



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**RECONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO
VISANDO MINIMIZAR AS PERDAS ELÉTRICAS UTILIZANDO
ALGORITMO CLONAL**

IURI FLÁVIO VARGAS JANUÁRIO

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
JOÃO MONLEVADE
2019**

Iuri Flávio Vargas Januário

**RECONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO
VISANDO MINIMIZAR AS PERDAS ELÉTRICAS UTILIZANDO
ALGORITMO CLONAL**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof^o Dr. Wilingthon Guerra Zvietcovich

J354r

Januário, Iuri Flávio.

Reconfiguração de sistemas de distribuição visando minimizar as perdas elétricas utilizando algoritmo clonal [manuscrito] / Iuri Flávio Januário. - 2019.

59f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Wilingthon Zvietcovich.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Energia elétrica - distribuição. 2. Redes elétricas. 3. Energia elétrica - controle de perdas. 4. Algoritmos. I. Zvietcovich, Wilingthon. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 621.31

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



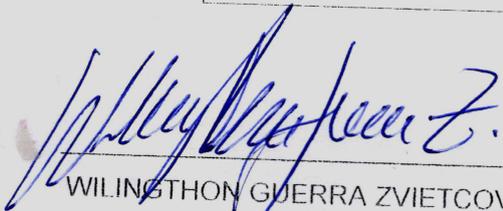
ANEXO IV - ATA DE DEFESA

Aos 25 dias do mês de Junho de 2019 às 14 horas, no bloco A303 deste instituto, foi realizada a defesa de monografia pelo (a) formando (a) Iuri Flávio Vargas Januário, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: THAIS DE FATIMA ARAUJO SILVA, WENDY YADIRA ERAS HERRERA e WILINGTHON GUERRA ZVIETCOVICH. O (a) candidato (a) apresentou a monografia intitulada: **RECONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO VISANDO MINIMIZAR AS PERDAS ELÉTRICAS UTILIZANDO ALGORITMO CLONAL**. A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela APROVAÇÃO do (a) candidato(a), com a nota média 6,0, de acordo com a tabela 1. Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo (a) formando(a).

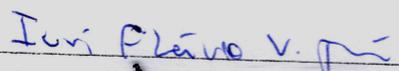
Tabela 1 – Notas de avaliação da banca examinadora

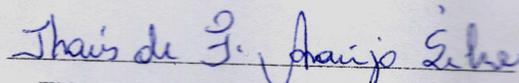
Banca Examinadora	Nota
THAIS DE FATIMA ARAUJO SILVA	6,0
WENDY YADIRA ERAS HERRERA	6,0
WILINGTHON GUERRA ZVIETCOVICH	6,0
Média	6,0

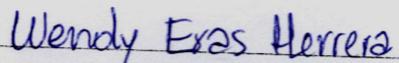
João Monlevade, 25 de Junho de 2019


WILINGTHON GUERRA ZVIETCOVICH
Professor(a) Orientador(a)

Professor(a) Coorientador(a)


Iuri Flávio Vargas Januário
Aluno(a)


THAIS DE FATIMA ARAUJO SILVA
Professor(a) Convidado(a)


WENDY YADIRA ERAS HERRERA
Professor(a) Convidado(a)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Celsa e Flávio, pelo apoio incondicional, ensinamentos e valores, os quais levarei para toda a vida.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Elétrica que me acompanharam e ajudaram de todas as formas possíveis durante toda essa jornada.

À minha companheira Bianca Julia por sempre me incentivar e dar forças para não desistir.

Aos meus irmãos da República Beco pela convivência, por suportarem minha chatice diária e pelas horas de chiadeira.

Ao meu orientador Wilingthon pelo suporte e orientação para que este trabalho fosse feito da melhor forma possível.

À Universidade Federal de Ouro Preto por me conceder a oportunidade de cursar a graduação e poder contribuir com um trabalho de grande relevância para a sociedade.

Ao Ex-Presidente Lula pelos incentivos realizados na educação superior, pois sem eles conseguir uma vaga em uma universidade pública e de qualidade teria sido tarefa mais difícil. Por fim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Uma das atividades realizadas visando uma operação ótima de um sistema de distribuição é realizar a reconfiguração da rede. Esta atividade pode visar vários aspectos, como: minimizar as perdas elétricas, melhorar o balanceamento das cargas, melhorar o nível de tensão nas barras do sistema e restaurar a rede em caso de contingências. A reconfiguração consiste na abertura e/ou fechamento de chaves, entre outros componentes da rede, podendo estar estas chaves em duas posições, chaves normalmente fechadas (seccionadoras) ou normalmente abertas (interconexão), sempre mantendo a restrição de radialidade. Desta forma, encontrar a melhor topologia em redes de grande porte ou reais representa um desafio, sendo necessária a utilização de técnicas de otimização. Neste processo a radialidade um fator que aumenta a complexidade da solução do problema. Neste trabalho é utilizado um algoritmo baseado no princípio da Seleção Clonal, visando reduzir as perdas ativas e atendendo um grupo de restrições de operação, tais como a radialidade da rede, níveis de tensão e corrente nas barras e linhas.

Palavras-chaves: Sistemas de distribuição, Reconfiguração de redes elétricas, Otimização, Redução de perdas, Seleção Clonal

ABSTRACT

One of the activities aimed at optimum operation of a distribution system is to carry out network reconfiguration. This activity can address several aspects, such as: minimizing electrical losses, improving load balancing, improving the system bus voltage level and restoring the network in case of contingencies. The reconfiguration consists in the opening and / or closing of keys, among other components of the network, these keys can be in two positions, normally closed (disconnectors) or normally open (interconnection) keys, always maintaining the radiality restriction. In this way, finding the best topology in large or real networks represents a challenge, requiring the use of optimization techniques. In this process the radiality is a factor that increases the complexity of the solution of the problem. In this work an algorithm based on the clonal selection principle is used, aiming to reduce the active losses and attending a group of operating restrictions.

Keywords: Distribution systems, Reconfiguration of electrical networks, Optimization, Loss reduction, Clonal selection

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Estrutura de Barras Simples	14
Figura 2.2 - Diagrama unifilar de subestação com dupla alimentação	15
Figura 2.3 - Subestação com barramentos duplicados.....	16
Figura 2.4 - Foto de subestação	16
Figura 2.5-Circuito equivalente de uma linha de transmissão curta.....	17
Figura 2.6 - Simbologia para chaves seccionadoras e disjuntores.....	20
Figura 2.7-Modelo de um Transformador Fora do Tap	21
Figura 2.8-Modelo de Regulador de Tensão	22
Figura 2.9-Cálculo da Tensão de Barra.....	27
Figura 2.10-Fluxograma Fluxo de Carga Método de Varredura	29
Figura 2.11 - Esquema de sistema de distribuição	24
Figura 3.1 - Mecanismos de defesa e seus principais mediadores	33
Figura 3.2 - Esquema do princípio da Seleção Clonal.....	35
Figura 3.3 - Rede de 14 barras IEEE	37
Figura 3.4 - Fluxograma algoritmo clonal	42
Figura 4.1 - Rede de 33 barras.....	44
Figura 4.2 - Desempenho da metodologia, rede de 33 barras	45
Figura 4.3 - Perfil das tensões antes e depois da reconfiguração (rede 33 barras)	46
Figura 4.4 - Rede de 70 barras.....	47
Tabela 4.5 - Resultados para rede de 70 barras (carga leve).....	47
Tabela 4.6 - Resultados para rede de 70 barras (carga normal)	47
Tabela 4.7 - Resultados para rede de 70 barras (carga pesada).....	48
Figura 4.8 - Desempenho da metodologia, rede de 70 barras	48
Figura 4.9 - Perfil das tensões antes e depois da reconfiguração (rede 70 barras)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Exemplo de uma solução composta por 10 barras	37
Tabela 3.2 – Rede de 14 barras IEEE	37
Tabela 3.3 - População para a rede de 14 barras	38
Tabela 3.4 - Quantidade de clones para a população (item 3.4.1)	38
Tabela 3.5 - Quantidade de clones para a população (item 3.4.1)	40
Tabela 4.1 - Valores dos parâmetros próprios da metodologia	43
Tabela 4.2 - Resultado para a rede de 33 barras (carga leve)	44
Tabela 4.3 - Resultado para a rede de 33 barras (carga normal)	44
Tabela 4.4 - Resultados para a rede de 33 barras (carga pesada)	45
Tabela 4.5 - Resultados para rede de 70 barras (carga leve)	47
Tabela 4.6 - Resultados para rede de 70 barras (carga normal)	48
Tabela 4.7 - Resultados para rede de 70 barras (carga pesada)	48

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

FC – Fator de carga

FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

FP – Fluxo de potência

NA – Normalmente aberta

NF – Normalmente fechada

QEE – Qualidade de Energia Elétrica

RSDEE – Reconfiguração de sistemas de distribuição de energia elétrica

SE - Subestação

SI – Sistema imunológico

SDEE – Sistema de distribuição de energia elétrica

VTCD – Variação de Tensão de Curta Duração

VTLD – Variação de Tensão de Longa Duração

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVO GERAL	10
1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	11
1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO	14
2.1. MODELAGEM DOS COMPONENTES DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	14
2.1.1. MODELO DE SUBESTAÇÃO	14
2.1.2. MODELO DE LINHA CURTA.....	17
2.1.3. MODELAGEM DA CARGA	17
2.1.3.1. CARGAS DE POTÊNCIA CONSTANTE COM A TENSÃO.....	18
2.1.3.2. CARGA DE CORRENTE CONSTANTE COM A TENSÃO	18
2.1.3.3. CARGA DE IMPEDÂNCIA CONSTANTE COM A TENSÃO.....	19
2.1.4. MODELAGEM DE BANCO DE CAPACITORES	19
2.1.5. CHAVES DE INTERRUÇÃO E INTERCONEXÃO	20
2.1.6. MODELAGEM DO TRANSFORMADOR	20
2.1.7. MODELAGEM DE REGULADORES DE TENSÃO.....	22
2.2. PROBLEMA DE RECONFIGURAÇÃO DE REDES ELÉTRICAS.....	23
2.3. CÁLCULO DO FLUXO DE CARGA PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	25
2.3.1. MÉTODO DE VARREDURA.....	26
2.3.2. MODELO MATEMÁTICO DO PROBLEMA DE RECONFIGURAÇÃO DE REDES ELÉTRICAS.....	29
3. ALGORITMO DE SELEÇÃO CLONAL.....	32
3.1. SISTEMA IMUNOLÓGICO	32
3.2. SISTEMA IMUNE ADAPTATIVO	33
3.3. PRINCÍPIO DA SELEÇÃO CLONAL	34

3.4.	ALGORITMO CLONAL.....	36
3.4.1.	REPRESENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO (ANTICORPO).....	37
3.4.2.	AVALIAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO (AFINIDADE)	38
3.4.3.	PARÂMETROS DO ALGORITMO	38
3.4.4.	GERAÇÃO DA POPULAÇÃO INICIAL	39
3.4.5.	CLONAGEM DOS INDIVÍDUOS.....	39
3.4.6.	Mutação dos clones	40
3.4.7.	SELEÇÃO DOS MELHORES INDIVÍDUOS AVALIADOS PARA PRÓXIMA GERAÇÃO.....	41
3.4.8.	EDIÇÃO DE RECEPTORES	41
3.4.9.	VERIFICAÇÃO DO CRITÉRIO DE PARADA.....	41
4.	RESULTADOS.....	43
4.1.	SISTEMA DE 33 BARRAS.....	43
4.2.	SISTEMA DE 70 BARRAS.....	46
5.	CONCLUSÕES	50
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
	ANEXO A – SISTEMA DE 33 BARRAS E 37 LINHAS	57
	ANEXO B – SISTEMA DE 70 BARRAS E 74 LINHAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

A busca pela eficiência na operação dos sistemas elétricos como um todo, nas diversas áreas da engenharia é constante, visando principalmente minimizar custos (perdas), procurando utilizar cada vez mais softwares e menos hardwares que sejam eficientes e sustentáveis. Já nos sistemas de distribuição de energia elétrica (SDEE), a preocupação é cada vez maior para operar estas redes de forma eficiente, visando atender uma boa Qualidade de Energia Elétrica (QEE). Este aspecto tem evoluído com a criação na Agência Nacional de Energia Elétrica, Aneel, de diferentes índices de QEE cada vez mais rigorosos.

Um aspecto relacionado à QEE (PRODIST ANEEL, 2017) é a interrupção do fornecimento de energia elétrica, sendo este o ponto mais fraco da rede como um todo. Pois as normas são rigorosas com respeito aos índices coletivos de interrupção que são a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC), e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). Outros indicadores de QEE que se referem a qualidade de forma de onda são Variações de Tensão de Longa Duração (VTLD's), Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD's), Equilíbrio de Tensões, harmônicas, entre outras (PRODIST ANEEL, 2017). Todos esses índices tendem a ser mais rigorosos futuramente, gerando para as empresas de distribuição a preocupação em atender a todos os consumidores com qualidade. Acrescenta-se a esta tendência, o aumento da complexidade das redes elétricas, seja pela expansão, instalação de novos equipamentos, pelo crescimento da demanda de carga dos consumidores ou pela utilização cada vez maior de cargas não lineares, o que leva a um aumento da complexidade de operação das redes elétricas (BARBOSA, 2012).

Por outro lado, tem-se parâmetros próprios da operação da rede elétrica, como são as perdas elétricas, estabilidade da rede, controle de reativos, entre outros. Estes aspectos sempre foram analisados pelas empresas, pois alguns destes reduzem os custos de operação, como é o caso das perdas elétricas, que é o foco deste trabalho.

Atualmente 8% são as perdas elétrica em média nos sistemas de distribuição (ANEEL, 2013). Sua redução traz menores correntes nos alimentadores, desta forma, maior capacidade de fornecimento, aumento da vida útil dos equipamentos, adiamento de investimentos para a expansão do sistema, redução do uso de combustíveis e melhoria na qualidade da energia elétrica (POSSAGNOLO, 2015). Sendo estas vantagens a motivação do presente trabalho, que traz redução de custos.

Uma das ações para reduzir as perdas elétricas é através da reconfiguração das redes elétricas, sendo esta possível pelo fato da rede ser construída de forma malhada e operar de forma radial, ou seja, em alguns trechos existem chaves, as quais podem estar normalmente abertas (NA) ou normalmente fechadas (NF). O fechamento de um número de chaves NF e a abertura do igual número de chaves NA permitem reconfigurar a rede, gerando uma nova configuração e conseqüentemente uma estimação de estado diferente.

Surge desta forma a pergunta, qual configuração apresenta a menor perda elétrica e satisfaz certas restrições? Em redes de grande porte é necessário utilizar métodos de otimização, sendo neste trabalho utilizado a Seleção Clonal um método de otimização amplamente utilizado em diversas áreas do conhecimento. Este método é baseado no princípio da Seleção Clonal realizada pelo Sistema Imunológico Adaptativo, o qual seleciona os melhores anticorpos para o combate aos antígenos e em seguida realiza a clonagem destes (DE CASTRO & VON ZUBEN, 2001). O algoritmo segue o mesmo princípio, selecionando as melhores soluções (anticorpos) para o problema, clonando-as e em seguida realizando mutações sucessivas, no intuito de encontrar uma com a maior afinidade possível, ou seja, um arranjo de reconfiguração que nos de as menores perdas ativas possíveis.

