00	0.80	0.34	-Inf	Inf	0	0.00	0.00	NaN	Carga
2	RLC load	Z	*4*	13.80	1	0.00	0.00	-0.36	-Inf	Inf	0	0.00	0.00	0.00	LC Filter/...
3	Vsrc	swing	*6*	13.80	1	0.00	0.00	0.00	-Inf	Inf	1	0.00	0.10	0.08	Gerador
4	Bus	-	*7*	14.80	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9999	-0.01	0.00	0.00	Transformador

Update | Add bus blocks | Compute | Load Flow converged! | Apply to Model | Report | Help | Close

Circuito 9 Modelagem da transmissão da Ilha do Mel em DC (NASCIMENTO, 2016)

Neste caso, o ajuste de tensão na entrada da linha foi feito por um transformador, que também fez o papel de filtro das harmônicas que o sistema retificador injeta na linha. Mesmo ajustando a tensão na entrada, a tensão na carga ficou um pouco abaixo da nominal (13,58 kV) mas, ainda em nível adequado, de acordo com o PRODIST módulo 8 (ANEEL, 2016). Os valores da tensão e corrente na carga estão mostrados no Gráfico 7.

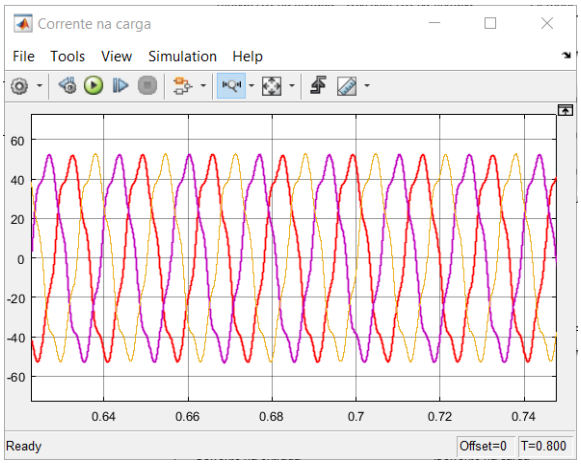


Gráfico 7a – Tensão na carga em DC

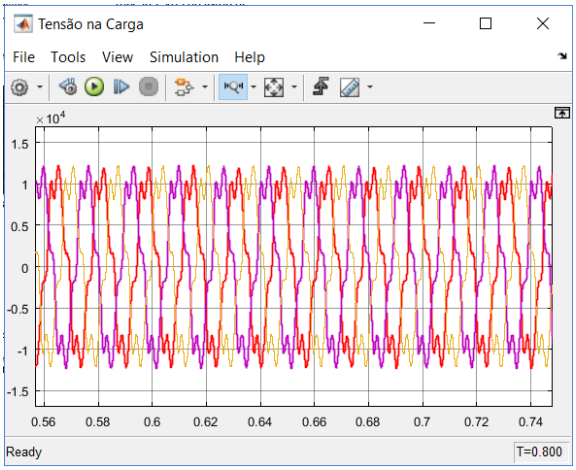


Gráfico 7b – Corrente na carga em DC

Gráfico 7 Tensões e correntes na carga da Ilha do Mel com transmissão DC (NASCIMENTO, 2016)

Observa-se distorção nas formas de onda da tensão e da corrente devido à presença de harmônicas que o sistema conversor AC/DC/AC injeta na linha. Foi dimensionado um filtro passivo que não foi suficiente para retirar as frequências harmônicas da rede mantendo a potência transferida à carga. Aumentando-se a capacidade do filtro, é possível retirar as harmônicas geradas, como mostrado no Gráfico 8. Porém o consumo de potência deste tipo de filtro é alto. Seria necessário projetar um filtro ativo, que não faz parte do escopo deste trabalho.

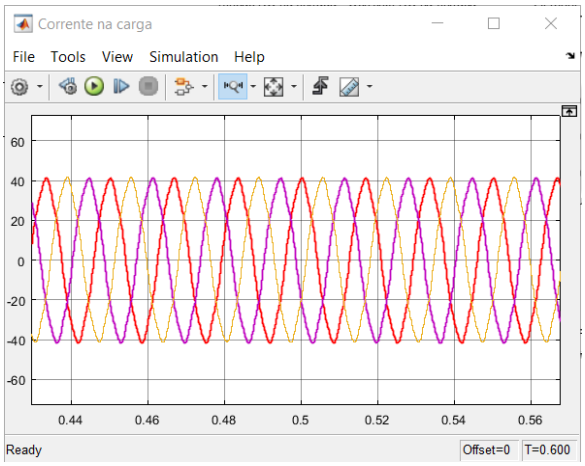


Gráfico 8a – Tensão na carga em DC com filtro

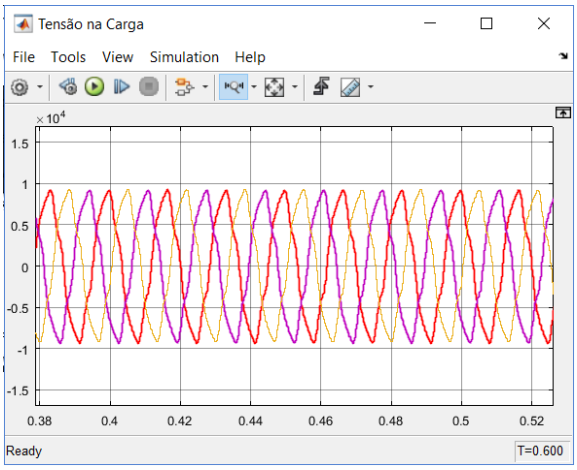


Gráfico 8b – Corrente na carga em DC com filtro

Gráfico 8 Tensões e correntes na carga com transmissão DC com filtro DC (NASCIMENTO, 2016)

Mesmo com as formas de onda um pouco distorcidas, foi possível fazer a transmissão em corrente contínua (DC). A potência foi transferida à carga está representada na Figura 19.

Figura 19 Potência medida na entrada da linha e na carga na Ilha do Mel em DC (NASCIMENTO, 2016)

Com o filtro na linha, mesmo com um reator ligado em série, o banco de capacitores fez uma compensação dos reativos para a carga (de 338 kVAr passou para 278,4 kVAr). Mesmo assim, a potência reativa solicitada da fonte foi menor que a realizada na carga.

A perda de potência ativa na linha pode ser calculada pela diferença entre a potência medida na entrada e a potência medida na carga. Portanto, neste caso, a perda calculada foi de 114,5 kW. (Equação 16).

$$Perda_{DC-Mel} = 910{,}1 - 795{,}6 = 114{,}5\ kW \qquad (16)$$

Observa-se que para um comprimento de linha de 5 km e tensão de 13,8 kV a transmissão AC se mostra mais vantajosa, sem levar em consideração o custo do investimento.

De acordo com a COPEL, o custo deste investimento em AC pode ser estimado ao analisar o projeto de modernização feito nos anos de 2012 e 2013 na qual inclui a substituição de trechos subterrâneos, e a construção de linhas aéreas e subaquáticas, vide Figura 15. O investimento financeiro aplicado a obra gira em tornor de R$ 26,89 milhões, este valor resulta num custo aproximado de R$ 648,8 /m, ao considerar o trajeto feito pelos cabos que perfazem 44,525 km.

Ao considerar apenas a infraestrutura da rede subaquáticas o valor foi de R$ 16,29 milhões, o que representa um custo de R$ 693,/m, conforme pode ser verificado na Tabela 19. É possível prever que, para que esta transmissão seja feita em DC, o custo seria mais alto, devido aos equipamentos necessários.

Tabela 19 – Custos referentes ao projeto de interligação das ilhas paranaenses (FERNANDES, 2016)

Serviços e equipamentos	
Custo da obra completa	**R$ 26.888.000,00**
Custo total - Linha subaquática	**R$ 16.290.000,00**
Cabos + Instalação	R$ 14.460.000,00
Demais serviços	R$ 1.830.000,00
Custo total - Linha subterrânea	**R$ 10.598.000,00**
Cabos de RDI - Rede Aérea Isolada	R$ 1.435.000,00
Obra Eletromecânica enterrada	R$ 8.273.000,00
Demais serviços	R$ 890.000,00
Extensão	44.525 m
Transformadores	3 x 10kVA + 1 x 15kVA + 1 x25 kVA + 8 x 45kVA
Chaves e Cubículos	4 unidades
Painéis de Emenda	3 unidades.
Cabo subaquático	23.500 m
Cabos subterrâneos	15.100 m
Cabos da Rede aérea isolada	2.800 m
Cabos da Rede aérea compacta	3.125 m

5.3. SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE ALTERNADA (AC) PARA OS AÇORES

A corrente calculada para esta transmissão de potência é de 33,68 A, calculada na equação 18.

$$|\boldsymbol{I}| = \frac{\boldsymbol{S}}{\sqrt{\boldsymbol{3}}\times\boldsymbol{V}} \tag{17}$$

$$\boldsymbol{I} = \frac{|3{,}5+j1|\times10^{6}}{\sqrt{3}\times60\times10^{3}}=35{,}03\text{ A} \tag{18}$$

Caso fosse projetado um circuito aéreo, o menor cabo utilizado seria o cabo de bitola 4 AWG, que tem ampacidade de 110 A mas é utilizado para projetos no Brasil para no máximo 82 A. O coeficiente unitário de queda de tensão para este cabo, nesta tensão e, com fator de potência unitário, é de 0,0425, que é o valor tabelado pela EDP – Bandeirante no Brasil (EDP, 2016).

A queda de tensão pode ser calculada pela expressão 13. Deve-se calcular então a potência aparesnte s (equação 19)

$$\text{s} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3{,}5^2 + 1^2} = 3{,}64\text{ MVA} \tag{19}$$

$$\boldsymbol{\Delta}V\% = 0{,}0425\times\ 3{,}64\times82\ = 12{,}6856\% \tag{20}$$

O valor de queda de tensão de 12,6856% excede olimite permitido pelo PRODIST que é de 7%.

