

# **SISTEMA PARA CÁLCULO E BALANCEAMENTO DE FASES UTILIZANDO O EXCEL E O VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS**

**Carlos Daniel Rodrigues Braga<sup>1</sup>; Getúlio Albernaz Lobo<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>Estudante de Engenharia Elétrica, IFTM, Campus Paracatu, carlos.braga@estudante.iftm.edu.br.

<sup>2</sup>Professor, IFTM, Campus Paracatu, MG, [getulio.lobo@iftm.edu.br](mailto:getulio.lobo@iftm.edu.br)

**Resumo:** Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para o cálculo e balanceamento de fases utilizando o Excel e o Visual Basic for Applications. A solução desenvolvida necessita da utilização da plataforma Excel em conjunto com a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA), sendo empregado para criar macros, automatizar tarefas e criar aplicativos personalizados dentro do pacote Microsoft Office. O sistema permite que o usuário insira manualmente todos os parâmetros dos circuitos, incluindo tensão, potência e fator de potência. Em seguida, realiza o balanceamento automático das fases, seja para sistemas monofásicos (1 fase), bifásicos (2 fases) ou trifásicos (3 fases), incluindo recursos para dimensionamento automático de disjuntores e seção nominal dos condutores a serem utilizados na instalação elétrica, com todos os parâmetros calculados, é gerado um documento *Portable Document Format* (PDF), que pode ser salvo em um computador ou enviado automaticamente ao cliente via e-mail através da plataforma Microsoft Outlook. Com o objetivo de validar os dados obtidos, foram conduzidos diversos testes, envolvendo tanto valores genéricos quanto valores reais dos parâmetros. Esses resultados foram então comparados com plataformas usadas por grandes empresas na criação de projetos. O desempenho obtido foi altamente satisfatório na maioria das simulações. Em sistemas trifásicos, a divisão da carga total entre as fases ficou em torno de 33,33%, com uma variação máxima de 7,20% na simulação 8. Para sistemas bifásicos, a distribuição da carga total entre as fases situou-se em aproximadamente 50%, com uma variação máxima de 3,94% na simulação 10. Dada a informação apresentada e os resultados alcançados, a plataforma pode ser utilizada tanto para fins experimentais como profissionais e pode ser dimensionada para até 19 circuitos.

**Palavras-chave:** Balanceamento; Excel; VBA; Sistema.

## **SYSTEM FOR PHASE CALCULATION AND BALANCING USING EXCEL AND VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS**

**Abstract:** This article describes the development of a low-cost system for calculating and balancing phases using Excel and Visual Basic for Applications. The solution developed requires the use of the Excel platform in conjunction with the *Visual Basic for Applications* (VBA), programming language used to create macros, automate tasks and create personalized applications within the Microsoft Office package. The system allows the user to manually enter all circuit

parameters, including voltage, power and power factor. It then performs automatic phase balancing, whether for single-phase (1 phase), two-phase (2 phases) or three-phase (3 phases) systems, including features for automatic sizing of circuit breakers and conductor gauges to be used in the electrical installation, with all parameters calculated, *Portable Document Format* (PDF), is generated, which can be saved on a computer or automatically sent to the customer via email via the Microsoft Outlook platform. In order to validate the data obtained, several tests were conducted, involving both generic values and real values of the parameters. These results were then compared with platforms used by large companies when creating projects. The performance obtained was highly satisfactory in most simulations. In three-phase systems, the division of the total load between the phases was around 33.33%, with a maximum variation of 7.20% in simulation 8. For two-phase systems, the distribution of the total load between the phases was in approximately 50%, with a maximum variation of 3.94% in simulation 10. Given the information presented and the results achieved, the platform can be used for both experimental and professional purposes and can be scaled for up to 19 circuits.

**Keywords:** Balancing; Excel; VBA; System.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Araújo e Azevedo (2018), o desequilíbrio nas fases pode causar sobrecargas em uma ou mais fases, prejudicando o funcionamento dos equipamentos elétricos e diminuindo sua vida útil, além de danificar as instalações elétricas.

Além disso, Bortolini, M. A., Sant'Anna, L. R., & Gomes, E. N. (2018), afirmam que o desbalanceamento das fases em instalações elétricas residenciais é frequentemente causado pela utilização excessiva de cargas monofásicas em uma única fase, tais como chuveiros elétricos, ar-condicionado e aquecedores. Para evitar esse problema, é fundamental realizar o dimensionamento adequado da instalação elétrica, levando em consideração o tipo e a quantidade de cargas a serem utilizadas em cada fase.

No contexto dos sistemas elétricos de distribuição de energia, a importância da Qualidade da Energia Elétrica (QEE) tornou-se cada vez mais relevante no decorrer do século XX, à medida que a demanda por eletricidade nas áreas urbanas aumentou significativamente. Nesse cenário, a necessidade de equilibrar as fases em instalações residenciais se tornou um requisito indispensável para assegurar a QEE.

Diante disto, o trabalho baseia-se na aplicação de materiais de tecnologia da informação como meio de desenvolvimento de uma solução. Isso se justifica pela grande disponibilidade e versatilidade desses materiais, que fornecem meios

para a criação de soluções técnicas de alta qualidade sem a necessidade de investimentos em tecnologias mais complexas.

O propósito central deste projeto consiste em desenvolver uma ferramenta automatizada capaz de executar com precisão e eficiência os cálculos e o balanceamento das fases em instalações elétricas residenciais. O objetivo é proporcionar uma solução tecnológica inovadora que simplifique e otimize o processo, garantindo uma distribuição elétrica equilibrada e eficaz em ambientes residenciais.

Ao concluir este estudo, antecipa-se a obtenção de uma resposta ao seguinte questionamento de pesquisa: É possível desenvolver e validar um sistema para cálculo e balanceamento de fases utilizando o excel e o *Visual Basic for Applications*?

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Referencial Teórico

A pesquisa relacionada ao desenvolvimento de um sistema com utilização do Excel e do VBA tem sido explorada por diversos pesquisadores. A seguir, de forma resumida, são apresentados os resultados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) conduzida neste estudo.

A RSL abrangeu um período de 2 meses, de agosto a setembro de 2023. Durante esse tempo, foram analisados um total de 4 estudos que se concentraram na implementação de sistemas usando Excel em conjunto com o VBA. Nessa análise, englobaram-se 3 monografias e 1 artigo científico, conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1: RSL – Estudo do Excel em conjunto com o VBA

Título	Autor	Tipo do trabalho
Gerenciamento de dados e sistemas de informação: A base do planejamento estratégico.	Hubner, Aline Pontes (2019)	Monografia
A importância do controle de serviços na gestão de uma metalmecânica utilizando planilhas eletrônicas no Excel.	Santos, Geisane Bárbara Inacio (2016)	Monografia
As versatilidades do Microsoft Excel e sua utilização na engenharia.	Zanon, Matheus da Silva (2021)	Monografia
Suplemento do excel desenvolvido em linguagem VBA para simulação discreta de sistema de filas M M 1	Martins, Dayvid Wesley P (2017) Dantas, Maria Jose P (2017)	Artigo

Fonte: Autor (2023).