1.1. OBJETIVO GERAL

A rede elétrica cresce constantemente demandando cada vez mais potência do sistema, tornando mais complexa sua operação. Medidas a longo prazo para os transtornos que esse crescimento causa seriam a expansão do sistema e investimentos em infraestrutura, o que exige um planejamento com custo elevado. Uma solução de curto e médio prazo é a reconfiguração do SDEE que poderia reduzir as perdas elétricas, o qual é o objetivo principal do presente trabalho. Esta se dá por meio de manobras de chaves que interconectam os alimentadores podendo ser comandadas remotamente ou não (PEREIRA, 2014). Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo de modelar o problema de reconfiguração de sistemas de distribuição visando a redução de perdas elétricas ativas e resolver este modelo utilizando a técnica de otimização da Seleção Clonal.

Quanto aos objetivos específicos tem-se, apresentar trabalhos encontrados na literatura que tratam este tema, desenvolver a ferramenta de cálculo para fluxo de carga em sistemas de

distribuição de energia elétrica (RSDEE) e validar os resultados com outras técnicas encontradas na literatura.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro trata da introdução ao problema a ser resolvido, abordando os objetivos do trabalho. Em seguida, o segundo capítulo traz uma elucidação sobre o sistema de distribuição de energia elétrica de forma geral, modelando cada um dos seus componentes elétricos.

Já o terceiro capítulo apresenta brevemente os conceitos da técnica de otimização aplicada neste trabalho, desenvolvendo conceitos do Sistema Imunológico e dando maior ênfase ao Sistema Adaptativo que é princípio da Seleção Clonal. No quarto capítulo são apresentados e discutidos, os resultados obtidos aplicando o algoritmo de Seleção Clonal em redes elétricas de pequeno e médio porte. Finalmente é apresentada as conclusões do trabalho realizado.

1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O problema de RSDEE visando à redução das perdas ativas na rede elétrica foi proposto pela primeira vez por Merlin e Back (MERLIN & BACK, 1975), seguidos por (CIVANLAR, J. GRAINGER, YIN, & S. LEE, 1988), (BARAN & WU, 1989) e por (SHIRMOHAMMADI & HONG, 1989). Merlin se utilizou da heurística destrutiva através da abertura sequencial de chaves (MERLIN & BACK, 1975). Civanlar se baseou em técnicas exatas, propondo um método para determinar a configuração dos alimentadores do SDEE buscando redução das perdas reais, aplicando um algoritmo heurístico puro, baseado no branch exchange, ou permuta de ramos. Outro trabalho similar ao de Civanlar é de Aoki (AOKI et al., 1988), que realiza a permuta de ramos em sistemas radiais. Baran e Shirmohammadi, similarmente a Civanlar, empregaram a heurística de permutação de ramos, contudo ela não se mostrou eficaz para redes de grande porte.

O recozimento simulado desenvolvido por (CHIANG e BARAN, 1990) também foi utilizado para resolver o problema da reconfiguração, por demandar menor esforço computacional. Chiang conseguiu bons resultados para redes de pequeno porte, posteriormente (JEON et al., 2002) desenvolveu o mesmo tipo de algoritmo para redes

maiores. Redes neurais também se mostraram eficazes para redes pequenas e médias (KIM et al., 1993), (HSU e HUANG, 1995) e (KASHEM et al., 1998).

Com o intuito de se obter resultados satisfatórios para redes maiores, técnicas meta-heurísticas vem sendo aplicadas, temos como exemplo a Colônia de Formigas (SU et al., 2005), (ABDELAZIZ, OSAMA, ELKHODARY & EL-SAADANY, 2005), colônia de abelhas (NIKNAM, 2009) e (RUPOLO, 2013) que utiliza a meta-heurística por busca dispersa para minimização de perdas ativas.

Devido à natureza combinatória do problema de RDEE, os algoritmos evolucionários também estão sendo empregados, entre os mais utilizados estão os algoritmos genéticos em (FUKUYAMA et al., 1996) (ZHU, 2002), (MENDOZA, LÓPEZ, MORALES & LÓPEZ, 2006) e (CARRENO, ROMERO & PADILHA-FELTRIN, 2008). Assim como no presente trabalho (SOUZA e ROMERO, 2014) aplicam a mesma técnica desenvolvida neste trabalho, Seleção Clonal. Os autores implementam de forma fiel o algoritmo original e comparam os resultados com trabalhos da bibliografia. A diferença entre e (SOUZA e ROMERO, 2014) e este trabalho está na forma de aplicação dos operadores de clonagem e mutação. Sendo que neste trabalho foi aplicado técnicas de guia para encontrar melhores respostas mais rápidas e critérios matemáticos diferentes na operação de clonagem. Para o problema de restabelecimento da energia elétrica, ainda se tratando de redes de grande porte, (MARQUES, 2013) utiliza um algoritmo evolutivo multi-objetivo para realizar a reconfiguração do sistema, (ROMANO, et al., 2013) também se utiliza de um algoritmo multi-objetivo baseado na heurística para reconfigurar redes reais, alcançando melhores níveis de tensão.

Quando se utiliza algoritmos evolutivos a codificação de cada indivíduo da população é muito importante, e levando em consideração que as redes de distribuição possuem várias restrições como codificações, a garantia da radialidade do sistema, trabalhos baseados na teoria de grafos, (SWARNKAR, GUPTA & NIAZI, 2011), (REIS, et al., 2012) e (SANCHES, 2013), possuem as vantagens da diminuição dos espaços de busca e nos poupam da verificação da existência de ciclos nos grafos.

Os trabalhos mais recentes nesta área consideram uma rede inteligente (do inglês smart grid), onde as chaves são comandadas remotamente (BERNARDON, V. J. GARCIA, DAZA, L. COMASSETTO & NOGUEIRA, 2010), (MELLO, SPERANDIO, PFITSCHER & BERNARDON, 2012), (CAVALCANTE, 2013), (PFITSCHER, 2013) e (FONSECA, 2017). Podemos citar também a abordagem de (II-HYUNG LIM, 2009) que considera a integração do sistema de automação de distribuição da concessionária com a rede inteligente. Outros

trabalhos que consideram a reconfiguração em redes inteligentes são (PEREIRA, et al., 2014) e (BENTO, 2013). Com o intuito de se melhorar os indicadores de serviço nos smart grid considerando a geração distribuída (ZANCHETTA, 2016) e (MELLO, 2014) se utilizam do método multicriterial para realizar a reconfiguração do sistema.

2. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

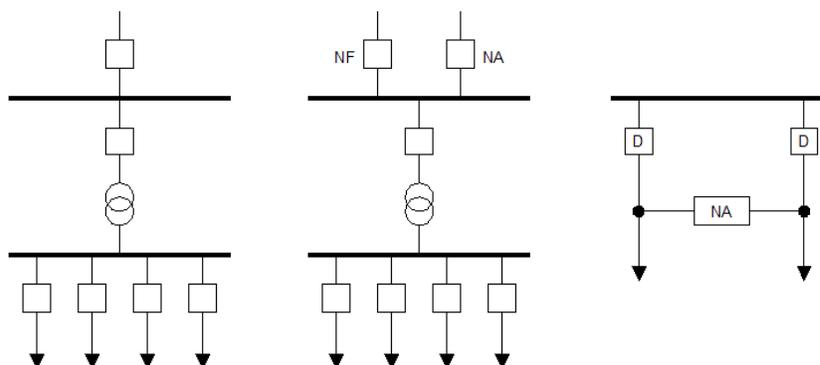
2.1. MODELAGEM DOS COMPONENTES DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para análise de fluxo de potência é necessário que os componentes dos SDEE sejam modelados. As continuações são indicadas os modelos dos diversos componentes do SDEE.

2.1.1. MODELO DE SUBESTAÇÃO

São as subestações (SE) que transformam a tensão da subtransmissão 69 a 138 kV, para tensão de distribuição primária, 13,8 kV. Com a finalidade de ter diversos níveis de confiabilidade, os transformadores são instalados na SE, nas quais estão conectados aos barramentos através de várias chaves, visando a proteção da linha de transmissão no caso de alguma falta, sendo uma NA e a outra NF, como ilustra a *Figura 2.1*. Nos alimentadores primários, saída da SE, são instaladas chaves de interconexão para se transferir o fluxo de potência de um para outro, no intuito de se realizar manutenções. Essa manobra é feita em horários de carga leve, madrugada. Esse tipo de configuração está ilustrado na *Figura 2.2* (KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA, 2010).

Figura 2.1 - Estrutura de Barras Simples

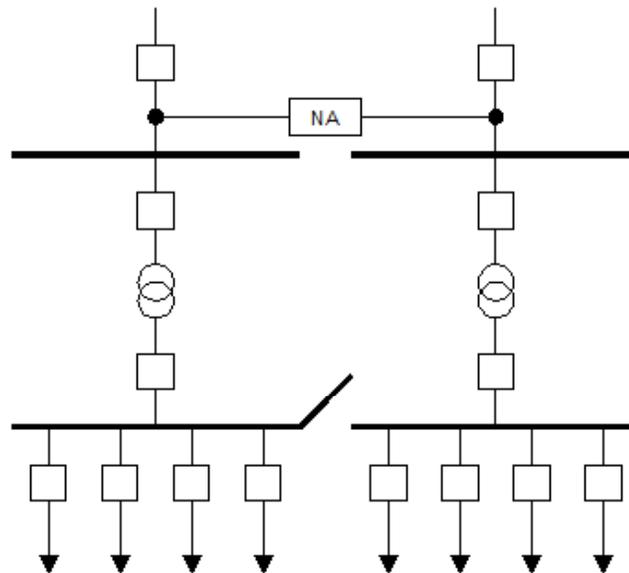


Fonte: Adaptado de (KAGAN, et al., 2010)

Em locais onde a densidade de carga é muito alta temos mais de um transformador na subestação, como ilustrado na *Figura 2.3*, com alimentação dupla, com barramentos de alta independentes e a barra de media seccionada, aumentando a confiabilidade.

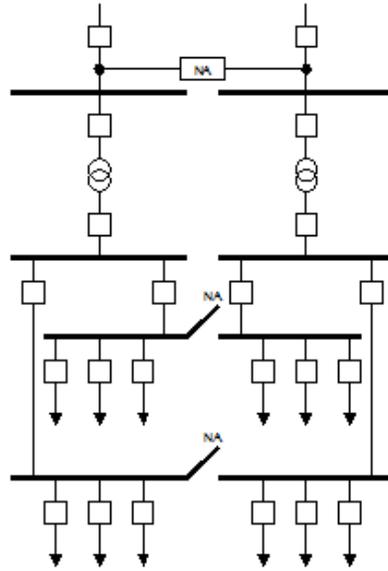
Em caso de contingencia ou manutenção de um dos transformadores ele é isolado, e toda a carga de um alimentador passa para o outro. Para essa manobra ser possível é preciso que cada transformador seja capaz de suprir toda a demanda da SE. Sendo assim a potência instalada é a soma das potencias nominais de todos os transformadores, e a potência firme é aquela que a SE pode suportar quando da saída de serviço do maior transformador existente (KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA, 2010). Na *Figura 2.4* tem-se um exemplo de subestação.

Figura 2.2 - Diagrama unifilar de subestação com dupla alimentação



Fonte: Adaptado de (KAGAN, et al., 2010)

Figura 2.3 - Subestação com barramentos duplicados



Fonte: Adaptado de (KAGAN, et al., 2010)

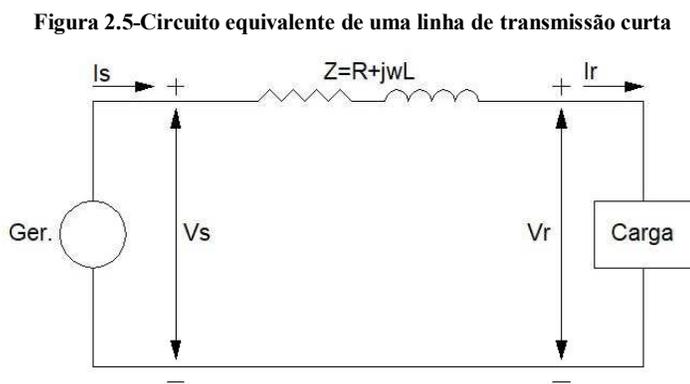
Figura 2.4 - Foto de subestação



Fonte: (www.iberobras.com.br)

2.1.2. MODELO DE LINHA CURTA

O modelo de linha curta é utilizado para redes primárias e secundárias, com linhas de até 80 km de comprimento. Sendo que no modelo desta linha é desprezada a capacitância em derivação, por ser um valor muito pequeno, e considera-se a resistência R e a indutância L em série, como ilustrado na *Figura 2.5*. O equacionamento que relaciona os parâmetros da linha é aplicando as leis de Kirchhoff (STEVENSON,1986).



Fonte: (STEVENSON, 1986)

Este é um circuito CA série, simples de se resolver onde:

$$I_s = I_r \quad (2.1)$$

E

$$V_s = V_r + I_r Z \quad (2.2)$$

2.1.3. MODELAGEM DA CARGA

As cargas podem ser representadas de acordo com seu comportamento frente à variação de tensão aplicada, sendo três os modelos a serem utilizados, de potência constante, de corrente constante e de impedância constante.

2.1.3.1. CARGAS DE POTÊNCIA CONSTANTE COM A TENSÃO

As potências ativas e reativas dessas cargas são invariantes com a tensão a elas aplicada. Um motor pode ser um exemplo deste tipo de carga, pois a potência elétrica por ele absorvida e transmitida para seu eixo é constante independente da tensão (KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA, 2010).

$$S_{nf} = S_{nf} \angle \theta = P_{nf} + jQ_{nf} \quad (2.3)$$

A corrente pode ser obtida por:

$$I_f = \frac{S_{nf}}{V_f} \angle \theta - \varphi \quad (2.4)$$

Onde:

S_{nf} : potência aparente absorvida por uma carga monofásica

P_{nf} : potência ativa absorvida por uma carga monofásica

Q_{nf} : potência reativa absorvida por uma carga monofásica

I_f : corrente absorvida por uma carga monofásica

V_f : tensão nominal aplicada a carga

θ : ângulo de defasagem da tensão

φ : ângulo de defasagem da potência aparente

2.1.3.2. CARGA DE CORRENTE CONSTANTE COM A TENSÃO

Essas cargas não alteram o módulo nem o ângulo de fase da corrente absorvida com a variação da tensão, são essas cargas fornos a arco, lâmpadas de descarga, vapor de mercúrio, vapor de sódio entre outras. O que varia é a potência absorvida, que é linear em relação a tensão aplicada na mesma (KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA, 2010).