No caso da transmissão subaquática, dados os valores do cabo de r=0,13 Ω e L=0,461mH e, considerando um fator de potência de 0,96 (P=3,5 MW e Q=1MVAr). O cálculo do coeficiente unitário de acordo com a equação 11 está na equação 15.

$$\text{coef} = \frac{0{,}13\times0{,}96+\ 0{,}461\ \text{x}\ 10^{-3}+2\times\pi\times50\times\text{sen}15{,}95^{\circ}}{60^{2}}\times100 =\ 0{,}0046\ [\frac{1}{\text{MVA}\times\text{km}}] \tag{21}$$

Portanto, a queda de tensão estimada é de 1,37% (equação 22):

$$\boldsymbol{\Delta}V\% = 0{,}0046\times\ 3{,}64\times82\ = 1{,}37\ \% \tag{22}$$

Após estes cálculos, foi possível admitir que a transmissão subaquática em CA é possível. Apesar da distância, então foi modelado um circuito equivalente ao da COPEL para a transmissão em CA para as ilhas dos Açores (Circuito 10).

5.4. INTERLIGAÇÃO SANTA MARIA A SÃO MIGUEL (AÇORES – AC)

O sistema de transmissão de energia foi dimensionado para a atender a demanda de 3.53 MW da Ilha de Santa Maria, registrado nesta ilha no ano de 2015 conforme mostrado com realce na Tabela 13.

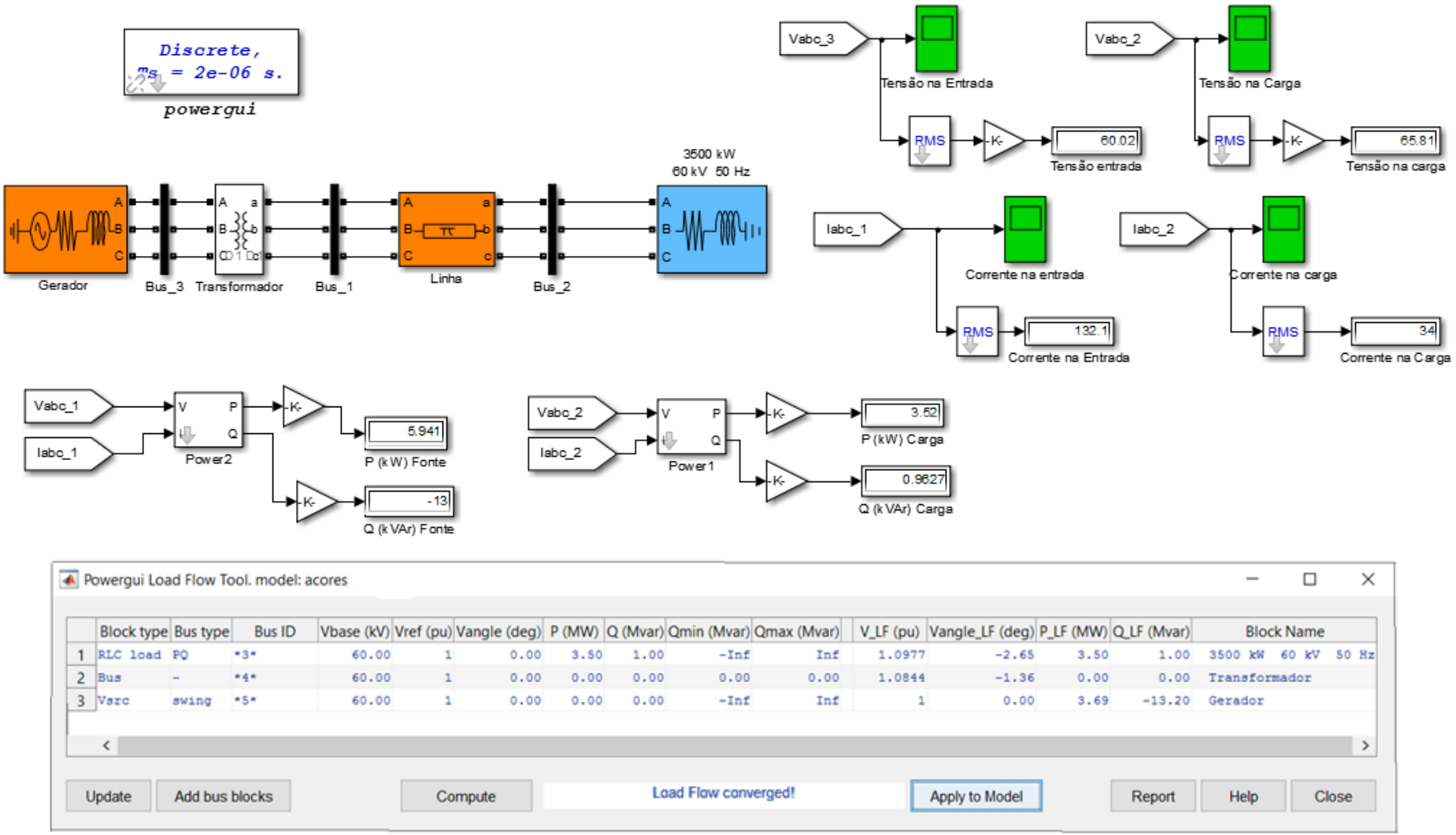
Para o dimensionamento do cabo pela máxima corrente, foi calculada a corrente máxima que a carga solicita na equação 23, que foi de 36,3 A.

$$\boldsymbol{I} = \frac{|3{,}5+j1|\times10^{6}}{\sqrt{3}\times60\times10^{3}}\text{=36,3 A} \qquad (23)$$

Tabela 20 – Padronização dos limites de tensão na rede de transporte (Adaptado da ERSE, 2009, p.4)

Nível de Tensão	**Mínimo**	**Máximo**
Nível de 400 kV	380 kV (95%)	420 kV (105%)
Nível de 220 kV	209 kV (95%)	245 kV (111%)
Nível de 150 kV	142 kV (95%)	165 kV (110%)
Nível de 60 kV	Neste nível de tensão, os valores serão fixados caso a caso, por acordo com a Distribuição, nos termos do Regulamento da Qualidade de Serviço (RQS)	

O trecho de cabo correspondente a travessia aquática possui 81,3 km de comprimento e o trecho em terra possui aproximadamente 1,5 km, totalizando 82,8 km.



	Block type	Bus type	Bus ID	Vbase (kV)	Vref (pu)	Vangle (deg)	P (MW)	Q (Mvar)	Qmin (Mvar)	Qmax (Mvar)	V_LF (pu)	Vangle_LF (deg)	P_LF (MW)	Q_LF (Mvar)	Block Name
1	RLC load	PQ	*3*	60.00	1	0.00	3.50	1.00	-Inf	Inf	1.0977	-2.65	3.50	1.00	3500 kW 60 kV 50 Hz
2	Bus	-	*4*	60.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0844	-1.36	0.00	0.00	Transformador
3	Vsrc	swing	*5*	60.00	1	0.00	0.00	0.00	-Inf	Inf	1	0.00	3.69	-13.20	Gerador

Circuito 10 Circuito AC da transmissão subaquática de Açores e o cálculo do *load flow* (NASCIMENTO, 2016)

Os valores de tensão e corrente na carga observados na simulação estão mostrados no Gráfico 9.

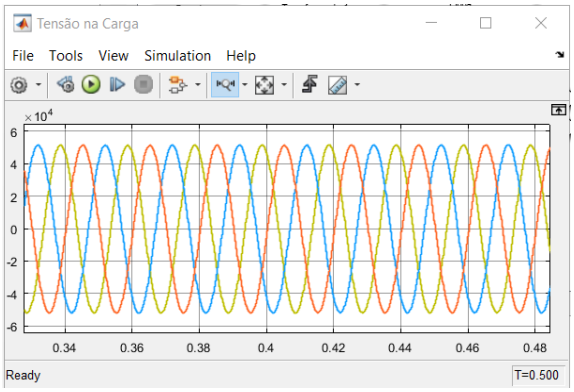


Gráfico 9a – Tensão na carga de Açores em AC

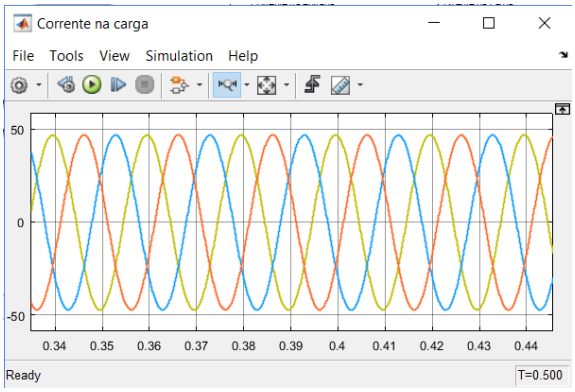


Gráfico 9b – Corrente na carga de Açores em AC

Gráfico 9 Tensões e correntes na carga dos Açores com transmissão AC (NASCIMENTO, 2016)

A potência ativa foi transmitida integralmente à carga e está representada na Figura 20. A potência reativa na carga está muito próxima do valor nominal (1MVA), porém, pode-se observar o forte efeito capacitivo que a linha produz, verificando o valor da potência reativa na entrada da linha que se tornou capacitiva (sinal negativo).

Figura 20 Potência medida na entrada da linha e na carga de Açores em AC (NASCIMENTO, 2016)

A perda de potência ativa na linha pode ser calculada pela diferença entre a potência medida na entrada e a potência medida na carga. Portanto, neste caso, a perda é dada por 2,421 MW, como visto na equação 24.

$$Perda_{AC-\text{Açores}} = 5{,}941 - 3{,}52 = 2{,}421\ \text{MW} \quad (24)$$

5.5. SIMULAÇÃO DA TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA (DC) PARA AÇORES

Considerando que o transporte de energia atenderá a demanda máxima solicitada pela carga que é de 3.53MW no nível de tensão da rede de transporte de São Miguel de 60 kV, o cabo escolhido para a travessia que atende aos seguintes requisitos do projeto está especificado na Fotografia 11 e na Tabela 21.