Todos os trabalhos apresentados anteriormente foi de grande relevância para o avanço deste projeto. Especificamente, o trabalho realizado por Santos (2016), que ilustra o desenvolvimento de um sistema destinado ao gerenciamento de

manutenção em uma empresa do setor metalmecânico, fazendo uso das ferramentas Excel e VBA. Inicialmente, identificou-se uma carência na comunicação entre o departamento e a coordenação devido à ausência de uma ferramenta eficaz de gestão. Como solução, foi concebido e implementado um sistema destinado ao controle e gerenciamento das atividades de manutenção, bem como dos dados relativos aos equipamentos sob reparo.

Hubner (2019), enfatizou a importância da adoção de sistemas para aprimorar a comunicação interna nas empresas, visando aprimorar a experiência no âmbito do planejamento estratégico. Foi destacado que, para diagnosticar oportunidades de melhoria, é essencial identificar programas que atendam de forma mais eficaz às necessidades da organização, considerando diversos aspectos, como métodos de implementação, integração e treinamento.

O estudo realizado por Zanon (2021), demonstra a aplicação abrangente do Microsoft Excel em diversas áreas da engenharia, com ênfase especial na engenharia química. O autor enfatiza o uso de funções essenciais na plataforma, como CORRESP, ÍNDICE, INDIRETO e MÁXIMO, ressaltando sua contribuição significativa para o aprimoramento do sistema implementado.

Por fim, Dayvid e Dantas (2017) conduziu uma pesquisa sobre filas utilizando planilhas e o *Visual Basic for Applications*. Sua implementação possibilitou a utilização de planilhas do Excel como ferramenta de simulação, permitindo a comparação de resultados. Essa abordagem possibilita a exploração de diferentes cenários para um aprofundamento no entendimento de conceitos como regime estável, tempo de aquecimento e dinâmica da fila.

Passando ao estudo do balanceamento de fases em instalações residenciais e qualidade de energia, foi realizado um estudo que envolveu a revisão de 1 artigo e 2 monografias, conforme apresentado na Quadro 2.

Quadro 2: RSL – Balanceamento de fases e qualidade de energia

Título	Autor	Tipo do trabalho
O impacto das cargas residenciais desequilibradas em um sistema de distribuição de energia elétrica e como é realizada a medição de energia para faturamento em baixa tensão	Nascimento, André Mendes (2016)	Artigo
Balanceamento de Fases em redes elétricas utilizando Procedimento Adaptativo de Busca Aleatório e Guloso (GRASP)	Cruz, Gabriela Alexandra da Silva (2019)	Monografia
Análise das instalações elétricas do IFBA - Campus de Paulo Afonso e adequações às normas vigentes	Araújo, Francico Jadilson Santos (2016)	Monografia

Fonte: Autor (2023).

O estudo realizado por Nascimento (2016) explora as vantagens e desvantagens de ter uma carga residencial equilibrada. Ele conduziu um estudo de caso envolvendo residências de 23 cidades, inclusive São Paulo, que eram alimentadas no modo B - duas fases e neutro, 3 fios - na configuração Delta

aberta. O estudo demonstra os métodos de medição de energia elétrica através de medições baseadas em indução.

O trabalho de Cruz (2019), destaca-se pela aplicação do Método de Varredura no cálculo do fluxo de potência e pela implementação de uma metodologia de otimização, o Procedimento Adaptativo de Busca Aleatório e Guloso (GRASP), para abordar desafios no planejamento de sistemas elétricos. Estratégias específicas foram desenvolvidas para lidar com o problema de balanceamento de cargas, orientando a busca por soluções eficazes. A metodologia foi testada em redes elétricas apropriadas, demonstrando sua implementação prática e eficiência.

Finalmente, no estudo de caso realizado por Araújo (2016), ele ressalta as instalações elétricas do CAMPUS DE PAULO AFONSO do INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA. O estudo demonstrou que a instituição estava enfrentando uma distribuição desigual de cargas entre as fases, o que gerava riscos de acidentes para os estudantes que utilizavam o prédio. Além disso, foi observada uma taxa de harmônicas na ordem de 33% e um aumento na demanda de energia de mais de 35% em relação à carga originalmente instalada no edifício.

## 2.2 Material e Métodos

Com base nos princípios estabelecidos neste estudo, foi concebido um sistema destinado a automatizar o equilíbrio das fases elétricas em residências. A concepção desse projeto foi viabilizada através da plataforma Excel e demandou um período de dois meses, compreendido entre outubro e novembro de 2023. A implementação desse protótipo foi custeada pelo próprio autor, totalizando um investimento estimado de R\$ 137,15, como detalhadamente apresentado no Quadro 3.

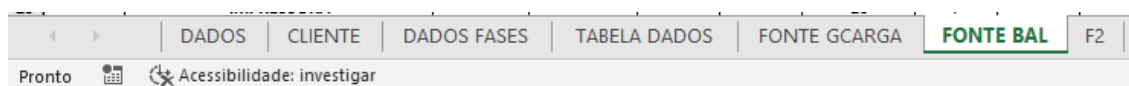
Quadro 3 – Insumos Utilizados e seus Custos.

Descrição	Unidade	Quantidade	Valor	
			Unitário	Total
Licença Microsoft 365	Mês	5	R\$ 27,43	R\$ 137,15

Fonte: Autor (2023).

A estrutura do sistema foi completamente desenvolvida no Microsoft Excel, empregando sete abas (planilhas) para organização e armazenamento de dados. Essas planilhas funcionam como um banco de dados, onde todas as informações inseridas são devidamente alocadas. Cada uma dessas abas, como ilustrado na Figura 1, desempenha um papel de suma importância no prosseguimento do projeto.

Figura 1 – Abas Planilha



Fonte: Autor (2023).

Em todas as planilhas, a estrutura está previamente definida, com colunas específicas destinadas a cada tipo de informação. Cada dado é inserido em células específicas usando a função `Planilha.cells(Linha, Coluna)`, garantindo assim a organização e a integridade dos dados ao longo do sistema. Essa abordagem assegura um controle preciso e eficaz das informações, tornando o projeto mais eficiente e organizado.

Uma vez que o sistema envolve dois métodos de balanceamento, manual e automático, foram dedicadas duas abas específicas para o balanceamento das fases, denominadas (FONTE BAL) e (F2). Para o balanceamento manual, a aba (FONTE BAL) é empregada, onde todos os dados são inseridos diretamente no formulário. Isso significa que todos os parâmetros são ajustados à medida que são inicialmente inseridos.