Para qualquer valor de tensão $V_f \angle \theta$, teremos uma corrente constante $I_{nf} \angle \theta - \varphi$. E a potência absorvida pela carga será:

$$S_f = V_f I_{nf} \cos(\varphi) + jV_f I_{nf} \sin(\varphi) \quad (2.5)$$

Onde:

S_f : potência aparente absorvida pela carga

V_f : tensão aplicada a carga

I_{nf} : corrente nominal absorvida pela carga

θ : ângulo de defasagem da tensão

φ : ângulo de defasagem da potência aparente

2.1.3.3. CARGA DE IMPEDÂNCIA CONSTANTE COM A TENSÃO

Essas cargas não variam sua impedância com a variação da tensão, tais como capacitores e resistências elétricas. O que varia é a potência absorvida que é quadraticamente proporcional a tensão. Podemos observar esse fenômeno com a equação a seguir (KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA, 2010).

$$S_f = \left(\frac{V_f}{V_{nf}} \right)^2 S_{nf} \quad (2.6)$$

Onde:

S_f : potência aparente absorvida pela carga

V_f : tensão aplicada a carga

V_{nf} : tensão nominal da carga

S_{nf} : potência nominal da carga

2.1.4. MODELAGEM DE BANCO DE CAPACITORES

Os capacitores são conectados à rede para fornecimento de potência reativa, com o intuito de melhorar o fator de potência e auxiliar nos níveis de tensão. Em sistemas trifásicos pode ser conectado em estrela ou delta, em sistemas monofásicos tem-se a possibilidade de instalá-lo entre as linhas ou entre a linha e a terra. No sistema ele pode ser modelado como uma carga de impedância constante com a tensão (BARBOSA,2012).

$$S_f = \left(\frac{V_f}{V_{nf}} \right)^2 S_{nf} \quad (2.7)$$

Onde:

S_f : potência aparente absorvida pelo banco de capacitores

V_f : tensão aplicada ao banco de capacitores

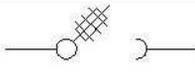
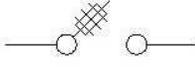
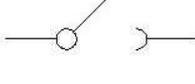
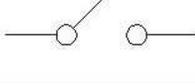
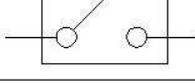
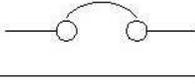
V_{nf} : tensão nominal do banco de capacitores

S_{nf} : potência nominal do banco de capacitores

2.1.5. CHAVES DE INTERRUPTÃO E INTERCONEXÃO

As chaves são equipamentos onde as perdas são mínimas podendo considerar elas como ideais, logo são tratadas como uma variável binária estando abertas ou fechadas. Alguns exemplos são indicados na *Figura 2.6*, como chaves seccionadoras e disjuntores.

Figura 2.6 - Simbologia para chaves seccionadoras e disjuntores.

	Chave seccionadora com fusível. Abertura em carga.
	Chave seccionadora com fusível. Abertura sem carga.
	Chave seccionadora. Abertura em carga.
	Chave seccionadora. Abertura sem carga.
	Disjuntor a óleo.
	Disjuntor a seco.

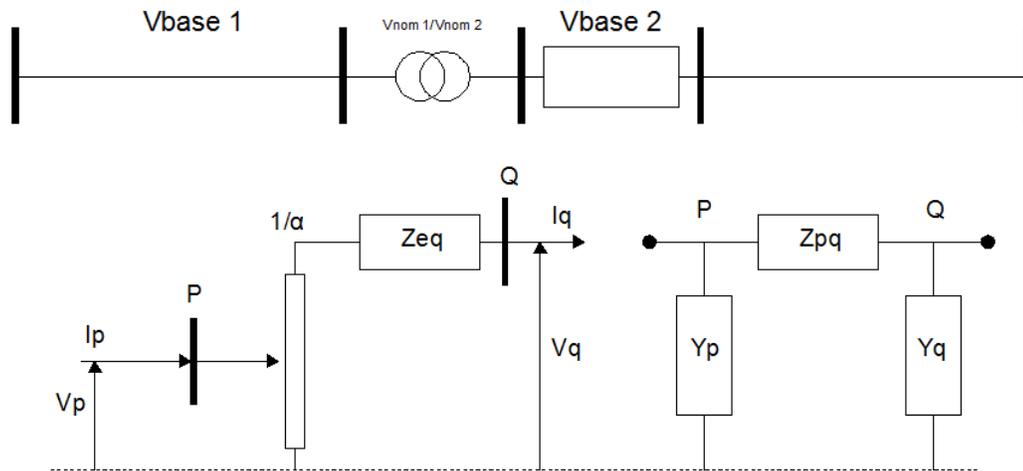
Fonte: (IEC60417)

2.1.6. MODELAGEM DO TRANSFORMADOR

O transformador é um dispositivo usado para alterar valores de tensão em corrente alternada. Ele é baseado nos princípios eletromagnéticos da Lei de Faraday e Lei de Lenz. O funcionamento do transformador é bem simples, ele possui um núcleo e enrolamentos, bobinas. O que ele faz é transmitir a corrente de um enrolamento para outro, a partir de

eletromagnetismo. Com isso é possível controlar o valor da tensão de saída a partir da tensão de entrada. Seguindo as Leis de Faraday e de Lenz, para criarmos corrente em um circuito a partir de um campo magnético ele precisa ser variável, ou seja, os transformadores só funcionam com corrente alternada. Para se representar um transformador na rede deve-se levar em conta sua potência e tensão nominal, se essas forem iguais às de base ele será representado por uma impedância equivalente, chama-se este caso de tap nominal. Caso contrário, fora do tap nominal, usa-se a representação em π equivalente, a qual observa-se nas representações abaixo, *Figura 2.7* (KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA, 2010).

Figura 2.7-Modelo de um Transformador Fora do Tap



Fonte: (KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA, 2010)

A relação de espiras, α do Trafo é dada por:

$$\alpha = \frac{V_{nom2}V_{base1}}{V_{nom1}V_{base2}} \quad (2.8)$$

Para realizar a modelagem do circuito π equivalente precisamos definir as relações entre as correntes e tensões:

$$V_p = \frac{1}{\alpha} V_q + \frac{Z_{eq}}{\alpha} I_q \quad (2.9)$$

$$I_p = I_q \alpha \quad (2.10)$$

As impedâncias e admitâncias são definidas pelas seguintes equações:

$$Z_{pq} \frac{Z_{eq}}{\alpha} \quad (2.11)$$

$$Y_q = (1 - \alpha) \frac{1}{Z_{eq}} \quad (2.12)$$

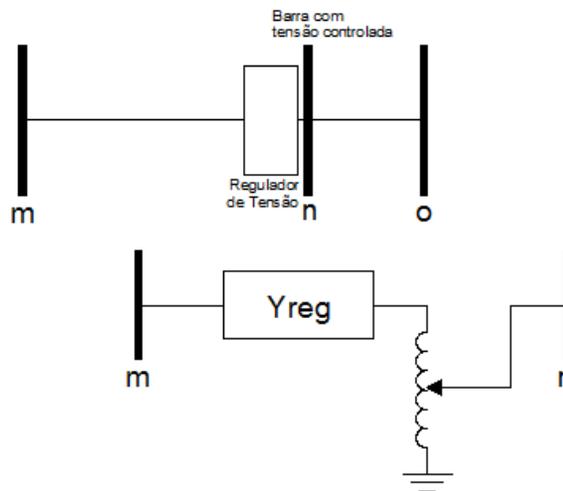
$$Y_p = (\alpha - 1) \frac{\alpha}{Z_{eq}} \quad (2.13)$$

2.1.7. MODELAGEM DE REGULADORES DE TENSÃO

A demanda dos consumidores varia durante o dia, sendo que no horário pico, os níveis de tensão diminuem, criando a necessidade de elevar estes níveis de tensão. Um equipamento que visa este aumento de tensão é o regulador de tensão. Esses equipamentos podem ser transformadores e/ou capacitores shunt, os quais são conectados à rede elétrica visando manter a tensão em um nível pré-estabelecido (PEREIRA, 2009).

Os reguladores de tensão ajustáveis são modelados como autotransformadores de tap central regulável, podendo eles serem inseridos na linha ou na subestação. Na *Figura 2.8* é representada a modelagem do mesmo, uma impedância em serie com um transformador de tap regulável, interligando duas barras.

Figura 2.8-Modelo de Regulador de Tensão



Fonte: (PEREIRA, 2009)

A equação que descreve este modelo é:

$$V_s = V_e \left(1 + \frac{tap * fx}{100 * np} \right) \quad (2.14)$$

Onde:

np : é número de posições no tap;

fx : é a faixa de regulação do equipamento;

V_e : é a tensão de entrada;

V_s : é a tensão de saída.

2.2. PROBLEMA DE RECONFIGURAÇÃO DE REDES ELÉTRICAS

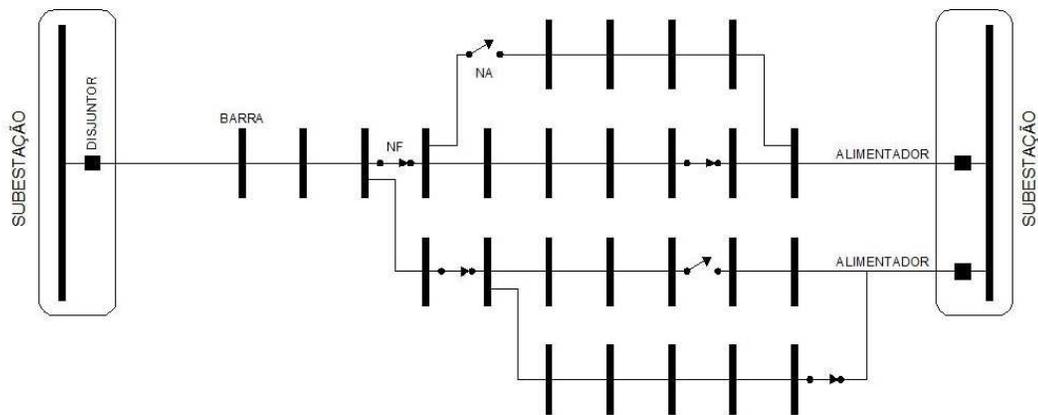
Na etapa da distribuição da energia elétrica é onde ocorrem as maiores perdas segundo a Associação Brasileira de Distribuição de Energia Elétrica ABRADDEE, além de ser responsável pela maior parte das interrupções no fornecimento, 80% (CHOWDHURY e KOVAL, 2009). Tendo em vista este problema é cabível que se adote medidas para a redução das perdas, sendo uma delas a RSDEE tratado neste trabalho. As vantagens que se obtém ao minimizar as perdas são, aumento a vida útil dos equipamentos, melhoramento do perfil de tensão (impacto na qualidade da energia elétrica), adiamento de reforços na rede como um todo incluindo transmissão e geração entre outros. (POSSAGNOLO, 2015).

Além da minimização das perdas consequência da RSDEE tem-se outros motivos para sua aplicação, por exemplo, o crescimento da demanda de energia elétrica, o aumento da complexidade das redes elétricas, o aumento das cargas não lineares (eletrônicas). Estes aspectos trazem problemas, carregamento dos alimentadores, interrupções de um número maior de consumidores, presença de correntes harmônicas na rede elétrica respectivamente. Desta forma a RSDEE pode proporcionar ganhos financeiros para as concessionárias de energia elétrica. Pois de outra forma, essas empresas deveriam construir alimentadores, reforçar subestações, conectar equipamentos mais modernos (BARBOSA, 2012).

Por outro lado, a demanda por energia elétrica tem um aumento significativo, principalmente em locais de grande densidade demográfica (grandes centros urbanos e suas periferias), tornando cada vez difícil a operação e manutenção dos sistemas de distribuição. Uma solução a longo prazo para esse problema é a expansão da rede elétrica, aumentando o número de alimentadores, a capacidade das subestações, conectando novos equipamentos

como já mencionado. Contudo podemos esbarrar em limitações econômicas e ambientais (BARBOSA, 2012). Outra solução como já mencionada e proposta neste trabalho, é através da RSDEE, que é extremamente benéfica a curto e médio prazo, sendo economicamente viável para a concessionária, uma vez que se trata da operação inteligente de chaves de interconexão (NA) e/ou chaves seccionadoras (NF), com o objetivo de se alterar o fluxo de potência, redistribuindo o mesmo de uma forma melhor (LEE, 1994). Na *Figura 2.11* tem-se um exemplo de rede com suas chaves, alimentadores e barramentos.

Figura 2.9 - Esquema de sistema de distribuição



Fonte: (Autoria própria)

A operação das chaves citadas anteriormente tem o objetivo de adequar à rede elétrica (trocando cargas entre alimentadores) visando operar de forma mais ótima e trazendo uma melhoria de índices QEE. Outro aspecto que trata a reconfiguração é a restauração da rede elétrica dada uma interrupção de energia elétrica, a qual tem um caráter emergencial, ou seja, a preocupação principal é o reestabelecimento da energia o mais rápido possível, realizada através de várias formas dentre elas a abertura e fechamento de chaves de interconexão e seccionadoras (BARBOSA,2012).

Quanto a forma de alterar a rede elétrica, existem duas possibilidades, a primeira, a rede possui chaves automatizadas e a segunda possui chaves manuais como é o caso da grande maioria de redes elétricas. Na primeira a reconfiguração é feita através de operações de chaveamento remotas e de forma dinâmica, ou seja, varia de acordo com a demanda de energia elétrica e necessidades do operador. Por outro lado, um número elevado de chaveamentos não é benéfico para a rede elétrica, pois, poderia danificar equipamentos e

cargas sensíveis provocando afundamentos (sag) e elevações (swell) de curta duração. Já na segunda possibilidade apenas uma configuração é necessária para qualquer demanda da rede elétrica. No Brasil, uma equipe de manutenção é mobilizada para a realização da tarefa de abertura ou fechamento de chaves na rede elétrica. (POSSAGNOLO, 2015).

A reconfiguração de uma rede elétrica deve ser encarada como um problema combinatório, uma vez é desejável obter o melhor arranjo da rede, para redução das perdas elétricas. A solução destes problemas não é tarefa fácil, pois o número de possíveis soluções cresce exponencialmente com o tamanho do problema (CARRANO, 2007). Acrescenta-se a esta complexidade a característica matemática do problema, que é, não sendo possível resolver este problema utilizando técnicas clássicas, precisando ser resolvidas por técnicas não exatas, como são as metaheurísticas, as quais não garantem a melhor solução para redes de grande porte ou redes reais.

Com o intuito de se resolver esses diversos problemas foram desenvolvidos os algoritmos evolucionários, os quais têm por objetivo emular a evolução natural das espécies onde os indivíduos mais adaptados ao meio têm maiores chances de sobrevivência (BARBOSA, 2012). Outra grande vantagem dos Algoritmos Genéticos é a sua versatilidade, não necessitando de grandes adaptações para a aplicação em estruturas complexas.