Fotografia 11 Cabo monofásico da Nexans (NEXANS, 2016, p. 1)

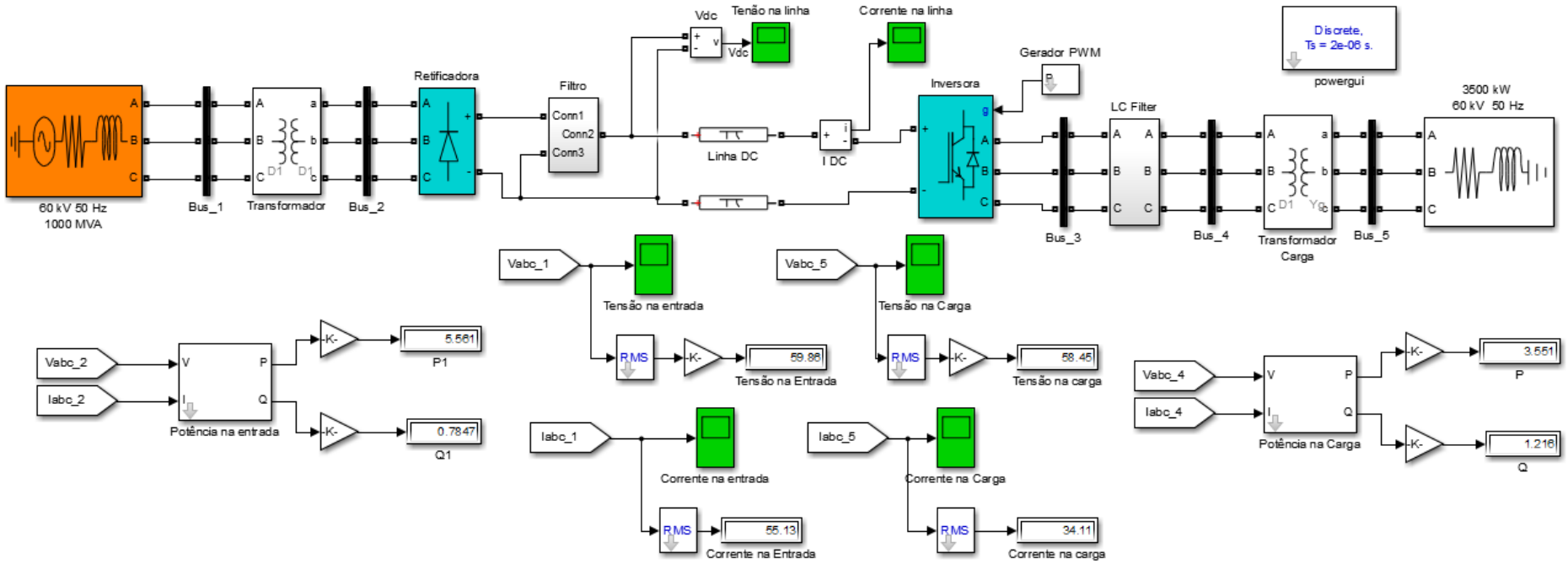
Tabela 21 – Dados elétricos do cabo (NEXANS, 2016)

Frequência	50 Hz
Tensão operacional	64/110 kV
Tensão máxima	123 kV
Maxima resistência DC do condutor a 20º C	0.0991 Ohm/km
Corrente máxima admissível	450 A
Resistencia do condutor A.C. a 50 HZ e a 90ºC	0.13 Ohm/km
Indutancia nominal	0.461 mH/km
Capacidade nominal de fase	0.141 μF / km

Representando uma barra infinita foi utilizado um gerador senoidal trifásico com transformador, representando a fonte de alimentação que vem de São Miguel em 60 kV. Este nível de tensão foi escolhido pois a transmissão na ilha já opera neste valor.

O retificador da modelagem é constituído por três pontes de diodos. Após o retificador foi colocado um reator de alisamento para filtrar o sinal DC e um filtro passivo LC para eliminar as ondulações na forma de onda da tensão e da corrente.

Para converter a tensão continua em alternada foi colocado um inversor com tecnologia IGBT, com apenas três pontes controlado por um gerador PWM. Após a inversão foi colocado um filtro para eliminar os harmônicos produzido pelo gerador PWM e um transformador para adequar a tensão. A simulação de HVDC para Açores foi modelada como mostra o Circuito 11.



Powergui Load Flow Tool. model: teste_acores

	Block type	Bus type	Bus ID	Vbase (kV)	Vref (pu)	Vangle (deg)	P (MW)	Q (Mvar)	Qmin (Mvar)	Qmax (Mvar)	V_LF (pu)	Vangle_LF (deg)	P_LF (MW)	Q_LF (Mvar)	Block Nam
1	Vsrc	swing	*2*	60.00	1	0.00	0.00	0.00	-Inf	Inf	1	0.00	0.06	-0.17	60 kV 50 Hz 1000 MVA
2	Bus	-	*3*	60.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0010	-0.01	0.00	0.00	Transformador
3	RLC load	PQ	*6*	60.00	1	0.00	3.50	1.00	-Inf	Inf	0	0.00	0.00	NaN	3500 kW 60 kV 50 Hz
4	RLC load	Z	*7*	60.00	1	0.00	0.00	-1.20	-Inf	Inf	0	0.00	0.00	0.00	LC Filter/Banco Capac

Update | Add bus blocks | Compute | Load Flow converged! | Apply to Model | Report | Help | Close

Circuito 11 Modelagem da transmissão de Açores em DC (NASCIMENTO, 2016)

Observa-se para a tensão de 60 kV a potência do filtro passivo praticamente não interferiu na transmissão da potência para a carga. Foi possível projetar um filtro que quase retirou totalmente as harmônicas da tensão, ficando somente componentes de mais alta frequência. Já a forma de onda da corrente se apresentou na simulação quase perfeita. Estas formas de onde podem ser vistas no Gráfico 10

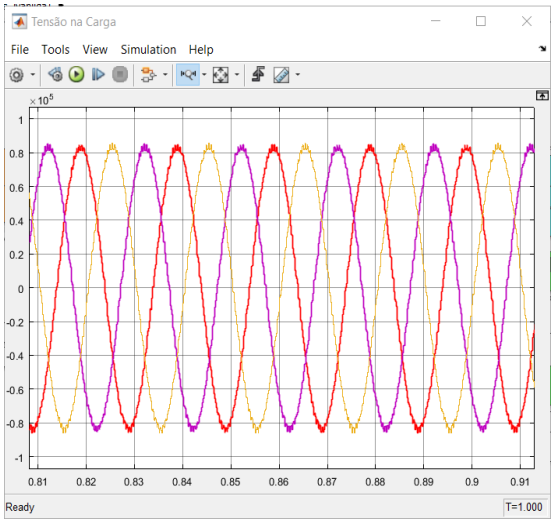


Gráfico 10a – Tensão na carga de Açores em DC

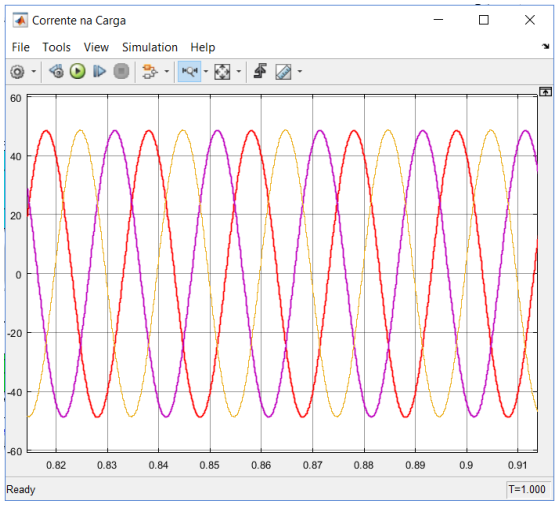


Gráfico 10b – Corrente na carga de Açores em DC

Gráfico 10 Tensões e correntes na carga de Açores com transmissão DC (NASCIMENTO, 2016)

A Figura 21 mostra as medições de potência na entrada e na saída da linha.

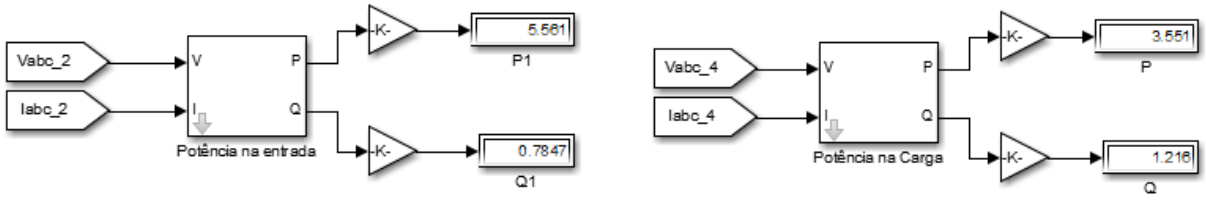


Figura 21 Potência medida na entrada da linha e na carga de Açores em DC (NASCIMENTO, 2016)

A perda de potência ativa na linha, calculada pela diferença entre a potência medida na entrada e a potência medida na saída da linha, é de 2,01 MW, dada pela equação 25.

$$Perda_{DC-\text{Açores}} = 5{,}561 - 3{,}551 = 2{,}010\ MW \qquad (25)$$

Para verificar se as perdas foram causadas na transmissão ou no sistema de conversão deste modelo, foi modelado uma transmissão bipolar com duplo cabo como mostrado no Circuito 12.

Observa-se na Figura 22 que os valores de potência transmitida se mantiveram praticamente constantes.