Por outro lado, no caso do cálculo automático, os dados são inicialmente inseridos na aba (F2) e armazenados até que todas as informações necessárias sejam devidamente inseridas. Após a conclusão desse processo, o sistema realiza o cálculo de todos os parâmetros e transfere essas informações para o formulário final na aba (FONTE BAL).

Continuando nessa linha de eventos, o relatório é produzido para refletir o balanceamento ideal, adaptado às particularidades do circuito em questão. Este relatório tem a capacidade de ser exportado em formato PDF, permitindo que seja armazenado no desktop, ou então, pode ser encaminhado diretamente ao cliente via e-mail.

Ao abordar o balanceamento das fases elétricas, o primeiro é inserir os dados característicos de cada circuito, conforme exemplificado na Figura 2. Tendo-se a inclusão precisa da tensão, potência e fator de potência de cada arranjo. Inicialmente, essas informações são armazenadas na aba (F2), que registra os dados de cada circuito até que todos os parâmetros sejam inseridos, permitindo a inclusão de até 19 circuitos elétricos.

Figura 2 – Aba dados de cada circuito

Fonte: Autor (2023).

Após a fase anterior de abordagem e a categorização do tipo de circuito na aba (F2), o passo subsequente envolve a classificação dos circuitos. Inicialmente, são introduzidos os circuitos trifásicos, seguidos pelos bifásicos e, por último, os monofásicos. Após essa classificação, os circuitos são dispostos em ordem ascendente de acordo com seus valores de potência, sendo que os de maior potência ocupam o início da aba, enquanto os de menor potência são posicionados no final. Essa etapa é realizada por meio do código apresentado na Figura 3, no qual é possível verificar a sequência de cada execução.

Figura 3 – Código Classificação dos circuitos

```
'CLASSIFICAR MAIOR POT PRIMEIRO
With Planilha7
Columns("B:B").Select
ActiveWorkbook.Worksheets("F2").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("F2").Sort.SortFields.Add2 Key:=Range("B1:B60"), _
    SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption:=xlSortNormal
End With
With ActiveWorkbook.Worksheets("F2").Sort
    .SetRange Range("A1:G60")
    .Header = xlGuess
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With
```

Fonte: Autor (2023).

Após a classificação mencionada anteriormente, realiza-se a análise de cada circuito com base em seu valor de potência, seguindo os critérios estabelecidos na Figura 4.a, 4.b para circuitos bifásicos.

Figura 4.a – Código para circuitos bifásicos parte 1

```

If Planilha7.Cells(F1, 6).Value = 2 Then 'SE AS 3 FASES FOR IGUAL LANÇA NA FASE R E NA FASE T
  If FASER = FASES Then
    If FASER = FASET Then
      If FASES = FASET Then
        If TV = 0 Then
          Planilha6.Cells(F2, 12) = "RT"

          Planilha6.Cells(F2, 27) = "X"
          Planilha6.Cells(F2, 29) = "X"

          FASER = FASER + (Planilha7.Cells(F1, 2) / 2)
          FASET = FASET + (Planilha7.Cells(F1, 2) / 2)

          TV = 1
        End If
      End If
    End If
  End If
End If

If FASER >= FASES Then 'SE A FASE R FOR MAIOR LANÇA NA FASE S E NA FASE T
  If FASER >= FASET Then
    If TV = 0 Then
      Planilha6.Cells(F2, 12) = "ST"

      Planilha6.Cells(F2, 28) = "X"
      Planilha6.Cells(F2, 29) = "X"

      FASES = FASES + (Planilha7.Cells(F1, 2) / 2)
      FASET = FASET + (Planilha7.Cells(F1, 2) / 2)

      TV = 1
    End If
  End If
End If

```

Fonte: Autor (2023).

Figura 4.b – Código para circuitos bifásicos parte 2

```

If FASES >= FASER Then 'SE A FASE S FOR MAIOR LANÇA NA FASE R E NA FASE T
  If FASES >= FASET Then
    If TV = 0 Then
      Planilha6.Cells(F2, 12) = "RT"

      Planilha6.Cells(F2, 27) = "X"
      Planilha6.Cells(F2, 29) = "X"

      FASER = FASER + (Planilha7.Cells(F1, 2) / 2)
      FASET = FASET + (Planilha7.Cells(F1, 2) / 2)

      TV = 1
    End If
  End If
End If

If FASET >= FASER Then 'SE A FASE T FOR MAIOR LANÇA NA FASE R E NA FASE S
  If FASET >= FASES Then
    If TV = 0 Then
      Planilha6.Cells(F2, 12) = "RS"

      Planilha6.Cells(F2, 27) = "X"
      Planilha6.Cells(F2, 28) = "X"

      FASER = FASER + (Planilha7.Cells(F1, 2) / 2)
      FASES = FASES + (Planilha7.Cells(F1, 2) / 2)

      TV = 1
    End If
  End If
End If

```

Fonte: Autor (2023).



Na Figura 5.a e 5.b, são apresentados circuitos monofásicos.

Figura 5.a – Código para circuitos monofásicos parte 1

```

If FASER = FASES Then 'SE AS 3 FASES FOR IGUAL ADICIONA NA FASE S
  If FASER = FASET Then
    If FASET = FASES Then
      If TV = 0 Then
        Planilha6.Cells(F2, 12) = "S"

        Planilha6.Cells(F2, 28) = "X"

        FASES = FASES + Planilha7.Cells(F1, 2)
        TV = 1
      End If
    End If
  End If
End If

If FASER <= FASES Then 'SE A FASE R FOR MENOR LANÇA NA FASE R
  If FASER <= FASET Then
    If TV = 0 Then
      Planilha6.Cells(F2, 12) = "R"

      Planilha6.Cells(F2, 27) = "X"

      FASER = FASER + Planilha7.Cells(F1, 2)
      TV = 1
    End If
  End If
End If

```

Fonte: Autor (2023).

Figura 5.b – Código para circuitos monofásicos parte 2

```

If FASES <= FASER Then 'SE A FASE S FOR MENOR LANÇA NA FASE S
  If FASES <= FASET Then
    If TV = 0 Then
      Planilha6.Cells(F2, 12) = "S"

      Planilha6.Cells(F2, 28) = "X"

      FASES = FASES + Planilha7.Cells(F1, 2)
      TV = 1
    End If
  End If
End If

If FASET <= FASER Then 'SE A FASE T FOR MENOR LANÇA NA FASE T
  If FASET <= FASES Then
    If TV = 0 Then
      Planilha6.Cells(F2, 12) = "T"

      Planilha6.Cells(F2, 29) = "X"

      FASET = FASET + Planilha7.Cells(F1, 2)
      TV = 1
    End If
  End If
End If

```

Fonte: Autor (2023).