Existem diversos tipos de algoritmos evolucionários, contudo neste trabalho é utilizado o algoritmo de Seleção Clonal ou Algoritmo Clonal, proposto por (DE CASTRO e VON ZUBEN, 2002), o qual é baseado no funcionamento do Sistema Imunológico dos animais.

2.3. CÁLCULO DO FLUXO DE CARGA PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO

O cálculo de fluxo de potência é utilizado para estimar as perdas elétricas na rede avaliada. De forma geral, através de uma análise de fluxo de carga se estima o estado da rede (módulos e ângulos das tensões nas barras, correntes, perdas e a fluxo de potência nas linhas) em regime permanente.

Existem vários métodos que estimam os parâmetros da rede elétrica. Um primeiro grupo é voltado para redes de transmissão, neste grupo estão os métodos Newton-Raphson e os desacoplados. Um segundo grupo de métodos são voltados para as redes de distribuição, as quais possuem características próprias, como uma relação de R/X próxima a um e a rede ser

operar de forma radial. Dentre estes métodos tem-se, o método de Varredura e o método de Soma de Potências (POSSAGNOLO, 2015).

2.3.1. MÉTODO DE VARREDURA

O método de Varredura forward/backward (SHIRMOHAMMADI, 1988) como mencionado é voltado para redes que operam de forma radial e utilizado neste trabalho. Este método é iterativo, atualizando os valores de tensões nas barras V_k a partir de valores iniciais iguais ao valor da tensão da subestação V_{ref} , indicado na seguinte expressão:

$$V_k = V_{ref} + j0 \quad (2.15)$$

Onde:

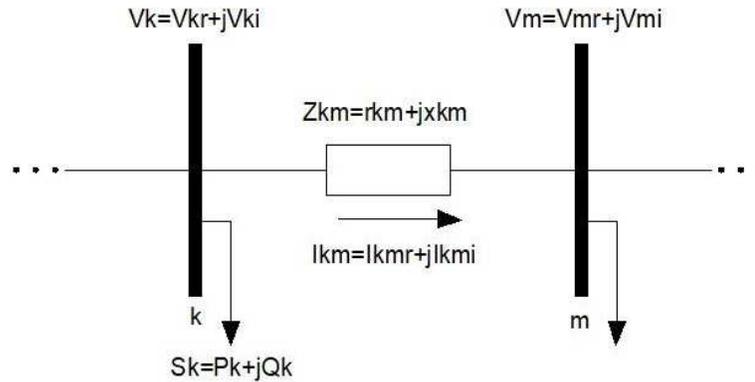
V_{ref} : é a tensão da barra de referência, com ângulo zero.

A partir das tensões e das potências (cargas) se obtêm as correntes em todas as barras para logo ir sentido subestação e calcular as correntes nos trechos da rede elétrica. Este processo é chamado de backward, ou seja, começando pelas barras finais até chegar à subestação. De posse das correntes nos trechos se calcula as tensões nas barras iniciando na da subestação até as barras finais. Este processo é chamado de forward. Com as novas tensões e potências (cargas) calcula-se as correntes nas barras e processo é repetido até obter uma convergência. Este processo é detalhado a seguir (SHIRMOHAMMADI, 1988).

2.3.1.1. PROCESSO BACKWARD

A *Figura 2.9* ilustra um trecho qualquer de um sistema de distribuição com seus respectivos parâmetros.

Figura 2.10-Cálculo da Tensão de Barra



(Fonte: (Autoria própria))

Onde:

- S_k – É a potência complexa na barra k ;
- V_k – É a tensão complexa na barra k ;
- V_m – É a tensão complexa na barra m ;
- I_{km} – É a corrente complexa no trecho k - m ;
- Z_{km} – É a impedância do trecho k - m .

A corrente injetada na barra final k é calculada através da seguinte expressão deste processo:

$$I_k^* = \frac{(P_k + jQ_k) (V_{kr} - jV_{ki})}{(V_{kr} + jV_{ki})(V_{kr} - jV_{ki})} \quad (2.16)$$

$$I_{kr} = \frac{P_k V_{kr} + Q_k V_{ki}}{V_{kr}^2 + V_{ki}^2} \quad (2.17)$$

$$I_{ki} = \frac{P_k V_{ki} + Q_k V_{kr}}{V_{kr}^2 + V_{ki}^2} \quad (2.18)$$

Onde I_k é igual I_{km} . Da mesma forma I_m é calculada utilizando as eqs. (2.17) e (2.18) e somada I_{km} para continuar sentido subestação.

2.3.1.2. PROCESSO FORWARD

Supondo que a barra k na Figura 2.9 está conectado a subestação. A tensão na barra m é calculada utilizando a seguinte expressão:

$$V_{mr} = V_{kr} - r_{km} * I_{kmr} + x_{km} * I_{kmi} \quad (2.19)$$

$$V_{mr} = V_{ki} - r_{km} * I_{kmi} + x_{km} * I_{kmr} \quad (2.20)$$

Desta forma é atualizado os valores de tensões em todas as barras. Uma vez calculado este valores é estimada as perdas nos trechos da rede elétrica através da seguinte expressão:

$$P_{kmp} = r_{km} * I^2_{km} \quad (2.21)$$

$$Q_{kmp} = x_{km} * I^2_{km} \quad (2.22)$$

Para cálculo das perdas totais basta somar as perdas de todos os ramos do sistema

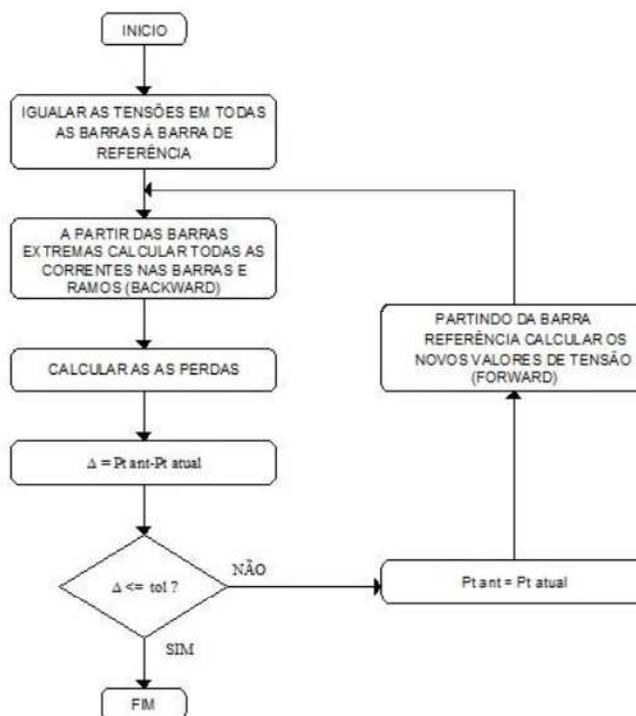
$$P_t = \sum_{(k,m) \in \Omega} r_{km} * I^2_{km} \quad (2.23)$$

$$Q_t = \sum_{(k,m) \in \Omega} x_{km} * I^2_{km} \quad (2.24)$$

Onde:

Ω - todos os ramos do sistema em questão.

Figura 2.11-Fluxograma Fluxo de Carga Método de Varredura



Fonte: (Autoria própria)

2.3.2. MODELO MATEMÁTICO DO PROBLEMA DE RECONFIGURAÇÃO DE REDES ELÉTRICAS

O problema da RSDEE pode ser formulado através da otimização não linear com variáveis inteiras e reais, cuja solução (minimização de perdas ativas) envolve a seleção dentre todas as configurações possíveis, daquela que apresente menores perdas ativas e que satisfaça um conjunto de restrições. De forma geral o problema de reconfiguração de sistemas radiais pode ser formulado como (ZVIETCOVICH, 2006):

$$\text{Min } P_{perdas} = \sum_{km=1}^{Nl} R_{km} |I_{km}|^2 \quad (2.25)$$

Onde:

- P_{perdas} : Potência Ativa Perdida;

- $|I_{km}|$: Magnitude de Corrente na Linha km;
- R_{km} : Resistência na Linha km;
- Nl : Número de Linhas.

Sujeito a:

- Capacidade dos alimentadores;

$$I_{min} < I_n < I_{max}$$

- Capacidade das subestações;

$$I_{min} < I_{sub} < I_{max}$$

- Equações de fluxo de potência;

$$P_{km} = V_k^2 g_{km} - V_k V_m g_{km} \cos \theta_{km} - V_k V_m b_{km} \sin \theta_{km} \quad (2.26)$$

$$Q_{km} = -V_k^2 b_{km} - V_k V_m g_{km} \sin \theta_{km} + V_k V_m b_{km} \cos \theta_{km} \quad (2.27)$$

- Níveis de tensão nas barras;

$$V_{min} < V_i < V_{max}, i = 1, 2, 3 \dots Nb$$

- Radialidade: as redes operam de forma radial, apesar de terem sua forma estrutural malhada, alimentado as diversas cargas do sistema. A radialidade no sistema de distribuição é garantida através das chaves NA e NF, de modo que o fluxo de potência sempre tenha o sentido da fonte para a carga.

Nas quais:

- $V_{min k}$: menor tensão do alimentador k;
- I_n : corrente nominal do alimentador;
- I_{min} : limite mínimo de corrente;
- I_{max} : limite máximo de corrente;
- I_{sub} : corrente nominal da subestação;
- k : barra de origem;

- m : barra de destino;
- P_{km} : potência ativa na linha km;
- V_k : tensão na barra k;
- V_m : tensão na barra m;
- θ_{km} : ângulo de de defasagem da tensão na linha km;
- Q_{km} : potência reativa na linha km;
- g_{km} : resistência do trecho entre as barras k e m;
- b_{km} : reatância do trecho entre as barras k e m;
- V_i : tensão permitida na barra i;
- V_{min} : limite mínimo de tensão;
- V_{max} : limite máximo de tensão;
- N_b : número total de barras;

3. ALGORITMO DE SELEÇÃO CLONAL

3.1. SISTEMA IMUNOLÓGICO

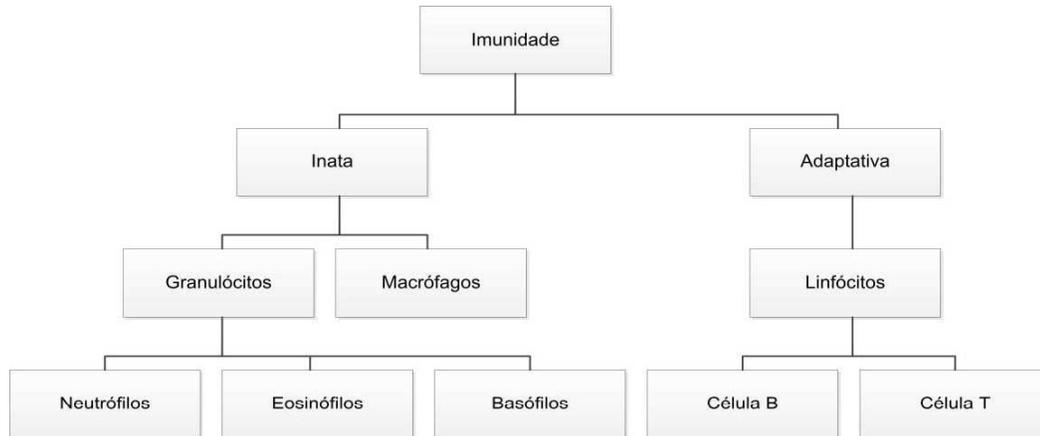
A palavra imunologia é derivada do Latim *immunis* ou *immunitas* cujo significado é “isento de carga”, onde a carga pode referir-se a uma regra ou lei de restrição de direitos e liberdade, ou uma enfermidade, doença (DE CASTRO, 2001). O Sistema Imunológico (SI) é de grande importância para a sobrevivência dos seres vivos, combatendo agentes infecciosos de todos os tipos, se utilizando principalmente de aprendizagem e memória, sendo estas características fundamentais do ponto de vista da engenharia.

Ele é a principal linha de defesa do organismo contra agentes infecciosos que possam por ventura causar doenças. O SI possui duas maneiras distintas de atuação, uma resposta rápida e imediata e outra lenta e prolongada. A primeira denominamos resposta inata e a segunda resposta adaptativa. Os agentes do sistema imune inato são os macrófagos e granulócitos, os quais estão sempre disponíveis para combater prontamente uma variada gama de antígenos, sem a necessidade de um conhecimento prévio sobre os mesmos. Os granulócitos são células do tipo glóbulo branco e são divididas em neutrófilos, eosinófilos e basófilos. Os macrófagos pertencem ao tecido conjuntivo e tem grande afinidade com os linfócitos T e B. as outras células do sistema inato que também são capazes de ingerir e digerir corpos estranhos, e foram citadas anteriormente são, os neutrófilos, os mais numerosos, os eosinófilos, que combatem principalmente parasitas, e os basófilos, cuja função ainda não é bem conhecida (JANEWAY et al., 2000).

O sistema imune que gera uma resposta específica para cada antígeno é o adaptativo, produzindo anticorpos diferentes que se ligam aos corpos estranhos, possibilitando assim sua eliminação e por consequência gerando uma memória. Os dois tipos de células que produzem os anticorpos são os linfócitos B, ou células B e os linfócitos T, ou células T, a *Figura 3.1* mostra como essas células de defesa são divididas. São essas células que desenvolvem a memória imunológica, impossibilitando que o indivíduo desenvolva a mesma doença novamente, uma vez que elas são capazes de reconhecer o mesmo estímulo de certo antígeno, aperfeiçoando-se a cada encontro com o mesmo. A principal diferença entre os linfócitos B e T é onde ocorre sua maturação, apesar de ambos serem produzidos pela medula óssea a partir de células tronco, o primeiro se matura na medula e se instala nos órgãos linfáticos

periféricos, o segundo, linfócitos T, saem da medula e completam sua maturação no timo (SPRENT, 1994; AHMED & SPRENT, 1999).

Figura 3.1 - Mecanismos de defesa e seus principais mediadores



Fonte: (Autoria própria)

A principal diferença entre as duas respostas imunológicas é que a adaptativa age contra a reinfecção por um antígeno já conhecido, através de sua memória uma vez que os linfócitos permanecem inativos na maior parte do tempo, até que sofram um estímulo antigênico. A inata permanece a mesma por todo o período de vida de um organismo, independentemente da existência de antígenos (SCROFERNEKER & POHLMANN, 1998). A ação em conjunto dos dois sistemas propicia uma defesa extremamente eficaz contra germes, bactérias, vírus, entre outros que possam nos causar enfermidades dos diversos tipos.

3.2. SISTEMA IMUNE ADAPTATIVO

Devido à grande relevância deste sistema para o trabalho será abordado de forma mais aprofundada nesta seção. Esse sistema é um sistema encontrado apenas em animais vertebrados, que possuem coluna vertebral, e em geral possuem grande massa corpórea necessitando assim de sistemas especializados para a realização das funções fisiológicas, tornando-os seres mais complexos. O sistema de defesa desses animais tem o caráter de ser preventivo, ou seja, ele se antecipa à enfermidade que certo antígeno possa causar, uma vez que o Sistema Imunológico já tenha se deparado com esse antígeno anteriormente, sendo o

sistema imune adaptativo mais versátil e com um nível de proteção maior do que o sistema imune inato (DE CASTRO, 2001).