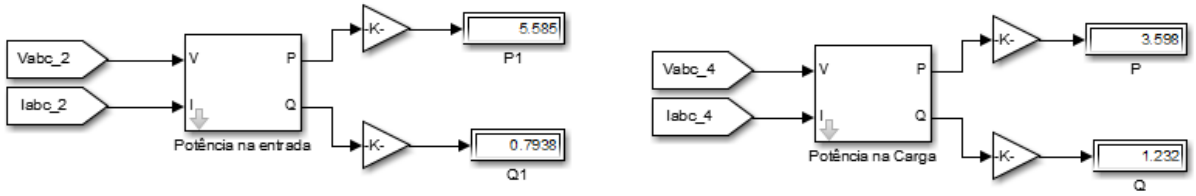
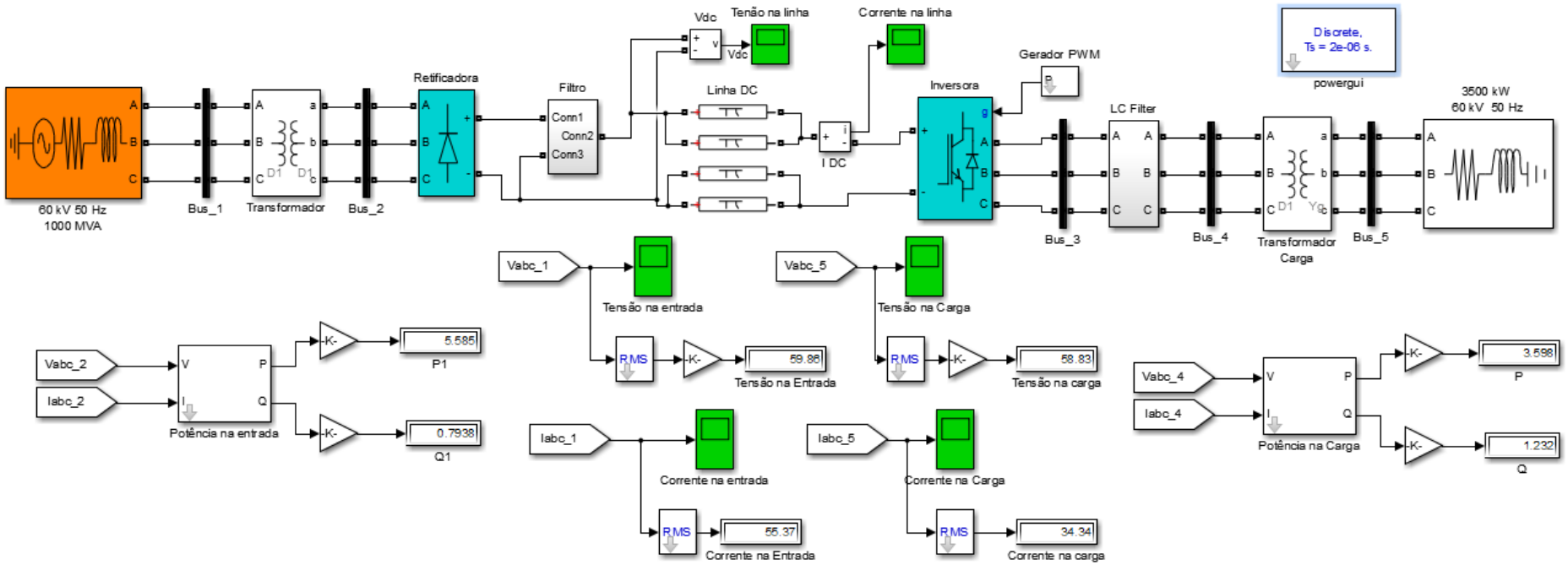


Figura 22 Potência medida na entrada da linha e na carga de Açores em DC com circuito duplo (NASCIMENTO, 2016)

$$\text{Perda}_{\text{DC}-\text{Açores}-\text{duplo}} = 5{,}585 - 3{,}598 = 1{,}987 \text{ MW} \quad (26)$$

Neste caso, as perdas observadas foram reduzidas de 2,010 para 1,987 MW.



Circuito 12 Modelagem da transmissão de Açores em DC com circuito duplo (NASCIMENTO, 2016)

5.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da simulação do estudo da interligação da Ilha do Mel, o cabo subaquático utilizado atendeu as expectativas de projeto, uma vez que as perdas na linha não representaram nem 1% da potência transmitida pela barra infinita. Um efeito muito importante foi observado no tocante à potência reativa da linha: as propriedades capacitivas do cabo subaquático puderam compensar a potência reativa solicitada pela carga. Este mesmo efeito é responsável por fornecer à carga uma tensão acima do valor gerado pela barra infinita.

A simulação em corrente continua por sua vez se mostrou pouco eficiente, pois as perdas nos sistemas de conversão resultaram em aproximadamente 12,6% do total transmitido. Além disso foi preciso utilizar filtros passivos para retirar harmônicos resultantes do processo de conversão AC/DC/AC, o que não foi suficiente, pois as formas de onda da tensão e da corrente apresentaram bastante distorções, além de ocasionarem maiores perdas no sistema de transmissão. Numa situação real este problema poderia ser resolvido com o uso de filtros ativos.

Na implementação de sistemas de transmissão subaquática interligando as Ilhas de Santa Maria e São Miguel, a simulação em corrente alternada se mostrou pouco eficiente, embora toda a energia ativa e reativa tenha sido entregue quase em sua totalidade à carga, no entanto as perdas medidas chegaram a 36% do total transmitido.

Em corrente contínua as medições coletadas mostraram um desempenho um pouco melhor. Na simulação com circuito duplo, pode ser observado que as perdas estão praticamente concentradas nos conversores e não na linha, pois a diferença no ganho de potência transmitida foi muito pequena, de 23 kW em 82 km de extensão da linha. É provável que este valor de perdas nos conversores seja resultado da modelagem matemática no Matlab.

Em suma foi observado que a diferença de perdas de potência na linha para circuitos AC em relação aos circuitos DC são inversamente proporcionais ao nível de tensão. No caso da COPEL, a transmissão em DC causou uma perda de 114 kW contra 6,6 kW na transmissão em AC, com uma tensão de 13,8 kV. Já no caso de Açores, com tensão em 60 kV, a perda em DC foi de 2,010 MW contra 2,421 MW em AC.

6. CONCLUSÕES

Para o sistema da Copel, a transmissão ideal seria em corrente alternada, visto que ao simular em corrente contínua as perdas nos conversores foram tão grandes que esta solução poderia ser descartada, pois carga é baixa e a distância razoavelmente pequena. Além disso, em relação aos custos, como não houve necessidade de investir em compensadores no projeto, foram gastos em torno de R$ 602/m como foi demonstrado pela Copel. Em corrente continua este valor alcançaria patamares bem maiores, pois seria necessário a aquisição de conversores.

Em Açores a potência transmitida também é pequena, porém devido ao comprimento da linha, se a solução adotada fosse em corrente alternada, seria necessário instalar circuito duplo ou um cabo maior e de menor resistência. Isto acarretaria num aumento dos custos. O mais indicado para os Açores então seria a interligação em corrente contínua desde que a tensão fosse maior que 60 kV, como simulada no projeto.

Os estudos anteriormente mencionados na revisão de literatura já apontavam que sistemas em corrente continua são mais indicados para longas distâncias e/ou para transmitir potências altas. E neste trabalho foi possível verificar estas condições ao simular o mesmo circuito com os parâmetros de linha de transmissão para 5km e 82km.

Como sugestão de trabalhos futuros é possível indicar que sejam modelados sistemas em tensões elevadas nos dois casos de estudo e verificar quais são os níveis ótimos de tensão e potência transmitida que que justifiquem uma transmissão DC.

Também é possível fazer uma análise mais detalhada dos custos associados a cada equipamento que envolvem as soluções de transmissão em corrente alternada e contínua

A análise de outros tipos de conversores que não sejam baseados em VSC e LCC podem ser pesquisados e confrontadas com esta tecnologia já difundida em parque eólicos *offshore*.

Referências Documentais

(ABB, 2012a) ABB. Thornton Banks: Turnkey offshore wind power connection 325 MW Thornton Bank -Wind Farm, North Sea. 2012a. Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/3f7f4d9b581a792ec1257cf30026f2de/Thornton Banks Flyer 1JNB002900D0008 Rev-3-HQ.pdf>. Acesso em: 5 set. 2016.

(ABB, 2012b) ABB. **HVDC Light:** It's time to connect. 2012b. Disponível em: <http://new.abb.com/docs/default-source/ewea-doc/hvdc-light.pdf?sfvrsn=2>. Acesso em: 2 set. 2016.

(ABB, 2013) ABB. The largest offshore wind farm in Sweden Cable solution for Lillgrund offshore wind farm. 2011. Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/59af86e7d42ac9e9c125777c0032a69f/Project Lillgrund 145 kV 36 kV XLPE subm-land rev 2.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016.

(ABB, 2015) ABB. Troll A: The energy company Statoil awarded ABB a second contract to supply subsea HVDC Light transmission systems to the Troll A platform in the North Sea. 2015. Disponível em: <http://new.abb.com/systems/hvdc/references/troll-a>. Acesso em: 28 ago. 2016.

(ABB, 2016a) ABB. HVDC Classic (LCC). 2016a. Disponível em: <http://new.abb.com/systems/hvdc/hvdc-classic>. Acesso em: 18 set. 2016.

(AÇORES, 2016a) AÇORES. TURISMO DOS AÇORES. São Miguel. 2016a. Disponível em: <http://www.visitazores.com/pt-pt/the-azores/the-9-islands/sao-miguel/>. Acesso em: 04 ago. 2016

(AÇORES, 2016b) AÇORES. TURISMO DOS AÇORES. São Miguel. 2016b. Disponível em: <http://www.visitazores.com/pt-pt/the-azores/the-9-islands/sao-miguel/nature>. Acesso em: 04 ago. 2016.