Na Figura 6, apresenta-se o código destinado ao cálculo da seção nominal do condutor a ser empregado na instalação elétrica. Inicialmente, é efetuado o cálculo da corrente do circuito, levando em consideração a carga e a tensão associada a ele. Após obter esse parâmetro, uma série de estruturas condicionais (IF) é utilizada para determinar em qual intervalo de corrente o circuito se encontra. É relevante mencionar que foi fixada uma distância de 20 metros desde o quadro de distribuição até a carga, como parte do processo de padronização. Esse procedimento segue o método da máxima queda de tensão e visa garantir que a instalação elétrica atenda a critérios de segurança e eficiência, dimensionando o condutor de acordo com as necessidades do circuito.

Figura 6 – Código Dimensionamento de Condutor Elétrico

```
'calculo da espessura do condutor
correte = TextBoxMPot / ComboBoxMTensao
If correte > 0 And correte < 7.5 Then
    Planilha6.Cells(LI, 10) = "1,5"
End If
If correte > 7.501 And correte < 12.5 Then
    Planilha6.Cells(LI, 10) = "2,5"
End If
If correte > 12.501 And correte < 20 Then
    Planilha6.Cells(LI, 10) = "4"
End If
If correte > 20.001 And correte < 30 Then
    Planilha6.Cells(LI, 10) = "6"
End If
If correte > 30.001 And correte < 50 Then
    Planilha6.Cells(LI, 10) = "10"
End If
If correte > 60.001 And correte < 80 Then
    Planilha6.Cells(LI, 10) = "16"
End If
If correte > 80.001 And correte < 100 Then
    Planilha6.Cells(LI, 10) = "25"
End If
```

Fonte: Autor (2023).

No decorrer desse procedimento, é introduzido o campo "DDR," que oferece a opção de incluir ou não um Dispositivo Diferencial Residual no circuito. Conforme ilustrado na Figura 7, se o usuário desejar adicionar o dispositivo ao circuito, o sistema insere um "S" na coluna 8 na aba (FONTE BAL). Por outro lado, se o usuário optar por não adicionar o dispositivo, um "N" é inserido também na coluna 8 (FONTE BAL).

Figura 7 – Código Adicionando DDR

```

'CAMPO DDR
If OptionButton10 = True Then
    Planilha6.Cells(LI, 8) = "N"
End If
If OptionButton12 = True Then
    Planilha6.Cells(LI, 8) = "S"
End If

```

Fonte: Autor (2023).

Após a conclusão de todos os procedimentos, é viável gerar um relatório em formato PDF contendo todas as padronizações conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Relatório Balanceamento de fases Residenciais



Fonte: Autor (2023).

Após o processo, é possível salvar o arquivo no desktop, conforme o código ilustrado na Figura 9. Uma vez gerado, o arquivo é automaticamente salvo nessa pasta e aberto em formato PDF para verificação imediata.

Figura 9 – Código salvando Relatório na Pasta de Trabalho

```
Private Sub CommandButton1_Click()
    If TextBox1 = "" Or TextBox2 = "" Or TextBox3 = "" Or TextBox4 = "" Then
        Label15.Caption = "ATENÇÃO PREENCHA TODOS OS DADOS!"
        Exit Sub
    Else

        Planilha6.Cells(4, 7).Value = TextBox1
        Planilha6.Cells(7, 7).Value = TextBox2
        Planilha6.Cells(8, 7).Value = TextBox3
        Planilha6.Cells(5, 7).Value = TextBox4

        Dim CAMINHO As String
        Dim ENDERECO As String

        ENDERECO = ThisWorkbook.Path

        CAMINHO = ENDERECO & " " & Planilha6.Cells(4, 7).Value & ".pdf"

        Sheets("FONTE BAL").Select
        Range("A1:O79").Select
        ChDir "C:\Users\carlo\OneDrive\Área de Trabalho"
        ActiveSheet.ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, Filename:= _
            CAMINHO, Quality:=xlQualityStandard, IncludeDocProperties:=True, IgnorePrintAreas _
            :=False, OpenAfterPublish:=True
    End If

End Sub
```

Fonte: Autor (2023).

Além disso, é importante destacar que o mesmo arquivo pode ser enviado automaticamente para o e-mail do cliente. A Figura 10 ilustra o código que viabiliza esse envio automático por meio do Excel em conjunto com o Microsoft Outlook. Esse envio é realizado através do *Outlook.Application*, que permite a criação do Outlook dentro do plataforma Microsoft Excel, e trambem pela função *Attachments.Add* que permite anexar arquivos na plataforma. As informações são enviadas de maneira instantânea para os endereços de e-mail cadastrados ao final da execução do projeto, como demonstrado na Figura 11.

Figura 10 – Código enviando Relatório via E-mail

```

Dim Outlook As Object, NovoEmial As Object

Set Outlook = CreateObject("Outlook.application")
With Planilha6

Set NovoEmial = Outlook.CreateItem(0)
ThisWorkbook.Save

With NovoEmial

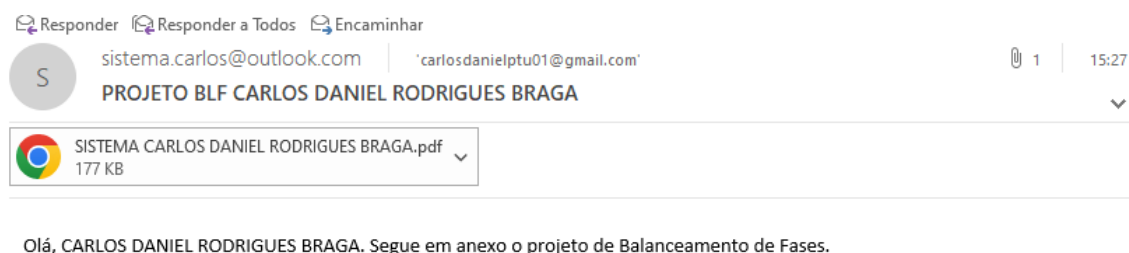
.To = TextBox2
.Subject = "PROJETO BLF " & TextBox1
.Body = "Olá, " & TextBox1 & ". Segue em anexo o projeto de Balanceamento de Fases."
.Body = "Olá, " & TextBox1 & ". Segue em anexo o projeto de Balanceamento de."
.Attachments.Add CAMINHO
.Send

End With
End With

```

Fonte: Autor (2023).

Figura 11 – Relatório recebido via E-mail



Fonte: Autor (2023).

## Avaliação do sistema e outras funcionalidades

Também foram incorporadas ao sistema outras funcionalidades, como uma calculadora simples, calculadora de circuitos eletrônicos e calculadora para demanda residencial. A integração desses elementos foi realizada por meio do desenvolvimento de códigos utilizando o Excel-VBA. O projeto em sua totalidade abrange mais de 3000 linhas de código, as quais podem ser visualizadas através do caminho [https://drive.google.com/file/d/1IXOmfaI7zBzxAJyHaSWjF2s-b\\_cAtvpK/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1IXOmfaI7zBzxAJyHaSWjF2s-b_cAtvpK/view?usp=sharing).