Os linfócitos são as principais células do sistema adaptativo. A medula óssea e o timo são os órgãos que produzem essas células, os linfócitos virgens, cada um com a capacidade de se ligar em um único tipo de antígeno, uma vez que um mecanismo de rearranjo gênico localizado nesses órgãos, é capaz de gerar centenas de diferentes variantes dos genes das moléculas receptoras de antígenos. Sendo assim os diferentes linfócitos circulam pela corrente sanguínea do indivíduo durante toda sua vida, e os mesmos sofrem um processo de seleção natural, pois apenas os que conseguem se ligar a algum antígeno são ativados para se diferenciar e proliferar (LEDERBERG, 1988; KLEIN, 1995). As células provenientes da proliferação do linfócito ativado são chamadas de clones e estes liberam anticorpos idênticos aos encontrados em sua superfície celular, com o intuito de combater o antígeno o qual ela possui afinidade. Essa estratégia de defesa do nosso SI, a principal do sistema imune adaptativo, foi batizada de teoria da Seleção Clonal.

Dois mecanismos distintos evoluíram para exercer uma mesma função, a geração de diversidade populacional das imunoglobulinas, ou anticorpos. São eles a recombinação genética e a mutação somática. No desenvolvimento de uma célula B ocorre primeiro a recombinação dos segmentos gênicos, produzindo várias células com diferentes especificidades. Quando uma delas é compatível com um antígeno a mutação somática entra em ação, clonando a célula ativada, ou célula mãe, realizando, por meio da troca das bases nucleotídicas, a hipermutação com o intuito de gerar genes que reconheçam cada vez com mais facilidade os antígenos (TONEGAWA, 1985). Esses dois mecanismos combinados permitem que o sistema adaptativo gere infinitas combinações de genes celulares a partir de genes finitos, tornando muito eficaz o sistema de defesa do nosso organismo.

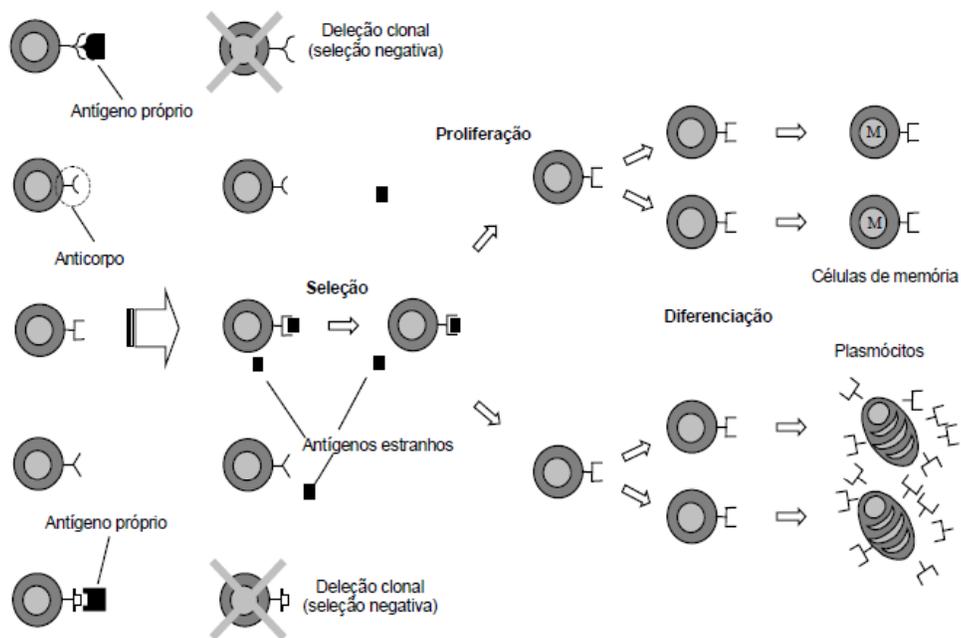
3.3. PRINCÍPIO DA SELEÇÃO CLONAL

Este princípio é baseado no fato de que apenas a célula ativada por um antígeno deverá se proliferar, a fim de produzir células suficientes para acabar com a infecção. Os linfócitos B ao serem ativados começam sua proliferação, e dado um sinal co-estimulatório, esta resulta em dois tipos de células, os plasmócitos e as células de memória. O primeiro tipo são células terminais que secretam anticorpos em altas taxas, o segundo tipo são células com tempo de vida muito prolongado, as quais circulam pela corrente sanguínea e assim que

encontram um antígeno compatível começam a se diferenciar em plasmócitos, com o intuito de eliminar a ameaça. Esse mesmo processo ocorre nos linfócitos T, contudo eles não secretam anticorpos (PERELSON et al, 1978; DE CASTRO, 2001).

Devido as mutações somáticas alguns anticorpos gerados podem reconhecer moléculas do próprio organismo, chamadas de antígenos próprios, o que não é bom. Por isso o Sistema Imunológico deve ter a capacidade de reconhecer e diferenciar os antígenos próprios dos não-próprios, caso contrário pode-se desenvolver uma doença autoimune, quando a resposta imunológica é desencadeada contra os antígenos próprios. Para que isto não ocorra os linfócitos que são auto-reativos são removidos do repertório antes que amadureçam, esse processo é chamado de seleção negativa (PERELSON & WEISBUCH, 1997).

Figura 3.2 - Esquema do princípio da Seleção Clonal



Fonte: (DE CASTRO, 2001)

Mutações rápidas são necessárias pois estão atreladas a rapidez de resposta do SI, contudo a maioria delas resulta em anticorpos auto-reativos e com baixa afinidade em relação aos antígenos. Por isso as taxas de mutação devem ser diferentes para cada linfócito, pois se uma célula de alta afinidade continuar sofrendo mutações com a mesma frequência que sofria antes essas variações indesejadas podem prejudicar sua afinidade (KEPLER & PERELSON, 1993). Sendo assim os picos de hipermutação somáticas devem ser intercalados por períodos

de seleção e expansão clonal, sendo a taxa de mutação de células com baixa afinidade maior do que as das células com alta afinidade, sendo que as últimas podem ter suas mutações inativadas.

Em suma a teoria da Seleção Clonal se baseia (BURNET, 1978): na ativação linfocitária por uma molécula estranha, antígeno; definição de um padrão para as células que serão clonadas; realização da hipermutação somática gerando variação genética aleatória em diversos tipos de anticorpos; e eliminação de linfócitos auto-reativos, capazes de interagir com antígenos próprios pertencentes ao organismo, o que está ilustrado na *Figura 3.2*.

3.4. ALGORITMO CLONAL

O Algoritmo clonal que será utilizado para obter a melhor reconfiguração da rede visando a minimização das perdas, é baseado na teoria da Seleção Clonal, onde apenas os linfócitos capazes de combater um antígeno serão clonados e os demais descartados. Este mecanismo de seleção de células do sistema imune adaptativo pode ser caracterizado como uma microevolução segundo a teoria Darwiniana, onde variações do indivíduo contribuem para sua melhor adaptação ao meio em que vive. Em seguida os clones passam por hipermutações somáticas, afim de se aumentar a sua afinidade com o antígeno, sendo estes mecanismos caracterizados como memória imunológica e aprendizagem, aliados a evolução (SOUSA E SILVA, 2011). Além dos aspectos citados anteriormente temos outras características do SI que são consideradas para o desenvolvimento do algoritmo como a morte de células pouco ou não estimuladas, a manutenção e geração da diversidade e a mutação dos clones levando em conta sua afinidade (DE CASTRO, 2001).

Pode-se fazer uma analogia com o Sistema Imunológico e com o algoritmo (SOUSA E SILVA, 2011):

- Antígeno é o problema a ser resolvido;
- Anticorpos são as melhores soluções encontradas;
- Afinidade é o valor de fitness dos anticorpos.

As etapas que um algoritmo clonal deve seguir são as seguintes:

1. Criação de uma população de anticorpos;
2. Avaliação dessa população;
3. Seleção dos melhores indivíduos, ou melhores soluções;

Tabela 3.1- Exemplo de uma solução composta por 10 barras

Trecho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Chave	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Fonte: (Autoria própria)

3.4.2. AVALIAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO (AFINIDADE)

Para o problema tratado neste trabalho uma solução representa o valor da perda elétrica ativa da rede avaliada (Anticorpo), sempre e quando atenda as restrições do modelo matemático (item 2.3.2) do problema RSDEE. O valor da perda ativa e as restrições são determinadas através de uma análise de fluxo de carga desenvolvida no item 2.3.1. A Tabela 3.2 representa uma solução para a rede da Figura 3.3.

Tabela 3.2 – Rede de 14 barras IEEE

Solução	Chaves abertas	Afinidade (Perdas ativas) kW
Anticorpo 1	14 – 15 – 16	512,4515

Fonte: (Autoria própria)

3.4.3. PARÂMETROS DO ALGORITMO

A otimização do problema tem como objetivo minimizar as perdas elétricas ativas da rede avaliada como já indicado no Capítulo 1. Por tanto os parâmetros de entrada para este problema são próprios do Algoritmo Clonal, como: tamanho da população de indivíduos, a probabilidade de mutação e a adição de indivíduos aleatórios na população, além dos critérios de parada que serão utilizados, sendo esses descritos a seguir:

- *N*: tamanho da população de indivíduos;
- *d*: determina a quantidade de indivíduos adicionais que deve ter na população gerada aleatoriamente. Sendo ($d \cdot N$) o número médio de indivíduos criados aleatoriamente em todas as gerações;
- *beta*: utilizado na função de probabilidade de mutação dos indivíduos e na função do número de clones a serem gerados por cada indivíduo;
- *Ngen*: número máximo permitido de gerações sem evolução;

3.4.4. GERAÇÃO DA POPULAÇÃO INICIAL

A população inicial é gerada de forma aleatória com probabilidade uniforme, com tamanho de $2N$ indivíduos (anticorpos). Com isto, a aleatoriedade inicial é utilizada para permitir uma maior exploração no espaço de busca, sendo que apenas as regiões mais promissoras são visitadas no processo de otimização (DE CASTRO, 2001).

Como exemplo temos, para a rede da Figura 3.3, a *Tabela 3.3* que ilustra a população.

Tabela 3.3 - População para a rede de 14 barras

Anticorpos	Chaves abertas	Afinidade (Perdas ativas) kW
1	14 – 15 – 16	512,4515
2	7 – 8 – 16	468,8084
3	7 - 8 – 13	472,1329
4	4 – 7 – 8	482,4560

Fonte: (Autoria própria)

3.4.5. CLONAGEM DOS INDIVÍDUOS

O número de clones produzidos por cada indivíduo é diferente, sendo calculado por uma função linear, *Equação 3.1*, que garante que o melhor dos indivíduos tenha mais clones, e o pior dos indivíduos menos clones (DE CASTRO, 2001).

$$C = (Q - (0,02 \times P \times Q)) \times B \quad (3.1)$$

Onde:

C: é a quantidade de clones por indivíduo;

Q: é a quantidade de nós (chaves) do indivíduo;

P: é a classificação de um indivíduo em relação aos demais, sendo que o melhor indivíduo possui a classificação 0 e o pior recebe como classificação o valor n , equivalente ao tamanho da população;

B: é uma constante definida pelo valor 0,8.

Como as soluções (anticorpos) estão ordenados da maior para a menor afinidade (perda elétrica), quanto maior i na *Equação 3.1*, menor a afinidade e consequentemente a quantidade de clones gerada, com i variando de 1 até o número total de populações.

Como exemplo temos a *Tabela 3.4* que ilustra a quantidade de clones para cada anticorpo (item 3.4.1).

Tabela 3.4 - Quantidade de clones para a população (item 3.4.1)

Anticorpos	Melhor afinidade	Quantidade de Clones
2	1	4
3	2	3
4	3	2
1	4	1

Fonte: (Autoria própria)

3.4.6. Mutação dos clones

A mutação é realizada apenas nos clones, de modo a garantir que os indivíduos-pai sejam mantidos inalterados na população. Neste trabalho foi utilizada a função de aptidão baseada no ranking das soluções: à melhor solução é atribuída afinidade 1, à segunda melhor afinidade 2, e assim por diante, conforme *Tabela 3.4* (SOUZA e SILVA, 2011).

Foram criados 2 operadores de mutação: troca de chaves aleatória, troca de chaves com maior probabilidade baseada esta última na heurística de Goswami-basu.

a) Troca de chaves aleatória:

Fecha-se de forma aleatória uma chave de interconexão do clone avaliado. Desta forma um laço é construído. Escolhe-se aleatoriamente uma chave deste laço para gerar uma nova solução (clone mutado). Considerando a solução indicada na *Tabela 3.2* para a rede da *Figura 3.3*. Aleatoriamente escolhe-se uma chave de interconexão (exemplo chave 14) e forma-se um laço pelas chaves 1, 2, 14, 8, 9 e 5 e abre-se uma chave desta lista de forma aleatória.

b) Troca de chaves com maior probabilidade:

Fecha-se de forma aleatória uma chave de interconexão do clone avaliado. Desta forma um laço é construído. Utiliza-se uma heurística baseada no trabalho de (SHIRMOHAMMADI, D. A.; HONG, 1996), o qual gera uma lista ordenada de chaves utilizando probabilidade de abertura. Abre-se aleatoriamente 20% do grupo de chaves com maior probabilidade em reduzir as perdas elétricas ativas. Assim é gerada uma nova solução

(clone mutado). Considerando a solução indicada na *Tabela 3.2* para a rede da *Figura 3.3*. Aleatoriamente escolhe-se uma chave de interconexão (exemplo chave 14) e forma-se um laço pelas chaves 1, 2, 14, 8, 9 e 5. Utiliza-se a heurística (SHIRMOHAMMADI, D. A.; HONG, 1996) que cria uma lista probabilística de chaves a serem candidatas para abrir. Desta lista escolhe-se aleatoriamente uma chave das primeiras chaves (20% da lista).

Como exemplo deste processo, tem-se a mutação dos clones do anticorpo 4 ilustrado na *Tabela 3.5*.

Tabela 3.5 - Quantidade de clones para a população (item 3.4.1)

Anticorpos	Chaves abertas	Quantidade de mutações	Operador de mutação	Clones mutados
Anticorpo 4	4 - 7 - 8			
Clone 1	4 - 7 - 8	2	a) Troca de chaves aleatória	7 - 10 - 14
Clone 2	4 - 7 - 8	2	b) Troca de chaves com maior probabilidade	4 - 5 - 13

Fonte: (Autoria própria)

3.4.7. SELEÇÃO DOS MELHORES INDIVÍDUOS AVALIADOS PARA PRÓXIMA GERAÇÃO

A seleção, para a formação da próxima população, é feita simplesmente escolhendo-se de forma determinística, o melhor indivíduo de cada grupo constituído por um indivíduo-pai e seus clones. Não há disputa entre clones de pais diferentes.