(AÇORES, 2016c) AÇORES. TURISMO DOS AÇORES. **Santa Maria.** 2016c. Disponível em: < http://www.visitazores.com/pt-pt/the-azores/the-9-islands/santa-maria/>. Acesso em: 04 ago. 2016.

(AÇORES, 2016d) AÇORES. TURISMO DOS AÇORES. **Santa Maria.** 2016d. Disponível em: < http://www.visitazores.com/pt-pt/the-azores/the-9-islands/santa-maria/geography>. Acesso em: 04 ago. 2016.

(AEN.PR, 2012) AEN.PR - AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS DO PARANÁ. **Copel conclui lançamento de cabos subaquáticos no litoral.** 2012. Informações enviadas por Daniel Protoba. Disponível em:

<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/makepdf.php?storyid=72491>. Acesso em: 01 out. 2016.

(ALMEIDA, 2011) ALMEIDA, Thaís Brandão Ribeiro de. **Análise de um sistema de transmissão VSC HVDC submarino para alimentação de unidades de produção de petróleo offshore.** 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2011081701.pdf>. Acesso em: 22 out. 2015.

(ANEEL, 2016) ANEEL. PRODIST. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**: Qualidade da Energia Elétrica. Brasília, 1 jan. 2016. p. 1-79. Módulo 8. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Módulo8_Revisão_7.pdf>. Acesso em: 14 out. 2016.

(BAETURISMO, 2016) BAETURISMO. **Como chegar a Barreirinha-AM.** (2016). Disponível em: <http://www.baeturismo.net/paginas mestras/como-chegar-a-Barreirinha.htm>. Acesso em: 18 out. 2016.

(BRASIL. MME, 2016) MME Ministério de Minas e Energia. Programa Luz para Todos (PLT). (2016). Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp>. Acesso em: 05 set. 2016.

(BRITO, 2013) BRITO, Lino Timóteo Conceição de. **Análise Do Suporte de Reativos em um Sistema Elétrico de Potência Com Link HVDC.** 2013. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87179/brito_ltc_me_bauru.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.

(CARVALHAL, 2008) CARVALHAL, Rodrigo Pereira. **Análise de sistemas de transmissão em tensão contínua para alimentação de cargas isoladas.** 208. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.pee.ufrj.br/teses/?Resumo=2008062702>. Acesso em: 2 set. 2015.

(COPEL, 2013) COPEL DISTRIBUIÇÃO. **NTC 841200**: PROJETO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA ISOLADA. Curitiba:, 2013. 41 p. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcarquivos.nsf/E78664DB1B1E52FE03257E2300506A68/$FILE/Ntc RSI - Mai13.pdf>. Acesso em: 07 out. 2016.

(COSTA, 2013) COSTA, Hélder Magalhães da. **Reposição de serviço em sistemas com produção eólica onshore e offshore com ligação DC.** 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto,

2013. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~ee06246/wp-content/uploads/2013/03/ReposiçãoDeServiço_HélderCosta_060503246.pdf>. Acesso em: 8 set. 2015.

(COSTA, 2016) COSTA, João Alberto Pereira. **Projetos de Transmissão Subaquática.** Realizada pela Eletrobras Amazonas. Disponível em: <renata_snascimento@outlook.com>. Acesso em: 17 out. 2016.

(COSTA, PAIVA e MEDEIROS, 2014)COSTA, Carlos Alberto Soares da; PAIVA, Eliran de; MEDEIROS, Gilcarlos R.. Otimização de cabo umbilical eletro-óptico submarino utilizados na alimentação de energia elétrica das plataformas marítimas do RN. In: 2014 IEEE PETROLEUM AND CHEMICAL INDUSTRY CONFERENCE – BRASIL (PCIC BRASIL**)**, (S.I.), v.1, n. 1, p.167-172, ago. 2014. Trimestral. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/pcicbrasil.2014.6968903. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber= 6968903& isnumber=6968869>. Acesso em: 19 out. 2015

(EDA, 2015) EDA - ELETRICIDADE DOS AÇORES (Org). **Caracterização das redes de transporte e distribuição de energia eléctrica da Região Autónoma dos Açores.** Ponta Delgada: Eletricidade dos Açores (eda), 2015. 388 p. Disponível em: < http://www.eda.pt/Regulacao/Lists/CaracterizacaodeRedes/Attachments/10/CARE%202015.pdf >. Acesso em: 10 ago. 2016.

(EDA, 2016) EDA - ELETRICIDADE DOS AÇORES (Org). **Procura e oferta de energia elétrica.** Ponta Delgada: Eletricidade dos Açores (eda), 2016. 30 p. Disponível em: <http://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Producao/Paginas/Produção-de-Energia-Elétrica.aspx>. Acesso em: 5 out. 2016.

(EDP, 2016) EDP - BANDEIRANTES. **Projetos de redes de distribuição aérea primária.**São Paulo: Edp - Bandeirantes, 2016. 25 p. Disponível em: <http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/tecnicas/padroes-e-especificacoes-tecnicas/Documents/ES DT PDN 03 01 002 - Projeto de Redes de Distribuição Aérea Primária.pdf>. Acesso em: 20 out. 2016.

(ELETROBRAS AMAZONAS ENERGIA, 2013) ELETROBRAS AMAZONAS ENERGIA (Org.). **Tecnologia usada com cabos subaquáticos do 'Eletrificação Rural' garante energia elétrica para localidades isoladas no Amazonas,** 2013. Disponível em: <http://www.eletrobrasamazonas.com/cms/tecnologia-usada-com-cabos-subaquaticos-do-eletrificacao-rural-garante-energia-eletrica-para-localidades-isoladas-no-amazonas/>. Acesso em: 30 set. 2015.

(ELETROPAULO, 2011) AES ELETROPAULO. Fornecimento de energia elétrica em Tensão de Subtransmissão 88/138 kV: Orientações gerais para fornecimento de energia elétrica subgrupo A2. Disponível em: < https://www.aeseletropaulo.com.br/padroes-e-normas-tecnicas/manuais-

normas-tecnicas-e-de-seguranca/Documents/LIG%20AT.pdf>. Acesso em 15 out. 2016.

(ERSE, 2009) ERSE - ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS. Lisboa: ERSE, 2009. Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/regulamentos/operacaodasredes/Documents/Manual de Procedimentos do Gestor do Sistema.pdf>. Acesso em: 8 out. 2016.

(EUROPA, 2010) EUROPA. Comunicado nº 52010DC2020, de 2010. **Europa 2020 estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo**. Bruxelas: Comissão Europeia, 03 mar. 2010. p. 1-27. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?qid=1447612922757&uri=CELEX:52010DC2020>. Acesso em: 7 out. 2015.

(FERNANDES, 2016) FERNANDES, Marcelo Alvares. **Cabos de subaqáticos utilizados na interligação das ilhas paranaenses.** (Mensagem pessoal) Mensagem recebida por: <renata_snascimento@outlook.com>. em: 6 out. 2016.

(FONSECA NETO, 2015) FONSECA NETO, José Claro da. **Ilha do Mel.** 2015. Elaborada por Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Panará. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/litoralnotacem/ilhadomel/ilhadomel.html>. Acesso em: 30 set. 2016.

(FUCHS, 1977) FUCHS, Rubens Dario. **Transmissão de energia elétrica:** Linhas aéreas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e CientÍficos Editora S.A, 1977. 280 p.

(HAYT, 2003) HAYT, William Hart. **Eletromagnetismo.** 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Cientificos, 2003. 339 p. Tradução Antonio Romeiro Sapienza.

(HINGORANI, GYUGYI, 2009) HINGORANI, Narain G.; GYUGYI, Laszlo. FACTS Concept and General System Considerations. **Understanding Facts,**(S.I.), p.1-35, 2009. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). http://dx.doi.org/10.1109/9780470546802.ch1. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5264427&newsearch=true&queryText=Understanding FACTS, concepts and technology of flexible ac transmission system>. Acesso em: 22 set. 2016.

(IBGE, 2013) IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica. Barreirinha: infográficos: evolução populacional e pirâmide etária. 2013. Fonte: Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/populacao.php?lang=&codmun=130050&search=amazonas|barreirinha|infograficos:-evolucao-populacional-e-piramide-etaria>. Acesso em: 18 out. 2016.

(IBGE, 2016) IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica. Manacapuru. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=130250>. Acesso em: 18 out. 2016.

(LEE, 2009) LEE, Woong Jin et al. Projeto de linha de transmissão submarina Biguaçu – Desterro em 230kv. In: ERIAC - ENCUENTRO REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ, 23. 2009, Puerto Iguazú, Arg. **Comité de estudio B1 - Cables aislados.** Puerto Iguazú, Arg: Eriac, 2009. p. 1 - 7. Disponível em: <http://www.cigre.org.br/archives/files/B1-01.pdf>. Acesso em: 22 out. 2015.

(MACHADO, 2014) MACHADO, João Vitor Santos. **Limitações dos sistemas de transmissão AC quando aplicados a parques eólicos offshore.** 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/14465/1/Machado_2014.pdf>. Acesso em: 09 set. 2015.

(MARQUES, 2007) MARQUES, Mário Rui Canatário. **Interligação de Pequenos Sistemas de Energia.** 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137444224/dissertaÃ§Ã£o.pdf>. Acesso em: 30 set. 2015.

(METZ, 2007) METZ, Bert et al. **Climate Change 2007:** Mitigation of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 863 p. (Working Group III contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC). Elaborado para o Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en /contents.html>. Acesso em: 26 ago. 2015.

(MME, 2011) MME - Ministério de Minas e Energia (Org.). Derrubando barreiras para atender comunidades isoladas: Luz para todos encontra soluções alternativas para levar energia às comunidades isoladas e de difícil acesso. 2011. Programa Luz para Todos. Disponível em: <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/1. Informativo nr. 29 CDR.pdf>. Acesso em: 05 set. 2015.