A calculadora de demanda residencial oferece a capacidade de calcular a demanda de cada cômodo, analisando o fator de iluminação mínimo necessário no ambiente. Ela realiza cálculos precisos e dimensiona tanto as tomadas para uso geral quanto para fins específicos. Ao calcular as demandas de energia para cada ambiente, o sistema oferece não apenas precisão, mas também eficiência no dimensionamento de tomadas, levando em conta as necessidades gerais e

específicas de cada espaço. Isso proporciona uma instalação elétrica mais adaptada às exigências particulares de uma residência.

Além disso, a integridade de todos os dados resulta na geração automática de um arquivo em PDF, disponível para salvar na pasta de trabalho ou ser enviado via e-mail, conforme ilustrado no processo de balanceamento de fases. A implementação desse conjunto de funções não apenas garante conveniência para o usuário, mas também possibilita o desenvolvimento de diversas funcionalidades em uma única plataforma.

Com o objetivo de validar e testar todos os parâmetros gerados pelo sistema, foram realizados testes de alta complexidade em todas as funcionalidades. Essa abordagem visa assegurar e comprovar a exatidão e integridade dos dados gerados. Para validar o balanceamento de fases, por exemplo, foram executadas mais de 26 simulações com diferentes parâmetros, garantindo a validação dos resultados obtidos. Todos esses dados serão apresentados na próxima seção.

## 2.3 Resultados e Discussão

Com o intuito de exibir os resultados obtidos, é crucial direcionar a atenção para o menu principal do sistema, conforme ilustrado na Figura 12. Nesse ambiente, os usuários têm a facilidade de acessar todas as funções de maneira intuitiva. Além disso, nesta área, é possível realizar cálculos matemáticos básicos, como soma, subtração, multiplicação e divisão, através de uma calculadora integrada.

Figura 12 – Menu Principal



Fonte: Autor (2023).

Adicionalmente a opção de configuração está disponível através do botão de abertura, permitindo ajustar todas as configurações do sistema. Aqui, os usuários podem visualizar as abas da planilha e examinar o código-fonte subjacente, fornecendo controle e personalização. O botão "Desligar" (OFF) possibilita o fechamento do sistema, assegurando que todas as informações sejam salvas antes de sair.

Outras características notáveis abrangem a "Calculadora de Circuitos", que capacita o cálculo de diversos parâmetros, como resistência, divisor de tensão, divisor de corrente, tensão RMS, tensão de pico, tensão pico a pico e frequência de corte, com especial ênfase em aplicações relacionadas a circuitos eletrônicos. Ademais, a funcionalidade "Demanda Residencial" possibilita a avaliação da potência necessária para iluminação e tomadas em uma residência, com base nas dimensões da área e no perímetro fornecido.

Por fim, a funcionalidade central deste sistema está no botão (Balanceamento de Fases). Ele permite realizar o balanceamento das fases de um sistema elétrico de forma manual ou automática, o que constitui o ponto central deste trabalho.

### Calculadora Circuitos

Esta aba é dedicada aos cálculos de circuitos eletrônicos, proporcionando maior comodidade no sistema. Na Figura 13, é possível acessar a sub-aba "Calculadora de Circuitos - Resistor", onde se encontra um exemplo simples de cálculo realizado pelo sistema. Nesse exemplo, cinco resistores de 100k $\Omega$  foram conectados em série, e o sistema forneceu uma resposta precisa, indicando uma resistência equivalente de 500k $\Omega$  ou 500000 $\Omega$ .

Figura 13 – Calculadora de Circuitos - Resistor

Fonte: Autor (2023).

É importante observar que é possível calcular um conjunto de até cinco resistores, com a opção de adicionar mais resistores por meio do botão "MAIS RESISTOR". Além disso, é necessário especificar o tipo de associação, seja série ou paralela. Caso algum desses parâmetros não seja adicionado, o sistema exibirá uma mensagem de erro para o usuário, garantindo a correta utilização da ferramenta.

Na Figura 14, é possível observar o cálculo do divisor de tensão em um circuito eletrônico. No exemplo em questão, foi realizado um teste em um circuito com um resistor R1 de  $100\Omega$  e um resistor R2 de  $200\Omega$ , ambos conectados em série, com uma tensão de 12 volts aplicada entre os terminais. Foi verificado que a tensão fornecida pelo VS foi de 8 volts, o que representa uma resposta correta.

Figura 14 – Calculadora de Circuitos - Tensão



Fonte: Autor (2023).

Na continuação da sequência de exemplos anteriores, foi realizado um teste para calcular o divisor de corrente, conforme demonstrado na Figura 15. Desta vez, uma corrente de 6 amperes foi inserida em um circuito com resistores equivalentes de  $1\text{ K}\Omega$  e  $2\text{ K}\Omega$ . Conforme ilustrado na imagem 5, o sistema forneceu uma resposta de exatamente 2 amperes (CS), o que representa uma resposta coerente e precisa.

Foram realizados testes na calculadora de tensão RMS, de pico e pico a pico, conforme demonstrado na Figura 16. No teste da tensão RMS, foi fornecida ao sistema uma tensão pico a pico de 12V, resultando em um valor final RMS de 4,25 volts, conforme apresentado na Equação 1.

Para o cálculo e validação da tensão de pico, executou-se o teste inserindo uma tensão pico a pico de 12 volts, resultando em uma tensão de pico de 6 volts,



conforme indicado na Equação 2. Por fim, o teste da tensão pico a pico foi realizado, inserindo uma tensão de pico no valor de 6 volts, resultando em uma tensão pico a pico de 12 volts, conforme demonstrado na Equação 3.

Equação 1 – Cálculo da Tensão RMS

$$RMS = V_{pico\ pico} * 0,35355$$

$$RMS = 12 * 0,35355 \cong 4,25\ Volts$$

Equação 2 – Cálculo da Tensão Pico

$$V_{pico} = \frac{V_{pico - pico}}{2}$$

$$V_{pico} = \frac{12}{2} = 6\ Volts$$

Equação 3 – Cálculo da Tensão Pico a Pico

$$V_{pico - pico} = V_{pico} * 2$$

$$V_{pico - pico} = 6 * 2 = 12\ Volts$$

Figura 15 – Calculadora de Circuitos - Corrente

GOOD AFTERNOON, CARLOS BRAGA!

12:07:32

MENU CONFIGURAÇÃO CIRCUITOS DEMANDA RESIDENCIAL FASES FECHAR

INSTITUTO FEDERAL  
Triângulo Mineiro  
Campus Paracatu

RESISTOR  
TENSÃO  
CORRENTE  
FC  
T RMS

DIVISÃO DE CORRENTE

C 6 A

R1 1 Ω KΩ MΩ

R2 2 Ω KΩ MΩ

CALCULAR LIMPAR DADOS

CS = 2

ESC CAL PC  
AC ( ) /  
7 8 9 \*  
4 5 6 -  
1 2 3 +  
0 . =

Fonte: Autor (2023).