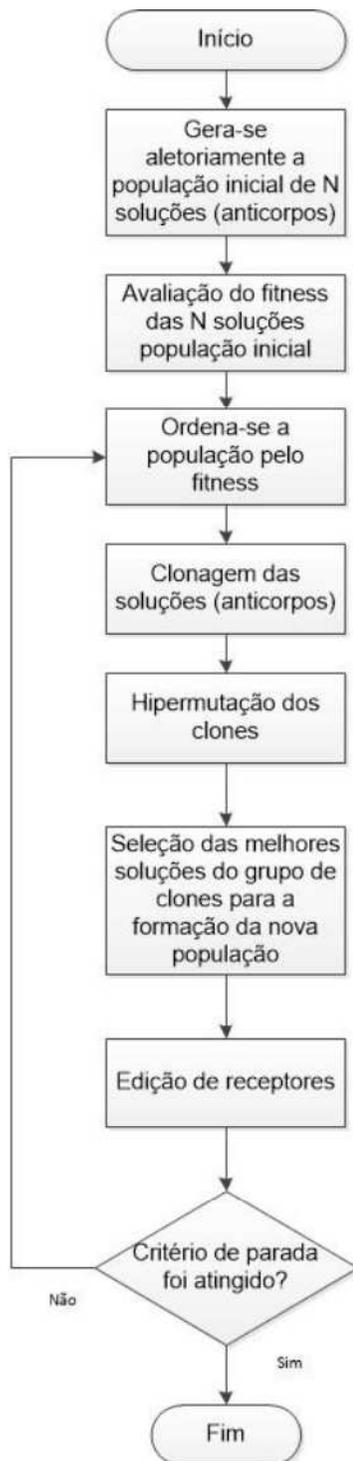
3.4.8. EDIÇÃO DE RECEPTORES

Aqueles indivíduos com piores fitness são trocados por outros gerados aleatoriamente com a finalidade de manter a diversidade. Foram considerados 20% do número de anticorpos.

3.4.9. VERIFICAÇÃO DO CRITÉRIO DE PARADA

A condição de parada do algoritmo pode ser verificada de duas formas: se o número de gerações criadas ultrapassou o limite máximo de gerações, ou se o número de gerações sem melhoria ultrapassou o máximo permitido. Neste trabalho se utilizou este último, considerando 20 o número máximo permitido. A seguir, na *Figura 3.4*, é ilustrado o algoritmo através de um fluxograma.

Figura 3.4 - Fluxograma algoritmo clonal



Fonte: (Adaptado pelo autor)

4. RESULTADOS

Foram utilizadas duas redes elétricas, a primeira de menor porte 33 barras (BARAN; WU, 1989a) e a segunda de maior porte 70 barras (BARAN; WU, 1989b). Os dados destas redes encontram-se nos anexos A e B.

A implementação computacional da metodologia foi feita no MATLAB em utilizando um PC de 8 GB RAM, processador Intel i7-6ª Geração 2.50 GHz. Os parâmetros iniciais próprios da metodologia estão ilustrados na *Tabela 4.1*

Tabela 4.1 - Valores dos parâmetros próprios da metodologia

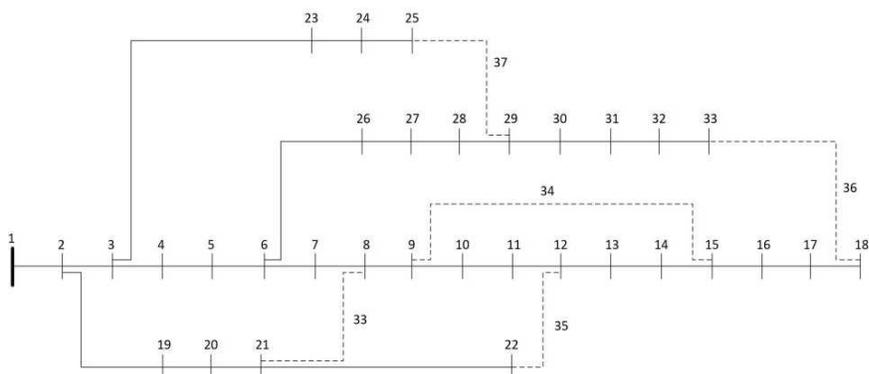
Parâmetros	Valor	
	33 barras	70 barras
População (Quantidade de anticorpos)	10	20
Operador de mutação	Troca aleatória de chaves	
	Troca de chaves utilizando a heurística	
Critério de parada	20 gerações	20 gerações
Beta (β)	0,8	
Quantidade (%) de clones que substituíram anticorpos (pior fitness) da população	20%	

Fonte: (Autoria própria)

4.1. SISTEMA DE 33 BARRAS

A rede ilustrada na *Figura 4.1*, possui 37 linhas das quais 32 linhas estão ativas (operação radial), sendo que na configuração inicial, as linhas 33, 34, 35, 36 e 37 encontram-se abertas. A potência ativa total é de 3,715 MW e a potência reativa é de 2,3 MVAR, conforme ANEXO A.

Figura 4.1 - Rede de 33 barras



Fonte: (Autoria própria)

Para testar a metodologia, foram consideradas três patamares de carga para a rede avaliada (fator de carga=FC), carga leve FC=0,9, carga normal FC=1,0 e carga pesada FC=1,3, sendo os resultados obtidos apresentados nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4.

Tabela 4.2 - Resultado para a rede de 33 barras (carga leve)

Configuração	Chaves abertas	Perdas (kW)	Red. (%)
1 (inicial)	33 - 34 - 35 - 36 - 37	161,63590	
2	7 - 9 - 14 - 28 - 32	112,28585	30,53
3	7 - 11 - 14 - 32 - 37	113,24105	29,94
4	7 - 9 - 14 - 28 - 36	113,80978	29,59
5	7 - 10 - 14 - 28 - 36	114,21756	29,34
6	7 - 11 - 32 - 34 - 37	114,46436	29,18
7	11 - 28 - 32 - 33 - 34	115,26180	28,69
8	6 - 9 - 14 - 36 - 37	115,28743	28,67
9	6 - 11 - 32 - 34 - 37	115,78507	28,37
10	7 - 11 - 34 - 36 - 37	115,85990	28,32

Fonte: (Autoria própria)

Tabela 4.3 - Resultado para a rede de 33 barras (carga normal)

Configuração	Chaves abertas	Perdas (kW)	Red. (%)
1(inicial)	33 - 34 - 35 - 36 - 37	202,68259	
2	7 - 9 - 14 - 32 - 37	139,54967	31,15
3	7 - 9 - 14 - 28 - 32	139,97671	30,94
4	7 - 10 - 14 - 28 - 32	140,704341	30,58
5	6 - 9 - 14 - 32 - 37	142,825689	29,53
6	7 - 9 - 14 - 27 - 32	143,29574	29,30
7	7 - 8 - 14 - 28 - 32	146,61446	27,66
8	7 - 9 - 14 - 15 - 28	155,14204	23,46
9	5 - 7 - 9 - 14 - 32	176,70071	12,82
10	7 - 9 - 28 - 32 - 35	158,26231	21,92

Fonte: (Autoria própria)

Tabela 4.4 - Resultados para a rede de 33 barras (carga pesada)

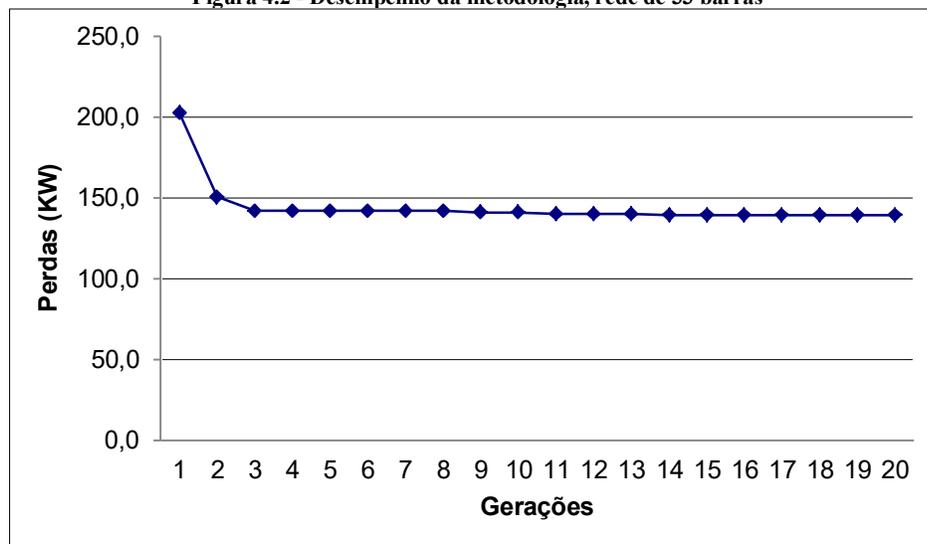
Configuração	Chaves abertas	Perdas (kW)	Red. (%)
1 (inicial)	33 - 34 - 35 - 36 - 37	359,81610	
2	7 - 9 - 14 - 32 - 37	243,15868	32,42
3	7 - 9 - 14 - 28 - 32	243,80093	32,24
4	7 - 10 - 14 - 32 - 37	244,47290	32,06
5	7 - 10 - 14 - 28 - 32	245,11516	31,88
6	7 - 9 - 14 - 28 - 36	247,39709	31,24
7	7 - 9 - 14 - 36 - 37	248,04703	31,06
8	7 - 9 - 13 - 28 - 32	250,24689	30,45
9	7 - 11 - 14 - 36 - 37	250,27545	30,44
10	11 - 33 - 34 - 36 - 37	274,70910	23,65

Fonte: (Autoria própria)

Os resultados para a carga normal (FC=1,0) encontrados são os mesmos daqueles publicados na literatura utilizando Busca em Vizinhaça Variável (ZVIETCOVICH, 2006).

Com a finalidade de avaliar o desempenho da metodologia foi construída a *Figura 4.2*, a qual ilustra a velocidade na qual foi encontrada a resposta para o cenário FC = 1,0.

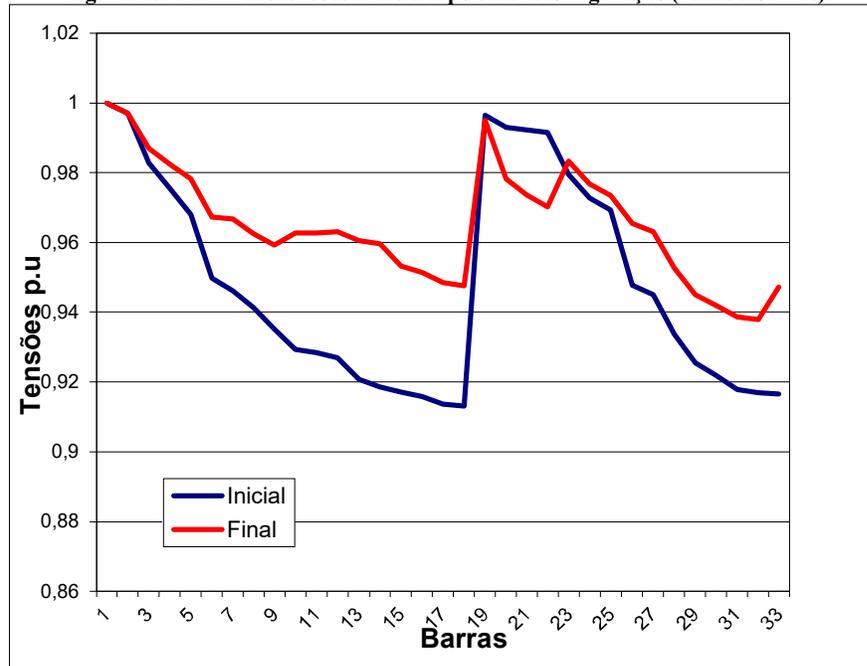
Figura 4.2 - Desempenho da metodologia, rede de 33 barras



Fonte: (Autoria própria)

Outro gráfico construído é da *Figura 4.3*, o qual mostra o perfil de tensões da configuração inicial (antes da reconfiguração) e da configuração final (após a reconfiguração) para um FC = 1,0. Onde observa-se um aumento do nível de tensão como um todo nas barras do sistema, o que é benéfico para o mesmo.

Figura 4.3 - Perfil das tensões antes e depois da reconfiguração (rede 33 barras)

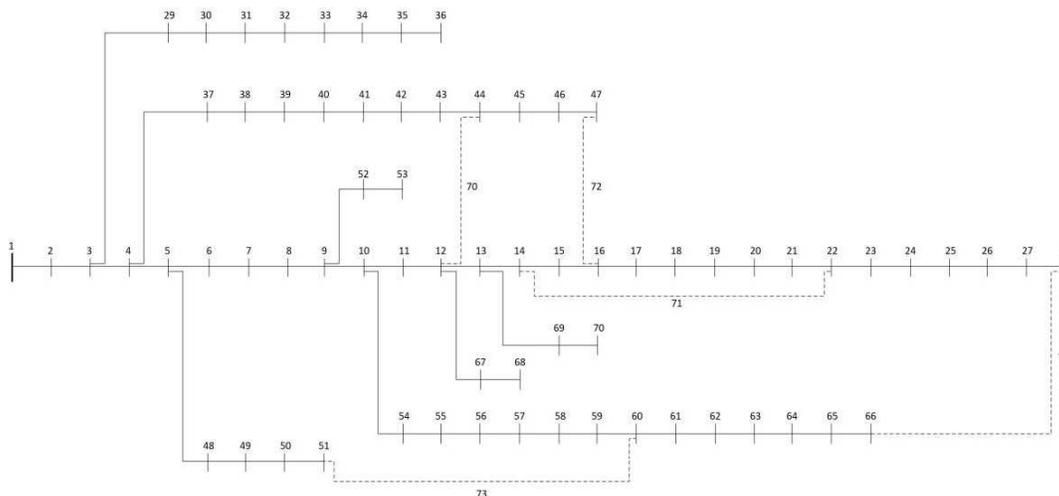


Fonte: (Autoria própria)

4.2. SISTEMA DE 70 BARRAS

Esta rede está ilustrada na *Figura 4.4* possui 70 barras e 74 linhas, das quais 69 linhas estão ativas (operação radial) totalizando 1108 KW de carga, configuração inicial. As linhas 70, 71, 72, 73 e 74 encontram-se inativas, conforme ANEXO B.

Figura 4.4 - Rede de 70 barras



Fonte: (Autoria própria)

Para testar a metodologia foram consideradas os mesmos três patamares de carga anteriores, carga leve $FC=0,9$, carga normal $FC=1,0$ e carga pesada $FC=1,3$. Os resultados são apresentados nas Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7.