(NEGRA, TODOROVIC, ACKERMANN, 2006) NEGRA, N. Barberis; TODOROVIC, J.; ACKERMANN, T.. Loss evaluation of HVAC and HVDC transmission solutions for large offshore wind farms. **Electric Power Systems Research,** (S.I.), v. 76, n. 11, p.916-927, jul. 2006. Trimestral. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.epsr.2005.11.004. Disponível em: <http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0378779605002609?httpAccept=text/xml>. Acesso em: 21 out. 2015.

(NEXANS, 2016) NEXANS. **Cu 110kV Al-PE sheath.** 2016. Disponível em: <http://www.nexans.de/eservice/Germany-en/pdf-product_540171151/2XS_FL_2Y_1x185RM_100_64_110_123_kV.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

(ORTIZ, KAMPEL, 2011) ORTIZ, Gustavo Prouvot; KAMPEL, Milton. Simpósio Brasileiro de Oceanografia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5, 2011, Santos. **Potencial de energia eólica offshore**

na margem do brasil. Santos: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2011. p. 1 - 4. Disponível em: <http://mtc-m19.sid.inpe.br/attachment.cgi/ sid.inpe.br/mtc-m19/2011/07.06.17.10/doc/Ortiz_Potencial.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2015.

(PARANAGUA, 2016) PARANAGUA. Prefeitura Municipal de Paranaguá. Secretaria Municipal de Tecnologia da Informação. **Ilha do Mel:** Guia Turístico. 2016. Disponível em: <http://www.paranagua.pr.gov.br/conteudo/guia-turistico/ilha-do-mel>. Acesso em: 30 set. 2016.

(PÁSCOA, 2015) PÁSCOA, Isabel Sofia Nunes.**Aproveitamento da energia das correntes marítimas.**2014. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrotécnica, Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação>. Acesso em: 12 set. 2015.

(PERCEBON, 2013) PERCEBON, Leandro Alberto. **Cálculo de parâmetros elétricos série de cabos umbilicais.** 2013. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/107566>. Acesso em: 2 out. 2015.

(PRYSMIAN GROUP, 2012) PRYSMIAN GROUP. **Cabos energia: construção e dimensionamento.** Prysmian Group, 2012. 20 p. Catálogo. Disponível em: <http://br.prysmiangroup.com/br/files/Cabos_en_construcao_dimens.pdf>. Acesso em: 15 out. 2015.

(REVISTA ILHA DO MEL, 2009) REVISTA ILHA DO MEL (Paraná). **A ilha.** 2009. Disponível em: <http://www.revistailhadomel.com.br/A_ILHA/ailha.html>. Acesso em: 30 set. 2016.

(ROCHA, 2007) ROCHA, Paulo Eduardo Darski. **Modelagem de cabos subterrâneos e submarinos para estudos de transitórios.** 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.pee.ufrj.br/teses/?Resumo=2007032101>. Acesso em: 15 jun. 2016.

(SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR, 2010) SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR. **Plano de Gestão dos Recurso Hidricos da Ilha de Santa Maria.** (São Miguel), [2010]. 18 p. Disponível em: <http://www.azores.gov.pt/NR/rdonlyres/3355ADC2-3A94-437E-9517-EDDD79B3A954/434399/PagesfromEstudosdeBase_PGRHI_SMA_CaracterizaçãoeDi.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016.

(SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR, 2011)SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E DO MAR. **Plano de Gestão dos Recurso Hidricos da Ilha de São Miguel:** Caracterização e diagnóstico da situação de referênci. (São Miguel), [2011]. 698 p. Disponível em: <http://servicos-sraa.azores.gov.pt/grastore/DRA/PGRH/PGRH-A_RT_cap2_vol2_saomiguel.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016

(SIEMENS, 2008) SIEMENS. **Lillgrund Offshore Wind Farm.** 2008. Disponível em: <http://www.siemens.com/press/en/presspicture/?press=/en/presspicture/pictures-photonews/2008/pn200826.php&content;()=ER&content;()=EW&content;()=WP>. Acesso em: 15 set. 2016.

(SIEMENS, 2013a**)** **Siemens to build the Martin Linge onshore substation in Norway.** 2013a. Disponível em: <http://www.siemens.com/press/en/feature/2013/energy/2013-09-linge.php>. Acesso em: 27 set. 2016.

(SIEMENS, 2013b) SIEMENS (Noruega). **Teknologi for en bærekraftig fremtid:** Offshore elektrifisering. [2013b]. Disponível em: <http://www.betong.net/ikbViewer/Content/900381/Siemens-Offshore elektrifisering.pdf>. Acesso em: 27 set. 2016.

(SIEMENS, 2014) SIEMENS. **Siemens hands over North Sea grid connections to TenneT.** 2014. Disponível em: < http://www.siemens.com/press/en/feature/2013/energy/2013-08-x-win.php >. Acesso em: 26 ago. 2016.

(SIEMENS, 2015) SIEMENS. **HelWin2 HVDC Platform.** 2015b. Disponível em: <http://www.siemens.com/press/pool/de/feature/2013/energy/2013-08-x-win/factsheet-helwin2-en.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2016.

(SIEMENS, 2016a) SIEMENS. HVDC Classic. [2016] Disponível em: <http://www.energy.siemens.com/br/en/power-transmission/hvdc/hvdc-classic.htm>. Acesso em: 5 out. 2016.

(SIEMENS,2016b) SIEMENS. **BorWin1:** One of the most remote offshore wind farm clusters in the world is connected to the German grid by a 400 MW +/-150 kV HVDC Light transmission system from ABB. [2016b]. Disponível em: <http://new.abb.com/systems/hvdc/references/borwin1>. Acesso em: 29 set. 2016.

(SILVA, 2011) SILVA, Carlos Augusto Santos et al. **Road Map energias offshore Portugal.** Lisboa: Lneg/ueseo, 2011. 53 p. FCT Project PTDC/ENR/105403/2008. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/566729524642670/RoadMapEnergiasOffshorePortugal.pdf>. Acesso em: 30 out. 2015.

(SOCIEDADE PORTUGUESA DE INOVAÇÃO (Org.). **Avaliação ex ante e Avaliação Ambiental Estratégica do Programa Operacional Competitividade e Intern.** Porto: Programas Operacionais Portugal 2020, 2014. 120 p.

Relatório Final. Disponível em: <https://www.portugal2020.pt/Portal2020/programas-operacionais-portugal-2020-2>. Acesso em: 27 out. 2015.

(UNIDO, 2012) UNIDO. United Nations Industrial Development Organization. Eficiência energética industrial para a criação de riqueza sustentável: capturando dividendos ambientais, econômicos e sociais. In: CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 1, 2012, Rio de Janeiro.**Conferência.** Abu Dhabi - Emirados Árabes Unidos: (unido), 2012. p. 1 - 3. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/documentos/>. Acesso em: 4 dez. 2015.

(VERÍSSIMO, 2012)VERÍSSIMO, Miguel Guilherme Mateus Neves. **Ligação de sistemas multi-terminais de transmissão em corrente contínua e alta tensão a parques eólicos offshore.** 2012. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144988813/dissertacao.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2015.

(WILLE, 2012) **7 vezes futuro:** A sustentabilidade surge em muitos lugares na Alemanha.Sete bons exemplos com potencial para o futuro. 2012. Disponível em: <https://www.deutschland.de/pt/topic/umwelt/energie-technologie/7-vezes-futuro?language=en>. Acesso em: 30 nov. 2015.

Anexo A. Características técnicas do cabo subaquático

Prysmian Energia Cabos e Sistemas do Brasil S.A.

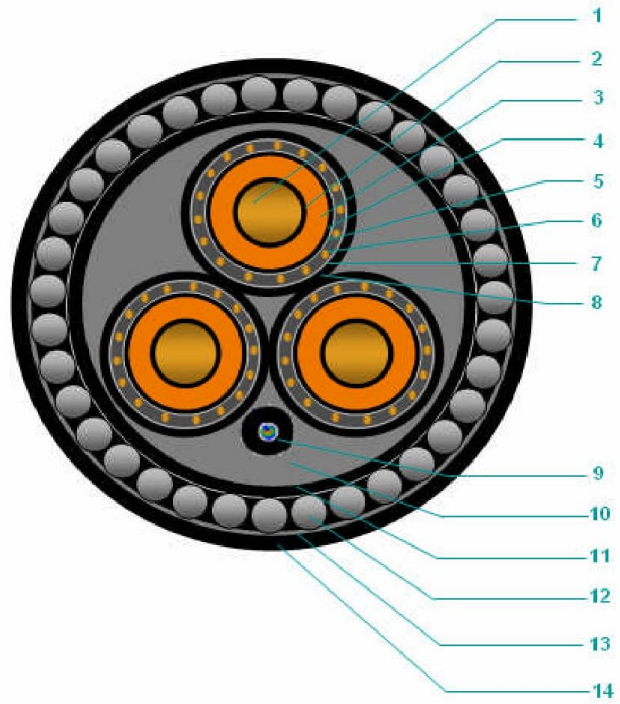
Prysmian Energia Cabos e Sistemas do Brasil S.A.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO CABO SUBAQUÁTICO

CABO EPR SUB 3x70mm² 35kV
REF.: Travessia subterrânea / subaquática LT 34,5 kV Guaraqueçaba - Poruquara (COPEL)

Nº Prysmian:	29790479 (R1)
Especificação:	NBR 7286

SEÇÃO TRANSVERSAL



Notas:
* Corte transversal do cabo sem escala:
* As dimensões indicadas neste documento são nominais e podem variar de acordo com as tolerâncias permitidas em norma e previstas no processo de fabricação do cabo.

DADOS CONSTRUTIVOS

1 - CONDUTOR
Corda de cobre estanhado tipo circular compacta, de acordo com os requisitos da norma NBR NM 280 CL2

Seção nominal:	70 mm²
Diâmetro nominal:	10,00 mm

Nota: Durante o processo de encordoamento, os interstícios entre os fios são preenchidos com um composto extrudado, o qual garante o bloqueio longitudinal contra penetração de umidade. Na superfície do condutor, o bloqueio é feito através de pó absorvente de umidade.