Figura 16 – Calculadora de Circuitos – Tensão RMS

GOOD AFTERNOON, CARLOS BRAGA!

16:23:05

INSTITUTO FEDERAL  
Triângulo Mineiro  
Campus Paracatu

RESISTOR  
TENSÃO  
CORRENTE  
FC  
T RMS

ESC AC CAL PC  
7 8 9 +  
4 5 6 -  
1 2 3 +  
0 . =

**CÁLCULO DE TENSÃO**

**TENSÃO RMS**

☐ TENSÃO DE PICO  
☒ TENSÃO DE PICO A PICO  
☐ TENSÃO MÉDIA

INSIRA

12

CALCULAR

LIMPAR DADOS

4,2426

**TENSÃO PICO**

☒ TENSÃO DE PICO A PICO  
☐ TENSÃO RMS  
☐ TENSÃO MÉDIA

INSIRA

12

CALCULAR

LIMPAR DADOS

6

**TENSÃO PICO A PICO**

☒ TENSÃO DE PICO  
☐ TENSÃO RMS  
☐ TENSÃO MÉDIA

INSIRA

6

CALCULAR

LIMPAR DADOS

12

Fonte: Autor (2023).

## Demanda Residencial

Com o intuito de aprimorar a conveniência do sistema, foi incorporado um campo específico para o dimensionamento da carga elétrica mínima em cada ambiente, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela norma Norma de Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR5410. Na Figura 17, visualiza-se a interface da entrada principal, onde os parâmetros iniciais são inseridos, abrindo espaço para a inclusão dos demais dados.

Posteriormente, todos os elementos, como tipo de cômodo, perímetro e área, são adicionados, conforme exemplificado na Figura 18. Após essa inserção de dados, o sistema realiza os cálculos necessários, transformando-os na condição mínima requerida para a potência de iluminação, tomadas de uso geral e específico.

As análises fornecidas no exemplo destacam a capacidade do sistema em efetuar os cálculos necessários para os parâmetros. Contudo, é crucial realizar intervenções adicionais para validar e quantificar se todos os requisitos exigidos pela NBR 5410 estão sendo atendidos. Para uma validação completa dos dados, é importante compará-los com um projeto realizado por um engenheiro especializado, garantindo assim a conformidade com as normas e diretrizes aplicáveis.

Conforme detalhado na seção de materiais e métodos, há também a possibilidade de gerar o relatório completo em formato PDF e enviá-lo automaticamente por e-mail através do Outlook, como ilustrado na Figura 19.

Figura 17 – Demanda Residencial (Caixa de entrada)

GOOD AFTERNOON, CARLOS BRAGA!

10:44:31

**INSTITUTO FEDERAL**  
Triângulo Mineiro  
Campus Paracatu

MENU CONFIGURAÇÃO CIRCUITOS DEMANDA RESIDENCIAL FASES FECHAR

DADOS PESSOAL - CLIENTE

NOME Carlos Daniel Rodrigues Braga TELEFONE 0

CPF / CNPJ 000.000.000.00 ESTADO / UF 0

E-MAIL carlos.braga@progen.com.br

DADOS DO PROJETO

CLASSE ☒ RESIDENCIAL ☐ COMERCIAL ☐ INDUSTRIAL ☐ RURAL

TIPO DE LIGAÇÃO ☐ MONOFÁSICO ☒ BIFÁSICO ☐ TRIFÁSICO ☐ RURAL 440/220V ☐ USO COLETIVO

TIPO DE RAMAL DE LIGAÇÃO ☒ AÉREO ☐ SUBTERRÂNEO ☐ MISTO

LIMPAR DADOS SEGUIR

ESC CAL PC  
AC ( ) / =  
7 8 9  
4 5 6  
1 2 3  
0 . =

Fonte: Autor (2023).

Figura 18 – Demanda Residencial (Parâmetros para cálculo)

RELATÓRIO DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS RESIDENCIAIS

TIPO DE COMODO

☒ QUARTO, SALA DE ESTAR OU CIRCULAÇÃO  
☐ COZINHAS, COPAS OU ÁREA DE SERVIÇOS  
☐ SUB SOLOS, VARANDAS OU GARAGENS  
☐ BANHEIROS