Tabela 4.5 - Resultados para rede de 70 barras (carga leve)

Configuração	Chaves abertas	Perdas (kW)	Red. (%)
1(inicial)	70 - 71 - 72 - 73 - 74	16,67039	
2	15 - 56 - 62 - 70 - 71	7,54380	54,75
3	13 - 58 - 62 - 70 - 71	7,55890	54,66
4	13 - 14 - 58 - 62 - 70	7,56968	54,59
5	15 - 56 - 63 - 70 - 71	7,61003	54,35
6	13 - 56 - 64 - 70 - 71	7,62299	54,27
7	13 - 59 - 63 - 70 - 71	7,62299	54,27
8	13 - 14 - 59 - 63 - 70	7,63310	54,21
9	11- 15 - 59 - 63 - 71	7,98143	52,12
10	11 - 14 - 57 - 63 - 71	7,98621	52,09

Fonte: (Autoria própria)

Tabela 4.6 - Resultados para rede de 70 barras (carga normal)

Configuração	Chaves abertas	Perdas (kW)	Red, (%)
1-(inicial)	70 - 71 - 72 - 73 - 74	20,68259	
2	14 - 59 - 62 - 70 - 71	9,34932	54,80
3	14 - 56 - 64 - 70 - 71	9,43075	54,40
4	13 - 56 - 63 - 70 - 71	9,43958	54,36
5	13 - 58 - 63 - 70 - 71	9,43958	54,36
6	13 - 59 - 64 - 70 - 71	9,43958	54,36
7	13 - 58 - 64 - 70 - 71	9,43958	54,36
8	11 - 15 - 57 - 62 - 71	9,83528	52,45
9	11 - 15 - 56 - 62 - 71	9,83528	52,45
10	11 - 14 - 59 - 62 - 71	9,84182	52,41

Fonte: (Autoria própria)

Tabela 4.7 - Resultados para rede de 70 barras (carga pesada)

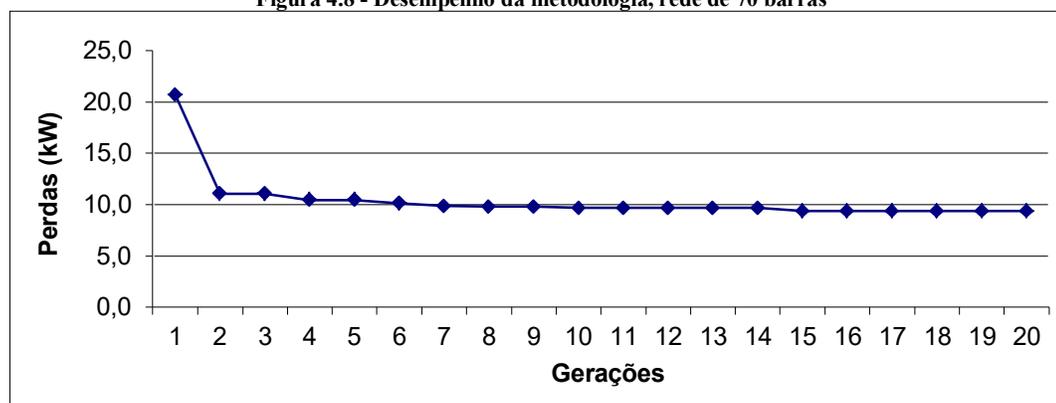
Configuração	Chaves abertas	Perdas (kW)	Red. (%)
1-(inicial)	70 - 71 - 72 - 73 - 74	35,48362	
2	15 - 56 - 64 - 70 - 71	16,07197	54,71
3	15 - 57 - 64 - 70 - 71	16,07197	54,71
4	14 - 58 - 64 - 70 - 71	16,08450	54,67
5	13 - 58 - 63 - 70 - 71	16,09970	54,63
6	13 - 14 - 58 - 63 - 70	16,12105	54,57
7	13 - 15 - 57 - 64 - 70	16,14214	54,51
8	15 - 55 - 64 - 70 - 71	16,34469	53,94
9	11 - 13 - 14 - 58 - 62	16,82113	52,59
10	11 - 14 - 58 - 63 - 71	16,87002	52,46

Fonte: (Autoria própria)

Novamente os resultados para a carga normal ($FC=1,0$) encontrados são os mesmos daqueles publicados na literatura (ZVIETCOVICH, 2006), a qual utilizou o método da metaheurística para realizar a redução das perdas ativas. O melhor resultado está mostrado como configuração 2, para melhor visualização.

Com a finalidade de avaliar o desempenho da metodologia foi construída a *Figura 4.8*, a qual ilustra a velocidade na qual foi encontrada a resposta para o cenário $FC = 1,0$.

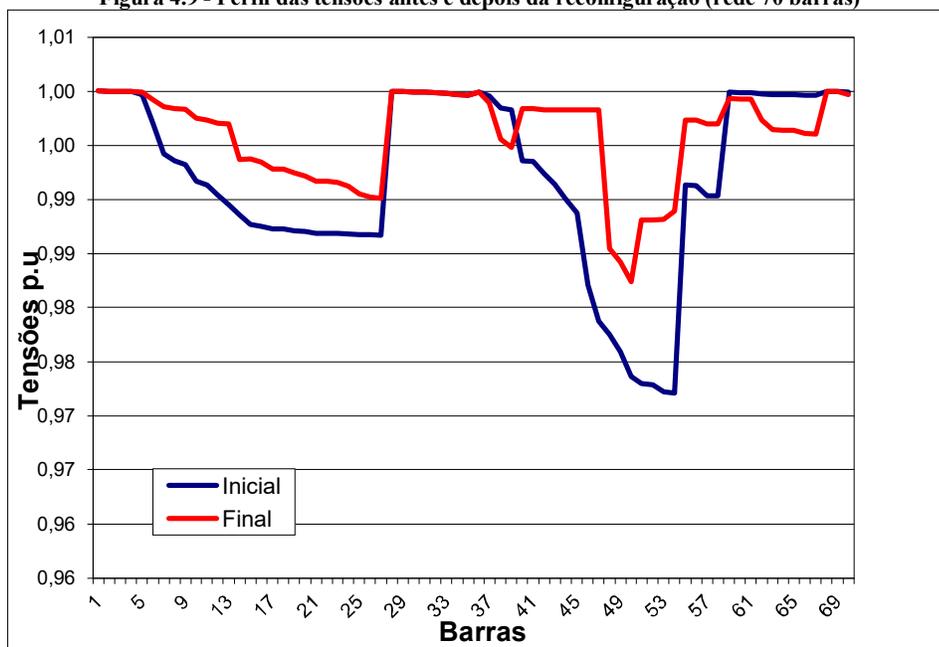
Figura 4.8 - Desempenho da metodologia, rede de 70 barras



Fonte: (Autoria própria)

Outro gráfico construído é da *Figura 4.9*, o qual mostra o perfil de tensões da configuração inicial (antes da reconfiguração) e da configuração final (após a reconfiguração) para um $FC = 1,0$. Pode-se observar uma aumento no perfil de tensão das barras do sistema, ou seja um aumento da tensão do sistema como um todo, devido a diminuição das perdas.

Figura 4.9 - Perfil das tensões antes e depois da reconfiguração (rede 70 barras)



Fonte: (Autoria própria)

5. CONCLUSÕES

A técnica “Seleção Clonal” apresentada neste trabalho constitui uma ferramenta alternativa e nova e pouco utilizada em trabalhos acadêmicos, para solução do problema Reconfiguração de Redes de Distribuição visando à redução de perdas ativas, um aspecto importante quando se analisa a operação ótima de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.

O procedimento utilizado no operador de mutação na Seleção Clonal foi adequado, porque permitiu encontrar configurações radiais de forma direta e simples, não exigindo grande esforço computacional, garnatindo assim essa importante restrição do estudo em questão.

Os valores dos parâmetros próprios do algoritmo Seleção Clonal foram determinados experimentalmente através de testes. Sendo essa, uma característica comum entre todas as técnicas metaheurísticas.

Dos resultados obtidos, depreende-se a eficiência da metodologia, quando comparada com a metaheurística Busca em Vizinhança Variável encontrando os mesmos resultados. Como trabalhos futuros, a metodologia deveria ser testada em redes de grande porte ou redes reais com inserção de geradores distribuídos, ou seja testada em smart grids. Assim como, considerar no modelo matemático outros parâmetros, como por exemplo, estabilidade de tensão, distorções harmônicas, qualidade do serviço da energia elétrica entre outros e mais critérios de restrição para o algoritmo, na tentativa de aproximar ao máximo as simulações com situações e redes reais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELAZIZ, A. Y.; OSAMA, R. A.; ELKHODARY, S. M.; & EI-SAADANY, E. F. Reconfiguration of Distribution Systems with Distributed Generators using Ant Colony Optimization and Harmony Search Algorithms. *Electric Power System Research*, vol. 75(no. 2-3), pp. pp. 190-199. 2005.

AHMED, R. & SPRENT, J. Immunological Memory, *The Immunologist*, 7/1-2, pp. 23-26. 1999.

ANNEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Módulo 8 - qualidade da energia elétrica. In: *Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST*. Brasília, DF, 2017. p. 1–71.

ANEEL. (2013). Nota Técnica nº 95/2013. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Brasília.

AOKI, K.; KUWABARA, H.; SATOH, T.; KANEZASHI, M. An efficient algorithm for load balancing of transformers and feeders by switch operation in large scale distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 3, n. 4, p. 1865-1872, October 1988.

BARAN, Mesut E.; WU, Felix F. Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing. *IEEE Transactions on Power delivery*, v. 4, n. 2, p. 1401-1407, 1989a.

BARAN, Mesut E.; WU, Felix F. Optimal capacitor placement on radial distribution systems. *IEEE Transactions on power Delivery*, v. 4, n. 1, p. 725-734, 1989b.

BARAN, M., & WU, F. F. Network reconfiguration in distribution system for loss reduction and load balancing. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 4(2), pp. 1401- 1407. 1989.

BARBOSA, C. H. N. R. Reconfiguração e Restauração Ótima de Sistemas de Distribuição Primária de Energia Elétrica. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

BENTO, F. R. O. Uma metodologia para reconfiguração de redes inteligentes. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia/Tecnologia/Gestão) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2013.

BERNARDON, D. P.; GARCIA, V. J., M. S., DAZA, E. F., L. COMASSETTO, & NOGUEIRA, E. Operação automática de chaves telecomandadas para restabelecimento de energia elétrica. XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI. São Paulo, SP. 2010.

BURNET, F. M. Clonal Selection and After, Theoretical Immunology, (Eds.) G. I. Bell, A. S. Perelson & G. H. Pimbley Jr., Marcel Dekker Inc., pp. 63-85. 1978.

CARRANO, E. G. Algoritmos Evolucionários Eficientes para Otimização de Redes. 195 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CARRENO, M.; ROMERO, R.; PADILHA-FELTRIN, A. An Efficient Codification to Solve Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction Problem. IEEE Transactions on Power Systems, v. 23, n. 4, p. 1542-1551, November 2008.

CAVALCANTE, P. L. Advanced Network Reconfiguration System Applied to CEMIG-D System. IEEE PES Conference On Innovative Smart Grid Technologies Latin America. São Paulo. 2013.

CHIANG, H.; BARAN, M. E. On the Existence and Uniqueness of Load Flow Solution for Radial Distribution Power Networks. IEEE Transactions on Circuits and Systems, v. 37, n. 3, p. 410-416, March 1990.

CHOWDHURY, A. A.; KOVAL, D. O. Power Distribution System Reliability Practical Methods and Applications. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

CINVALAR, S.; J. GRAINGER; YIN, H.; & S. LEE. Distribution feeder reconfiguration for loss reduction. IEEE Trans. Power Delivery, 3(3), pp. 1217-1223. 1988.

DE CASTRO, L. N. Engenharia Imunológica: Desenvolvimento e Aplicação de Ferramentas Computacionais Inspiradas em Sistemas Imunológicos Artificiais. 286 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

DE CASTRO, L. N.; VON ZUBEN, F. J. Learning and Optimization using the Clonal Selection Principle. IEE Transactions on Evolutionary Computation, 6:239 – 251. 2002.

FONSECA, Jonatha Revoredo Leite da. Aplicação da técnica de self healing na reconfiguração automática de redes elétricas utilizando o padrão IEC 61850. 2017. 245 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia Elétrica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

FUKUYAMA, Y.; CHIANG, H. D.; MIU, K. N. A Hybrid system for service restoration using expert system and genetic algorithm. Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems - ISAP. [S.l.]: [s.n.]. p. 394-398, 1996.

HSU, Y. Y.; HUANG, H. M. Distribution system service restoration using the artificial neural network approach and pattern recognition method. IEE Proceedings on Generation, Transmission, and Distribution, v. 142, n. 3, p. 251-256, May 1995.

II-HYUNG Lim, M.-S. C.-J. Intelligent Distributed Restoration by Multi-Agent System Concept in DAS. 15th Int. Conf. Intelligent Systems Application to Power Systems (ISAP). 2009.

JANEWAY, C. A.; TRAVERS, P. WALPORT, M. & CAPRA, J. D. (2000), "Imunobiologia: O Sistema Imunológico na Saúde e na Doença", Artes Médicas, 4a Ed. 2000.

JEON, Y. J.; KIM, J. C.; KIM, J. O.; SHIN, J.; LEE, K. Y. An Efficient Simulated Annealing Algorithm for Network Reconfiguration in Large-Scale Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 17, n. 4, p. 1070-1078, October 2002.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B. de; ROBBA, E. J. Introdução aos Sistemas De Distribuição De Energia Eletrica. [S.l.]: Editora Blucher, 2010.

KASHEM, M. A.; JASMON, G. B.; MOHAMED, A.; MOGHAVVEMI, M. Artificial neural network approach to network reconfiguration for loss minimization in distribution networks. Electrical Power & Energy Systems, v. 20, n. 4, p. 247-258, 1998.

KEPLER, T. B. & PERELSON, A. S. Somatic Hypermutation in B Cells: An Optimal Control Treatment, J. theor. Biol., 164, pp. 37-64. 1993a.

KEPLER, T. B. & PERELSON, A. S. Cyclic Re-enter of Germinal Center B Cells and the Efficiency of Affinity Maturation, Imm. Today, 14(8), pp. 412-415. 1993b.

KIM, H.; KO, Y.; JUNG, K. H. Artificial Neural-Network based feeder reconfiguration for loss reduction in distribution systems. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 8, n. 3, p. 1356-1366, July 1993.

KLEIN, J. Ehrlich and Darwin: Homochauvinism in Immunology, Immunology and Cell Biology, 73, pp. 103-108. 1995.

LEDERBERG, J. Ontogeny of the Clonal Selection Theory of Antibody Formation, Annals of the New York Ac. of Sc., 546, pp. 175-182. 1988

LEE, T. E.; CHO, M. Y.; CHEN, C. S. Distribution System Reconfiguration to Reduce Resistive Losses. Electric Power Systems Research, v. 30, p. 25-33, January 1994.