2 - BLINDAGEM DO CONDUTOR
Camada extrudada de composto semicondutor à base de EPR.

Espessura nominal:	0,80 mm
Diâmetro nominal:	11,60 mm

3 - ISOLAÇÃO

Camada extrudada de borracha etilenoproprileno (EPR).

Espessura nominal:	8,80	mm
Diâmetro nominal:	29,20	mm

4 - BLINDAGEM SEMICONDUTORA

Camada extrudada de composto semicondutor à base de EPR.

Espessura nominal:	1,00	mm
Diâmetro nominal:	31,20	mm

Nota: As camadas semicondutoras e a isolação são aplicadas simultaneamente pelo processo de tríplice extrusão e vulcanizadas pelo processo "dry-curing".

5 - ENFAIXAMENTO DA ISOLAÇÃO

Fita semicondutora contendo pó inchante destinada ao bloqueio contra penetração longitudinal de umidade.

Diâmetro nominal:	31,52	mm

Nota: entre a blindagem semicondutora e a fita com pó inchante, é aplicado um fitilho que identifica a cor da veia.

6 - BLINDAGEM METÁLICA

Fios de cobre estanhado, têmpera mole, aplicados helicoidalmente na forma de coroa concêntrica.

Número de fios:	70	
Diâmetro do fio:	0,813	mm
Diâmetro nominal:	33,15	mm
Seção transversal:	36,34	mm²

7 - ENFAIXAMENTO DA BLINDAGEM METÁLICA

Fita semicondutora contendo pó inchante destinada ao bloqueio contra penetração longitudinal de umidade.

Diâmetro nominal:	33,35	mm

8 - COBERTURA DA VEIA

Camada extrudada de polietileno de baixa densidade (LDPE)

Espessura nominal:	1,20	mm
Diâmetro nominal:	35,75	mm

Nota: A cobertura apresenta gravação sequencial metro a metro do logotipo da Prysmian, modelo do cabo, cor da veia, tensão, seção do condutor, materiais (condutor, isolação e cobertura) e o ano de fabricação.

9 - CABO ÓPTICO

Nota: para maiores detalhes deste cabo, ver data sheet / catálogo específico do mesmo.

10 - ENCHIMENTO

Enchimento extrudado composto por borracha etilenopropileno (EPR).

Espessura nominal:	1,00	mm
Diâmetro nominal:	79,22	mm

11 - CAPA INTERNA

Camada extrudada de polietileno de baixa densidade (LDPE)

Espessura nominal:	2,90	mm
Diâmetro nominal:	85,02	mm

12 - ARMAÇÃO

Fios de aço galvanizado, têmpera mole, aplicados helicoidalmente na forma de coroa concêntrica.

Número de fios:	60	
Diâmetro do fio:	4,00	mm
Diâmetro nominal:	93,02	mm
Seção transversal:	753,98	mm²

PROPRIEDADES TÉRMICAS		
Item	**Descrição**	
1	Máxima temperatura do condutor em regime normal de operação (ºC)	90
2	Máxima temperatura do condutor em condições de curto-circuito (ºC)	250
3	Máxima temperatura na blindagem metálica em regime normal de operação (ºC)	80
4	Máxima temperatura na blindagem metálica em condições de curto-circuito (ºC)	150

PROPRIEDADES MECÂNICAS		
Item	**Descrição**	
1	Máximo diâmetro externo do cabo (mm)	106,39
2	Peso líquido por unidade de comprimento (kg/m)	17,94
3	Peso do cabo na água (kgf/m)	8,80
4	Raio mínimo de curvatura - estático (m)	1,2
5	Raio mínimo de curvatura - dinâmico (m)	1,5
6	Máxima tração no condutor (kgf)	350

ESPECIFICAÇÃO APLICÁVEL PARA TESTES
NBR 7286 - Cabos de potência com isolação extrudada de borracha etilenopropileno (EPR) para tensões de 1kV até 35kV - Requisitos de desempenho

Anexo B. High voltage cables and systems – NEXANS

Contact
High Voltage Cables and Systems
110-500kV
Phone: +49 511 676 3364
hv-team.nd@nexans.com

Cu 110kV Al-PE sheath

2XS(FL)2Y+ 1x185RM/100 64/110 (123)kV

64/110 (123)kV Copper XLPE Cable, Cu-Screen, Al-laminated PE sheath

Nexans ref.: 14325611

Single core XLPE insulated cable, screen area longitudinally and radially watertight

Description

Stranded copper conductor class 2 according to IEC 60228, semi conducting conductor screen, insulation of cross-linked polyethylene (XLPE), semi conducting insulation screen, semi conducting swellable bedding, copper screen, swellable bedding, aluminium tape bonded to PE sheath, semiconductive layer on PE sheath.

Application in ground, outdoors, in tubes, in water, indoors and in cable ducts.

Optionally aluminium and/or watertight conductor, embossed marking or Fiber Optics in screen area for temperature measurement available.

All high voltage cables are manufactured on the basis of specifications and can be adapted to the requirements of the customer. Therefore, all technical information are purely for information purposes and the electrical characteristics are calculated for values which are specified in the data sheets. For your specific requirements and laying arrangements please don't hesitate to contact us.

Standards

International IEC 60840

National DIN VDE 0276 part 632

Characteristics

Construction characteristics	
Conductor material	Copper
Insulating material	XLPE
Screen	Copper wire
Outer sheath	HDPE
Lead free	Yes
Halogen free	Yes
Dimensional characteristics	
Conductor cross-section	185 mm²
Conductor diameter	16.0 mm
Nominal insulation thickness	15.0 mm
Screen section	100 mm²
Nominal outer sheath thickness	4.0 mm
Outer Diameter	63 mm
Approximate weight	5.1 kg/m

Lead free	Halogen free	Ope. volt.	Minimum installation temperature	Bending factor installed	Bending factor when laying	Longitudinal water tightness	Max.conductor temp.in service
Yes	Yes	110 kV	-20 °C	15 (xD)	30 (xD)	Yes	90 °C

All drawings, designs, specifications, plans and particulars of weights, size and dimensions contained in the technical or commercial documentation of Nexans is indicative only and shall not be binding on Nexans or be treated as constituting a representation on the part of Nexans.

Contact
High Voltage Cables and Systems
110-500kV
Phone: +49 511 676 3364
hv-team.nd@nexans.com

Cu 110kV Al-PE sheath

2XS(FL)2Y+ 1x185RM/100 64/110 (123)kV

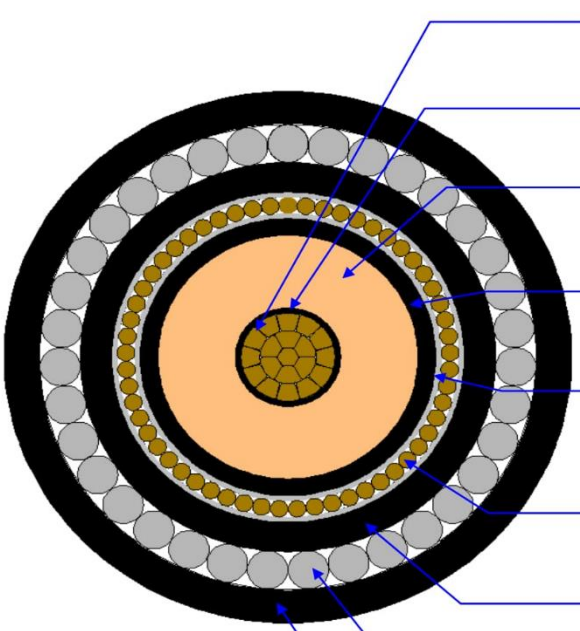
Electrical characteristics	
Frequence	50 Hz
Operating voltage	110 kV
Maximum operating voltage	123 kV
Max. DC resistance of the conductor at 20°C	0.0991 Ohm/km
A.C. Conductor resist. 50Hz and at 90 °C	0.13 Ohm/km
Nominal inductance	0.461 mH/km
Nominal phase capacitance	0.141 µF / km
Charging current max.	2.82 A/km
Maximum electric stress	7.2 kV/mm
Permissible short circuit current conductor 1s	26.5 kA
Permissible short circuit current screen 1s	19.4 kA
Grounding type	Single-point bonding
Load factor	1
Thermal soil resistivity dry zone	1.2 K*m/W
Thermal soil resistivity wet zone	1 K*m/W
Permissible current rating when buried	450 A
Permissible transmission capacity, buried	86 MVA
Mechanical characteristics	
Maximum pulling force by laying	9.25 kN
Usage characteristics	
Laying formation	trefoil
Number of systems	1
Laying depth, center of system	1200 mm
Ambient ground temperature	15 °C
Minimum installation temperature	-20 °C
Bending factor when installed	15 (xD)
Bending factor when laying	30 (xD)
Longitudinal water tightness	Yes
Max. conductor temperature in service	90 °C

Selling information

The current and transmission capacity is calculated with the laying arrangement stated in the data sheet. The picture may show options.

Anexo C. Cabo submarino monofásico fibep wtr swd (dupla armação) NEXANS

Cabo Submarino Monofásico
FIBEP WTR SWD (dupla armação)



- Condutor de cobre Estanhado, bloqueado e compactado
- Blindagem semicondutora extrudada, aderida ao isolamento
- Isolação – HEPR, alto módulo
- Blindagem semicondutora extrudada, *free-strippable, processada em triplice extrusão e sistema Dry-curing*
- Bloqueio longitudinal e blindagem metálica em fita de cobre estanhada aplicada com sobreposição, e acolchoamento para proteção mecânica do dielétrico.
- 1ª camada de armação de fios de cobre.
- Capa de estanqueidade e acolchoamento da armação, com características elétricas controladas para equipotencialização dos fios da armação.
- 2ª camada de armação de fios de aluminio extra-duro
- Cobertura externa de polietileno com elevadas características mecânicas

Nexans		**ENGENHARIA DE PRODUTOS**	
		CABO SUBMARINO: **FIBEP WTR SWD (REFORÇADO)**	
REVISÃO Nº:00	**DATA: 01/12/2015**	**ESPECIFICAÇÃO:**	**CP:**
CLIENTE: AMAZONAS ENERGIA		**NBR 7286**	**PROJ.: DMM**
			DES.: DFA
			APROB.: MCPA

Anexo D. Cabo submarino fibep wtr swd 3x50 mm2 8,7/15 kV – NEXANS

CABO SUBMARINO

6 - DESCRIÇÃO DO CABO

6.1 CONDUTOR

De cobre estanhado formação redondo compactada, bloqueado, atendendo a classe 2 de encordoamento conforme NM 280 .