PARÂMETROS

DEPENDÊNCIA   
ÁREA  M<sup>2</sup>  
PERÍMETRO  M

TUE's

☐ AR-CONDICIONADO  
☐ TELEVISÃO  
☐ OUTROS  
POTÊNCIA  W

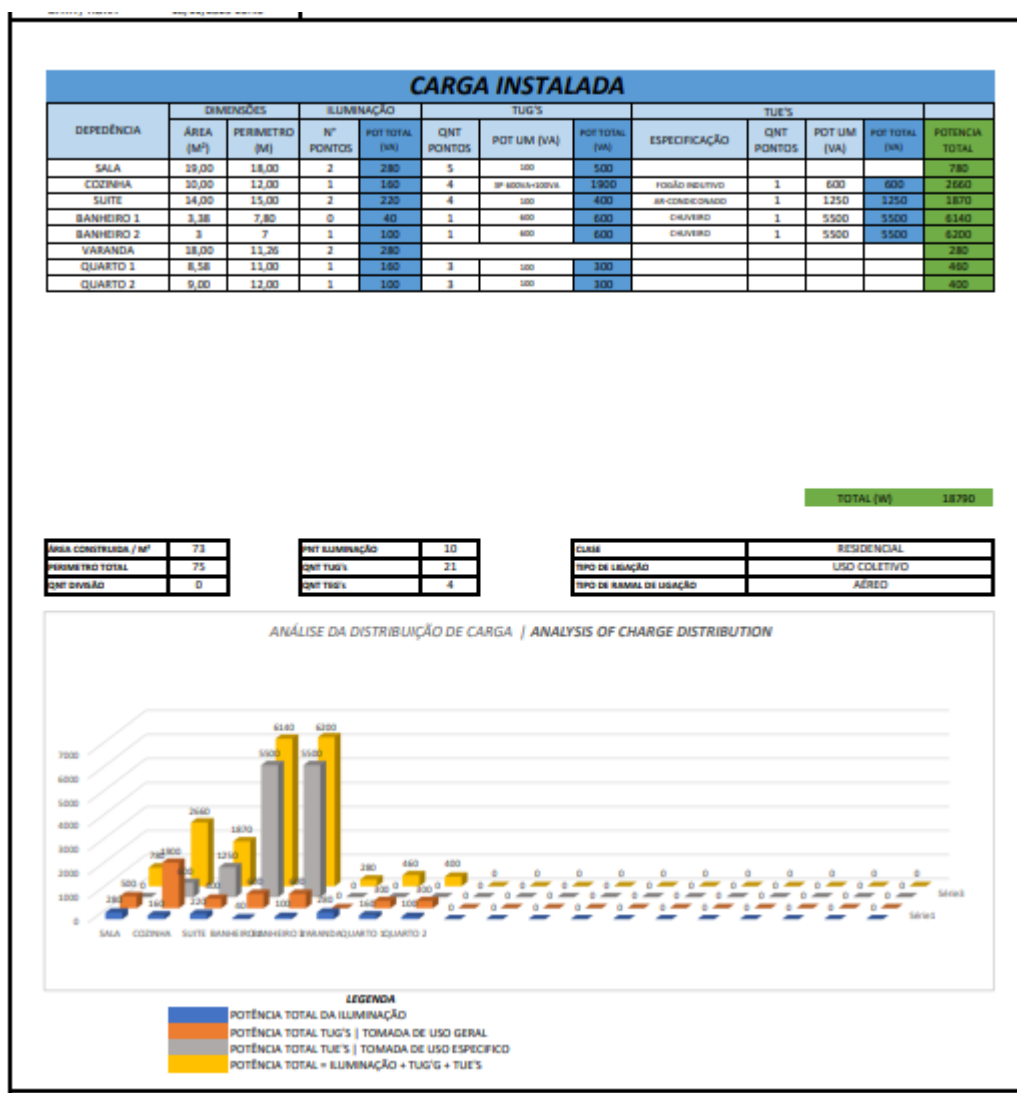
FECHAR  
LIMPAR DADOS  
SALVAR DADOS

DEPENDENCIA	ÁREA(M <sup>2</sup> )	PERÍMETRO(M)	ILUMINAÇÃO(W)	TUG(W)	TUE(W)	POTÊNCIA TOTAL(W)
SALA	19	18	280	500		780
COZINHA	10	12	160	1900	600	2660
SUITE	14	15	220	400	1250	1870
BANHEIRO 1	3,38	7,80	40	600	5500	6140
BANHEIRO 2	3	7	100	600	5500	6200
VARANDA	18	11,26	280			280
QUARTO 1	8,58	11	160	300		460
QUARTO 2	9	12	100	300		400

ZERAR DADOS EXPORTAR PDF ENVIAR EMAIL

Fonte: Autor (2023).

Figura 19 – Relatório Distribuição de Cargas Residenciais



Fonte: Autor (2023).

## Balanceamento de Fases

Com o objetivo de analisar e validar o sistema desenvolvido, foram realizadas um total de 26 simulações, abrangendo uma ampla gama de parâmetros. Dessas simulações, 13 foram dedicadas aos sistemas com ramais de entrada bifásicos, e as 13 restantes foram focadas em sistemas com ramais de entrada trifásicos.

Todas as 26 simulações realizadas foram cuidadosamente registradas por meio de vídeos, e os relatórios correspondentes estão disponíveis para verificação por meio da URL <[https://drive.google.com/drive/folders/1H51xl4VMc\\_ejTQZrdHIPvhEGkuzX-QdC?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1H51xl4VMc_ejTQZrdHIPvhEGkuzX-QdC?usp=sharing)>. Adicionalmente, os quadros de carga utilizados em cada uma dessas simulações estão acessíveis no caminho <<https://drive.google.com/file/d/1T8DHA5RZgtZQF7UpRn4qTIAMzd9uaIP8/view?usp=sharing>>. Essa abordagem não apenas assegura a transparência do

processo, mas também reforça a garantia da integridade dos resultados que serão detalhados a seguir.

#### Ramal de entrada bifásico

Conforme mencionado na introdução anterior, foram conduzidas 13 simulações para avaliar a configuração de entrada específica. Esta configuração consiste em quatro fios, nomeadamente fase R, fase S, neutro e terra. Destaca-se que a tensão está configurada em 127V entre fase e neutro, e 220V entre as fases R e S. Essa composição elétrica foi objeto de análise detalhada por meio das simulações realizadas.

No âmbito desta análise, destaca-se o Quadro 4, o qual revela os resultados finais dos balanceamentos obtidos. Esses valores desempenham um papel essencial na avaliação e qualificação dos resultados alcançados.

Quadro 4 – Resultados Simulações Bifásica

SIMULAÇÃO	POTÊNCIA TOTAL (W)	POTÊNCIA FASE R (W)	POTÊNCIA FASE S (W)	DIFERENÇA ENTRE AS FASES EM MÓDULO
SIMULAÇÃO 1	18362	8960	9402	442
		48,80%	51,20%	2,40%
SIMULAÇÃO 2	22263	11450	10813	637
		51,43%	48,57%	2,86%
SIMULAÇÃO 3	27440	14020	13420	600
		51,09%	48,91%	2,18%
SIMULAÇÃO 4	10629	5327	5302	25
		50,12%	49,88%	0,24%
SIMULAÇÃO 5	31320	15641	15679	38
		49,94%	50,06%	0,12%
SIMULAÇÃO 6	41300	20700	20600	100
		50,12%	49,88%	0,24%
SIMULAÇÃO 7	54800	27450	27350	100
		50,09%	49,91%	0,18%
SIMULAÇÃO 8	25000	12500	12500	0
		50%	50%	0%
SIMULAÇÃO 9	19700	9900	9800	100
		50,25%	49,75%	0,50%
SIMULAÇÃO 10	15200	7900	7300	600
		51,97%	48,03%	3,94%
SIMULAÇÃO 11	29300	14700	14600	100
		50,17%	49,83%	0,34%

SIMULAÇÃO 12	9300	4700	4600	100
		50,54%	49,46%	1,08%
SIMULAÇÃO 13	28960	14480	14480	0
		50%	50%	0%

Fonte: Autor (2023).