MARQUES, L. T. Restabelecimentos de Energia por Reconfiguração de Redes em Sistemas de Distribuição de Grande Porte com Priorização de Chaves, Consumidores e Definição de Sequência de Chaveamento. Dissertação (Mestrado em Sistemas Elétricos de Potência) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2013.

MELLO, A. P. C. de Reconfiguração de Redes de Distribuição Considerando Multivariáveis e Geração Distribuída. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

MENDOZA, J.; LÓPEZ, R.; MORALES, D.; LÓPEZ, E.; DESSANTE, P.; MORAGA, R. Minimal Loss Reconfiguration Using Genetic Algorithms With Restricted Population and Addressed Operators: Real Application. IEEE Transactions on Power Systems, v. 21, n. 2, p. 948-954, May 2006.

MERLIN, A., & BACK, H. Search for a Minimal-Loss Operation Spanning Tree Configuration in an Urban Power Distribution System. 5th Power Syst. Conf., (pp. 1-18). Cambridge, U.K., 1975.

NIKNAM, T. An Efficient Hybrid Evolutionary Algorithm based on PSO and HBMO Algorithms for Multi-objective Distribution Feeder Reconfiguration. Energy Conversion and Management, v. 50, p. 2074-2082, 2009.

PEREIRA A. L.; COURA D. J. C.; CELESTE W. C. Utilização da Metaheurística GRASP como Solução para o Problema de Reconfiguração de Redes Inteligentes de Energia. 10 p. – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2014.

PEREIRA, C. A. N. Alocação Ótima de Reguladores de Tensão em Redes de Distribuição de Energia Elétrica. Unicamp, Campinas, 2009.

PEREIRA, E. C. Reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica para Minimização de Perdas Técnicas. 97 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PERELSON, A. S. & WEISBUCH, G. Immunology for Physicists, Rev. of Modern Physics, 69(4), pp. 1219-1267. 1997.

PERELSON, A. S.; MIRMIRANI, M.; Oster, G. F. Optimal Strategies in Immunology II. B Memory Cell Production, J. Math. Biol., 5, pp. 213-256. 1978.

PFITSCHER, L. L. Reconfiguração Automática das Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Monitoramento em Tempo Real. 146 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

POSSAGNOLO, L. H. F. M. Reconfiguração de sistemas de distribuição operando em vários níveis de demanda através de uma meta-heurística de busca em vizinhança variável. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2015.

REIS, B. F. S.; SALGADO, G. C.; LEITE, M. A. O.; BARBOSA, C. H. N. R.; PEREIRA, E. C.; VASCONCELOS, J. A. Representação Eficiente de Soluções Para o Problema de Reconfiguração de Sistemas de Distribuição Primária. XIX Congresso Brasileiro de Automática. Campina Grande: [s.n.], p. 1-8, 02 a 06 de setembro de 2012.

ROMANO R. M.; GASPAR L. L. A.; GUEDES L. S. M.; LISBOA A. C.; VIEIRA D. A. G. Ferramenta Multicritério para Reconfiguração de Redes Radiais de Distribuição de Energia Elétrica. 8 p. Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

RUPOLO, Diogo. Reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica através de um algoritmo de busca dispersa. 108 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013.

SANCHES, D. S. Algoritmos Evolutivos Multi-Objetivos para Reconfiguração de Redes em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - Tese de doutorado. São Carlos/SP. 2013.

SCROFERNEKER, M. L. & POHLMANN, P. R. (1998), Imunologia Básica e Aplicada, Sagra Luzzatto. 1998.

SHIRMOHAMMADI, D. A. Compensation-Based Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks - IEE Transactions on Power Systems, Vol 3, Maio 1988.

SHIRMOHAMMADI, D. A.; HONG, H. W. H^∞ design with pole placement constraints: An lmi approach. IEE Trans. Autom. Control, v. 41, n. 3, p. 358–367, 1996.

SHIRMOHAMMADI, D.; & HONG, H. W. Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Losses Reduction. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 2. 1989.

SOUSA E SILVA, R. Escalonamento Ótimo de um Sistema Flexível de Manufatura com Controle Supervisório. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SOUZA, S. S. F. Reconfiguração de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando o Algoritmo Imunológico Artificial Copt-Ainet. 12 p. - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Baía, 2014.

SPRENT, J. T and B Memory Cells, *Cell*, 76 p. 315-322. 1994.

STEVENSON, William D. Elementos de Análise de Sistemas de Potência. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1986. 347 p.

SU, C. T.; CHANG, C. F.; CHIOU, J. P. Distribution network reconfiguration for loss reduction by ant colony search algorithm. *Electric Power Systems Research*, v. 75, n. 2-3, p. 190-199, May 2005.

SWARNKAR, A.; GUPTA, N.; NIAZI, K. R. A Novel Codification for Meta-heuristic Techniques used in Distribution Network. *Electric Power Systems Research*, v. 81, p. 1619–1626, April 2011.

ZANCHETTA, L. P. Reconfiguração de Redes de Distribuição de Energia com Geração Distribuída Empregando Conceitos de Redes Elétricas Inteligentes. 26 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

ZHU, J. Z. Optimal Reconfiguration of Electrical Distribution Network using the Refined Genetic Algorithm. *Electric Power Systems Research*, 62, p. 37-42, January 2002.

ZVIETCOVICH, W. G. Reconfiguração de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando a Metaheurística Busca de Vizinhança Variável. 85 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica) — Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2006.

ANEXO A – SISTEMA DE 33 BARRAS E 37 LINHAS

Tabela 1 - Dados do sistema de 33 barras

Dados Barras				Dados Linhas					
Barra	P (KW)	Q (KVAr)	Shunt (KVAr)	Linha	Barra Origem	Barra Destino	Resistência (Ω)	Reatância (Ω)	Estado
1	0	0	0	1	1	2	0.0922	0.0470	1
2	100.0	60.0	0	2	2	3	0.4930	0.2511	1
3	90.0	40.0	0	3	3	4	0.3660	0.1864	1
4	120.0	80.0	0	4	4	5	0.3811	0.1941	1
5	60.0	30.0	0	5	5	6	0.8190	0.7070	1
6	60.0	20.0	0	6	6	7	0.1872	0.6188	1
7	200.0	100.0	0	7	7	8	0.7114	0.2351	1
8	200.0	100.0	0	8	8	9	1.0300	0.7400	1
9	60.0	20.0	0	9	9	10	1.0440	0.7400	1
10	60.0	20.0	0	10	10	11	0.1966	0.0650	1
11	45.0	30.0	0	11	11	12	0.3744	0.1238	1
12	60.0	35.0	0	12	12	13	1.4680	1.1550	1
13	60.0	35.0	0	13	13	14	0.5416	0.7129	1
14	120.0	80.0	0	14	14	15	0.5910	0.5260	1
15	60.0	10.0	0	15	15	16	0.7463	0.5454	1
16	60.0	20.0	0	16	16	17	1.2890	1.7210	1
17	60.0	20.0	0	17	17	18	0.7320	0.5740	1
18	90.0	40.0	0	18	2	19	0.1640	0.1565	1
19	90.0	40.0	0	19	19	20	1.5042	1.3554	1
20	90.0	40.0	0	20	20	21	0.4095	0.4784	1
21	90.0	40.0	0	21	21	22	0.7089	0.9373	1
22	90.0	40.0	0	22	3	23	0.4512	0.3083	1
23	90.0	50.0	0	23	23	24	0.8980	0.7091	1
24	420.0	200.0	0	24	24	25	0.8960	0.7011	1
25	420.0	200.0	0	25	6	26	0.2030	0.1034	1
26	60.0	25.0	0	26	26	27	0.2842	0.1447	1
27	60.0	25.0	0	27	27	28	1.0590	0.9337	1
28	60.0	20.0	0	28	28	29	0.8042	0.7006	1
29	120.0	70.0	0	29	29	30	0.5075	0.2585	1
30	200.0	600.0	0	30	30	31	0.9744	0.9630	1
31	150.0	70.0	0	31	31	32	0.3105	0.3619	1
32	210.0	100.0	0	32	32	33	0.3410	0.5302	1
33	60.0	40.0	0	33	8	21	2.0000	2.0000	0
				34	9	15	2.0000	2.0000	0
				35	12	22	2.0000	2.0000	0
				36	18	33	0.5000	0.5000	0
				37	25	29	0.5000	0.5000	0

Fonte: (Autoria própria)

ANEXO B – SISTEMA DE 70 BARRAS E 74 LINHAS

Tabela 2 - Dados do sistema de 70 barras

Dados Barras				Dados Linhas					
Barra	P (KW)	Q (KVAr)	Shunt (KVAr)	Linha	Barra Origem	Barra Destino	Resistência (Ω)	Reatância (Ω)	Estado
1	0.0	0.0	0	1	1	2	0.0005	0.0012	1
2	0.0	0.0	0	2	2	3	0.0005	0.0012	1
3	0.0	0.0	0	3	3	4	0.0001	0.0001	1
4	0.0	0.0	0	4	4	5	0.0015	0.0036	1
5	0.0	0.0	0	5	5	6	0.0251	0.0294	1
6	0.0	0.0	0	6	6	7	0.3660	0.1864	1
7	2.6	2.2	0	7	7	8	0.3811	0.1941	1
8	40.4	30.0	0	8	8	9	0.0922	0.0470	1
9	75.0	54.0	0	9	9	10	0.0493	0.0251	1
10	30.0	22.0	0	10	10	11	0.8190	0.2707	1
11	28.0	19.0	0	11	11	12	0.1872	0.0619	1
12	145.0	104.0	0	12	12	13	0.7114	0.2351	1
13	145.0	104.0	0	13	13	14	1.0300	0.3400	1
14	8.0	5.5	0	14	14	15	1.0440	0.3450	1
15	8.0	5.5	0	15	15	16	1.0580	0.3496	1
16	0.0	0.0	0	16	16	17	0.1966	0.0650	1
17	45.5	30.0	0	17	17	18	0.3744	0.1238	1
18	60.0	35.0	0	18	18	19	0.0047	0.0016	1
19	60.0	35.0	0	19	19	20	0.3276	0.1083	1
20	0.0	0.0	0	20	20	21	0.2106	0.0696	1
21	1.0	0.6	0	21	21	22	0.3416	0.1129	1
22	114.0	81.0	0	22	22	23	0.0140	0.0046	1
23	5.3	3.5	0	23	23	24	0.1591	0.0526	1
24	0.0	0.0	0	24	24	25	0.3463	0.1145	1
25	28.0	20.0	0	25	25	26	0.7488	0.2475	1
26	0.0	0.0	0	26	26	27	0.3089	0.1021	1
27	14.0	10.0	0	27	27	28	0.1732	0.0572	1
28	14.0	10.0	0	28	3	29	0.0044	0.0108	1
29	26.0	18.6	0	29	29	30	0.0640	0.1565	1
30	26.0	18.6	0	30	30	31	0.3978	0.1351	1
31	0.0	0.0	0	31	31	32	0.0702	0.0232	1
32	0.0	0.0	0	32	32	33	0.3510	0.1160	1
33	0.0	0.0	0	33	33	34	0.8390	0.2816	1
34	14.0	10.0	0	34	34	35	1.7080	0.5646	1
35	19.5	14.0	0	35	35	36	1.4740	0.4873	1
36	6.0	4.0	0	36	4	37	0.0044	0.0108	1
37	26.0	18.55	0	37	37	38	0.0640	0.1565	1
38	26.0	18.55	0	38	38	39	0.1053	0.1230	1
39	0.0	0.0	0	39	39	40	0.0304	0.0305	1

40	24.0	17.0	0	40	40	41	0.0018	0.0021	1
41	24.0	17.0	0	41	41	42	0.7283	0.8509	1
42	1.2	1.0	0	42	42	43	0.3100	0.3623	1
43	0.0	0.0	0	43	43	44	0.0410	0.0478	1
44	6.0	4.3	0	44	44	45	0.0092	0.0116	1
45	0.0	0.0	0	45	45	46	0.1089	0.1373	1
46	39.22	26.3	0	46	46	47	0.0009	0.0012	1
47	39.22	26.3	0	47	5	48	0.0034	0.0084	1
48	0.0	0.0	0	48	48	49	0.0851	0.2083	1
49	79.0	56.4	0	49	49	50	0.2898	0.7091	1
50	384.7	274.5	0	50	50	51	0.0822	0.2011	1
51	384.7	274.5	0	51	9	52	0.0928	0.0473	1
52	40.5	28.3	0	52	52	53	0.3319	0.1114	1
53	5.3	2.7	0	53	10	54	0.1740	0.0886	1
54	4.35	3.5	0	54	54	55	0.2030	0.1034	1
55	26.4	19.0	0	55	55	56	0.2842	0.1447	1
56	24.0	17.2	0	56	56	57	0.2813	0.1433	1
57	0.0	0.0	0	57	57	58	1.5900	0.5337	1
58	0.0	0.0	0	58	58	59	0.7837	0.2630	1
59	0.0	0.0	0	59	59	60	0.3042	0.1006	1
60	100.0	72.0	0	60	60	61	0.3861	0.1172	1
61	0.0	0.0	0	61	61	62	0.5075	0.2585	1
62	1244.0	888.0	0	62	62	63	0.0974	0.0496	1
63	32.0	23.0	0	63	63	64	0.1450	0.0738	1
64	0.0	0.0	0	64	64	65	0.7105	0.3619	1
65	227.0	162.0	0	65	65	66	1.0410	0.5302	1
66	59.0	42.0	0	66	12	67	0.2012	0.0611	1
67	18.0	13.0	0	67	67	68	0.0047	0.0014	1
68	18.0	13.0	0	68	13	69	0.7394	0.2444	1
69	28.0	20.0	0	69	69	70	0.0047	0.0016	1
70	28.0	20.0	0	70	12	44	0.0047	0.0016	0
				71	14	22	0.5000	0.5000	0
				72	16	47	1.0000	1.0000	0
				73	51	60	2.0000	2.0000	0
				74	28	66	1.0000	1.0000	0

Fonte: (Autoria própria)



ANEXO X - TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado **“Reconfiguração de sistemas de distribuição visando minimizar as perdas elétricas utilizando algoritmo clonal”** é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem a devida citação ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 09 de Julho de 2019

Iuri Flávio Vargas Januário
Iuri Flávio Vargas Januário

DECLARAÇÃO DE CONFERÊNCIA DA VERSÃO FINAL

Declaro que conferi a versão final a ser entregue pelo aluno **Iuri Flávio Vargas Januário**, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado **RECONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO VISANDO MINIMIZAR AS PERDAS ELÉTRICAS UTILIZANDO ALGORITMO CLONAL** quanto à conformidade nos seguintes itens:

1. A monografia corresponde a versão final, estando de acordo com as sugestões e correções sugeridas pela banca e seguindo as normas ABNT;
2. A versão final da monografia inclui a ata de defesa (Anexo IV - apenas verso), a ficha catalográfica e o termo de responsabilidade (ANEXO X -) devidamente assinado.

João Monlevade, 11 de Julho de 2019



Prof. Dr. Wilingthon Guerra Zvietcovich.