6.2 - BLINDAGEM DO CONDUTOR

Camada de material condutor não metálico (semicondutor) termofixo para uniformizar o campo elétrico no condutor.

6.3 -ISOLAÇÃO

Camada de composto termofixo a base de etilenopropileno de alto módulo e classe térmica elevada – tipo HEPR, de grande estabilidade térmica para temperatura de operação em regime permanente de até 90ºC, com propriedades físicas prescritas pela NBR 6251.

6.4 -BLINDAGEM DA ISOLAÇÃO

Camada de material condutor não metálico (semicondutor) em íntimo contato com a isolação, tornando o campo elétrico radial e uniforme. Constituída por composto termofixo de fácil remoção e à temperatura ambiente (free-strippable).

Os cabos FIBEP WTR SWD são produzidos pelo processo de “True Triple”, que significa a co-extrusão em três camadas da blindagem do condutor, da isolação e da blindagem de isolação em cabeça única para a eliminação total de contaminantes e a obtenção de interface perfeita entre as três camadas evitando a formação de “Vented Trees”.

O processo de vulcanização do composto de HEPR da isolação e das blindagens semicondutoras se dá em atmosfera inerte de nitrogênio (Dry curing) que confere baixíssimo percentual de umidade e ótima homogeneidade dos compostos, eliminando a formação de “Bow-tie trees” ao longo da vida do sistema de cabos.

6.5- ENFAIXAMENTO

Acolchoamento e bloqueio da blindagem para suportar pressões sob profundidades de até 70 metros.

6.6- BLINDAGEM METÁLICA

Constituída por uma fita de cobre estanhada, aplicada helicoidalmente com sobreposição adequada.

6.7- IDENTIFICAÇÃO DAS FASES

Fitilhos coloridos nas cores preta, branca e vermelha.

6.8- REUNIÃO DAS FASES

Fases reunidas com passo adequado e com enchimentos pré-moldados não higroscópicos.

6.9 – ACOLCHOAMENTO

Camada extrudada contínua de polietileno termoplástico - tipo ST7, atendendo os requisitos da norma NBR 6251.

6.10 –ARMAÇÃO

Formada por uma coroa de fios de aço galvanizada com propriedades prescritas pela NBR 6251 e com a-marração de fita têxtil reforçada.

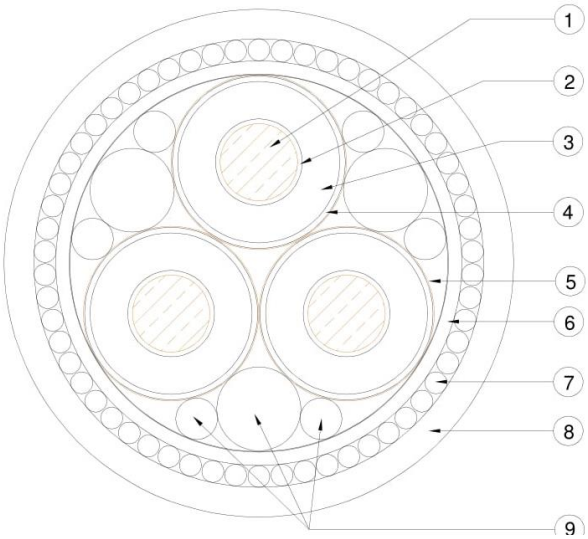
6.11 - COBERTURA

Camada extrudada contínua de polietileno termoplástico - tipo ST7, atendendo os requisitos da norma NBR 6251.

7 - ACONDICIONAMENTO

O cabo será fornecido em lances de 3100, 3400 e 3500 metros com variação de ± 3 %, conforme nosso documentação de cotação nº 31– 728/13 e acondicionado em carretel metálico com dimensões apropriadas .O carretel será identificado nas duas faces laterais externas, por meio de plaquetas com caracteres legíveis e indeléveis, com as seguintes informações:

10 - DESENHO DO CABO



1. Condutor
2. Blindagem do condutor
3. Isolação
4. Blindagem semicondutora da isolação
5. Blindagem metálica da isolação, sistema de bloqueio e fitilhos coloridos para identificação das fases
6. Capa interna (acolghoamento)
7. Armação
8. Cobertura
9. Enchimentos extrudados

Anexo E. Termo de consentimento livre e esclarecido

COMISSÃO DE ÉTICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - INSTITUIÇÃO

Gostaríamos de convidar a sua Instituição a participar do projeto de pesquisa "Análise da Transmissão de Energia em Cabos Subaquáticos" que se propõe a analisar a transmissão subaquática de energia em sistemas de distribuição.

Os dados para o estudo serão fornecidos por esta instituição, Companhia Paranaense de Energia (Copel)**, a fim de obtermos resultados mais precisos sobre a utilização de cabos subaquáticos em sistemas de distribuição reais. Os instrumentos de coleta dos dados serão aplicados pelos pesquisadores e tanto os instrumentos de coleta de dados quanto o contato interpessoal não oferecem riscos previsíveis aos participantes.**

Em qualquer etapa do estudo a Instituição terá acesso ao Pesquisador Responsável para o esclarecimento de eventuais dúvidas (no endereço abaixo), e terá o direito de retirar-se do estudo a qualquer momento, sem qualquer penalidade ou prejuízo. Será resguardada a identificação do local da coleta de dados.

Caso a Instituição tenha alguma consideração ou dúvida sobre os aspectos éticos da pesquisa, poderá entrar em contato com a orientadora da pesquisa na **Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie,** Ivanilda Matile, na Rua da Consolação, 896 – prédio 6 – sala 2 ou pelo e-mail imatile@mackenzie.br

Desde já agradecemos a sua colaboração.

Declaro que li e entendi os objetivos deste estudo, e que as dúvidas que tive foram esclarecidas pelos pesquisadores. Estou ciente que a participação da Instituição é voluntária, e que, a qualquer momento esta tem o direito de obter outros esclarecimentos sobre a pesquisa e de retirar-se da mesma, sem qualquer penalidade ou prejuízo.

Marcelo Alvares Fernandes
Reg.: 41082
CREA-PR 73936-D

Nome do Representante Legal da Instituição: _____

Assinatura do Representante Legal da Instituição: _____

Declaro que expliquei ao Responsável pela Instituição os procedimentos a serem realizados neste estudo, seus eventuais riscos/desconfortos, possibilidade de retirar-se da pesquisa sem qualquer penalidade ou prejuízo, assim como esclareci as dúvidas apresentadas.

São Paulo, 08 de junho de 2016.

Renata Silva do Nascimento
e-mail: renata_snascimento@outlook.com
Tel.: (11) 95161-1581

Dra. Ivanilda Matile
imatile@mackenzie.br
(11) 9 9655 4832

Anexo F. Termo de consentimento livre e esclarecido

COMISSÃO DE ÉTICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - INSTITUIÇÃO

Gostaríamos de convidar a sua Instituição a participar do projeto de pesquisa "Análise da Transmissão de Energia em Cabos Subaquáticos" que se propõe a analisar a transmissão subaquática de energia em sistemas de distribuição.

Os dados para o estudo serão fornecidos por esta instituição, ELETROBRAS AMAZONAS, a fim de obtermos resultados mais precisos sobre a utilização de cabos subaquáticos em sistemas de distribuição reais. Os instrumentos de coleta dos dados serão aplicados pelos pesquisadores e tanto os instrumentos de coleta de dados quanto o contato interpessoal não oferecem riscos previsíveis aos participantes.

Em qualquer etapa do estudo a Instituição terá acesso ao Pesquisador Responsável para o esclarecimento de eventuais dúvidas (no endereço abaixo), e terá o direito de retirar-se do estudo a qualquer momento, sem qualquer penalidade ou prejuízo. Será resguardada a identificação do local da coleta de dados.

Caso a Instituição tenha alguma consideração ou dúvida sobre os aspectos éticos da pesquisa, poderá entrar em contato com a orientadora da pesquisa na **Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie,** Ivanilda Matile, na Rua da Consolação, 896 – prédio 6 – sala 2 ou pelo e-mail imatile@mackenzie.br

Desde já agradecemos a sua colaboração.

Declaro que li e entendi os objetivos deste estudo, e que as dúvidas que tive foram esclarecidas pelos pesquisadores. Estou ciente que a participação da Instituição é voluntária, e que, a qualquer momento esta tem o direito de obter outros esclarecimentos sobre a pesquisa e de retirar-se da mesma, sem qualquer penalidade ou prejuízo.

Nome do Representante Legal da Instituição: Marcos Alexandre Siqueira Brilhante

Assinatura do Representante Legal da Instituição:

Eletrobras Distribuição Amazonas
Marcos Alexandre Siqueira Brilhante
Mat. 11199-0
Departamento de Serviços de Campo

Declaro que expliquei ao Responsável pela Instituição os procedimentos a serem realizados neste estudo, seus eventuais riscos/desconfortos, possibilidade de retirar-se da pesquisa sem qualquer penalidade ou prejuízo, assim como esclareci as dúvidas apresentadas.

São Paulo, 08 de junho de 2016.

Renata Silva do Nascimento
e-mail: renata_snascimento@outlook.com
Tel.: (11) 95161-1581

Dra. Ivanilda Matile
imatile@mackenzie.br
(11) 9 9655 4832