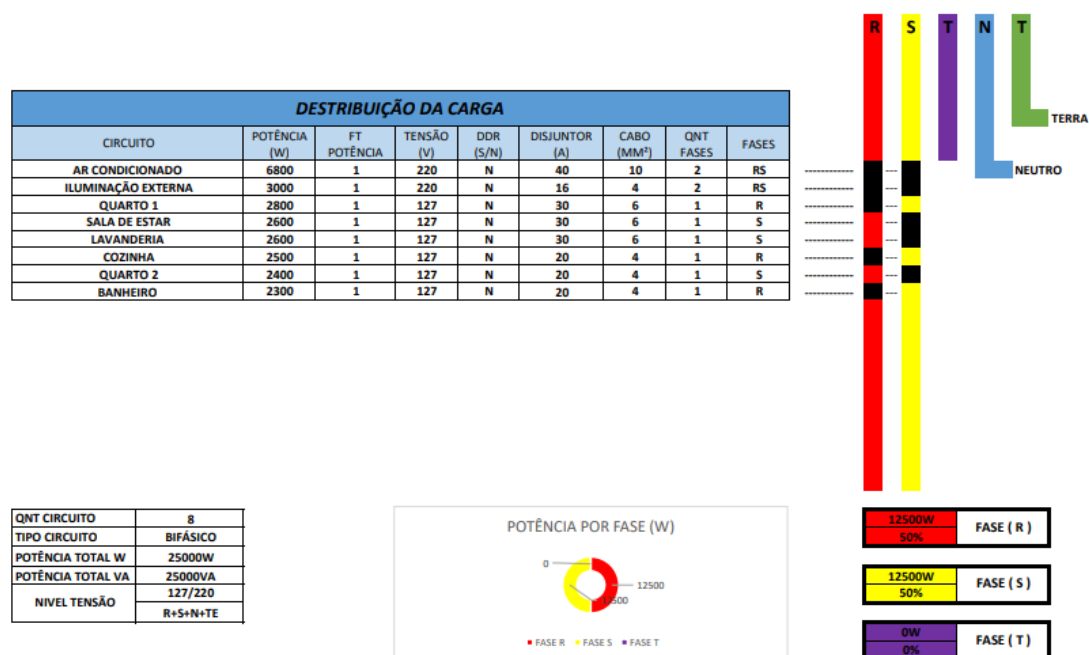
O Quadro 4 exibe os desfechos conclusivos das simulações, proporcionando dados fundamentais acerca do equilíbrio em sistemas bifásicos. Uma análise aprofundada desses dados revela aspectos pertinentes para a qualificação e a compreensão do desempenho do sistema. Quanto à Estabilidade no Balanceamento, as simulações evidenciam uma notável consistência, refletida nos percentuais próximos a 50% nas potências das fases R e S. Essa uniformidade indica um equilíbrio apropriado durante a operação do sistema.

A Avaliação das Discrepâncias Percentuais evidencia a excelência predominante nas simulações, destacando-se pela mínima disparidade entre as fases. As simulações 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 e 13 sobressaem com diferenças inferiores a 1%, indicando um balanceamento altamente eficiente. Contudo, a Simulação 10 apresenta uma discrepância percentual mais expressiva (3,94%), sugerindo uma área potencial de aprimoramento no equilíbrio entre as fases.

No entanto, de acordo com Cruz (2019), devido à complexidade inerente em obter correntes de demanda máxima nas fases precisamente idênticas, é recomendável efetuar a distribuição de carga de maneira que, no mínimo, a corrente mais elevada não ultrapasse em 10% a corrente menor. Essa abordagem prática visa garantir um equilíbrio aceitável nas fases, considerando as variações naturais na demanda de carga, e contribui para prevenir sobrecargas indesejadas no circuito. Embora essa medida não atinja uma igualdade absoluta, oferece uma estratégia viável para otimizar o desempenho do sistema elétrico, conforme orientado por princípios de segurança e eficiência.

Destaca-se nesses quesitos a importância de um balanceamento de fase ideal, atingindo 50% para cada fase. Na simulação 13, em qualquer circunstância, deveria ocorrer esse equilíbrio, uma vez que foram utilizadas apenas cargas com tensão de 220V, empregando ambas as fases de forma equitativa. Entretanto, a simulação 8, conforme ilustrado na Figura 20, se destaca de maneira notável devido aos seus oito circuitos, totalizando uma potência de 25KW, expressando-se de forma significativa.

Figura 20 – Simulação Bifásica 8



Fonte: Autor (2023).

### Ramal de entrada trifásico

Para esta configuração, foram realizadas 13 simulações, seguindo os mesmos critérios de potência estabelecidos para as simulações bifásico. Neste tipo de conexão, que é composta por cinco fios de entrada - fase R, fase S, fase T, neutro e terra - a tensão é de 127V na ligação fase-neutro e 220V na ligação entre duas fases.

Conforme evidenciado pelo Quadro 5, cada simulação desempenhou um papel fundamental na coleta de dados precisos e na avaliação do desempenho do sistema sob condições diversas. A síntese dessas simulações proporciona uma visão abrangente do comportamento do sistema em cenários distintos, enriquecendo significativamente a compreensão acerca de sua estabilidade e eficiência.

Quadro 5 – Resultados Simulações Trifásico

SIMULAÇÃO	POTÊNCIA TOTAL (W)	POTÊNCIA FASE R (W)	POTÊNCIA FASE S (W)	POTÊNCIA FASE T (W)	DIFERENÇA R - S	DIFERENÇA R - T	DIFERENÇA T - S
SIMULAÇÃO 1	18362	6700	6662	7000	38,00	-300	338
		32,90%	32,72%	34,38%	0,18%	-1,48%	1,66%
SIMULAÇÃO 2	22263	7650	7650	6963	0	687	-687
		34,36%	34,36%	31,28%	0,00%	3,08%	-3,08%
SIMULAÇÃO 3	27440	9270	9270	8900	0	370	-370
		33,78%	33,78%	32,43%	0,00%	1,35%	-1,35%
SIMULAÇÃO 4	10629	3962	3490	4250	472	-288	760
		33,80%	29,82%	36,30%	3,98%	-2,50%	6,48%
SIMULAÇÃO 5	31320	10400	10406	10362	-6	38	-44
		33,37%	33,39%	33,25%	-0,02%	0,12%	-0,14%
SIMULAÇÃO 6	41300	14050	14000	13250	50	800	-750
		34,02%	33,90%	32,08%	0,12%	1,94%	-1,82%
SIMULAÇÃO 7	54800	18550	18600	17650	-50	900	-950
		33,85%	33,94%	32,21%	-0,09%	1,64%	-1,73%
SIMULAÇÃO 8	25000	8400	9200	7400	-800	1000	-1800
		33,60%	36,80%	29,60%	-3,20%	4,00%	-7,20%
SIMULAÇÃO 9	19700	6600	6500	6600	100	0	100
		33,50%	32,99%	33,50%	0,51%	0,00%	0,51%
SIMULAÇÃO 10	15200	5100	5350	4750	-250	350	-600
		33,55%	35,20%	31,25%	-1,65%	2,30%	-3,95%
SIMULAÇÃO 11	29300	9850	9750	9700	100	150	-50
		33,62%	33,28%	33,11%	0,34%	0,51%	-0,17%
SIMULAÇÃO 12	9300	3000	3300	3000	-300	0	-300
		32,26%	35,48%	32,26%	-3,22%	0,00%	-3,22%
SIMULAÇÃO 13	28960	9630	9530	9800	100	-170	270
		33,25%	32,91%	33,84%	0,34%	-0,59%	0,93%

Fonte: Autor (2023).

Com base nos resultados apresentados no último quadro, é possível destacar que o equilíbrio entre as fases obteve um resultado altamente satisfatório. A Simulação 9 se destaca como aquela que apresenta um dos melhores balanceamentos, evidenciando diferenças relativamente pequenas entre as fases (R-S, R-T, T-S). Esses valores indicam uma distribuição de carga notavelmente uniforme.

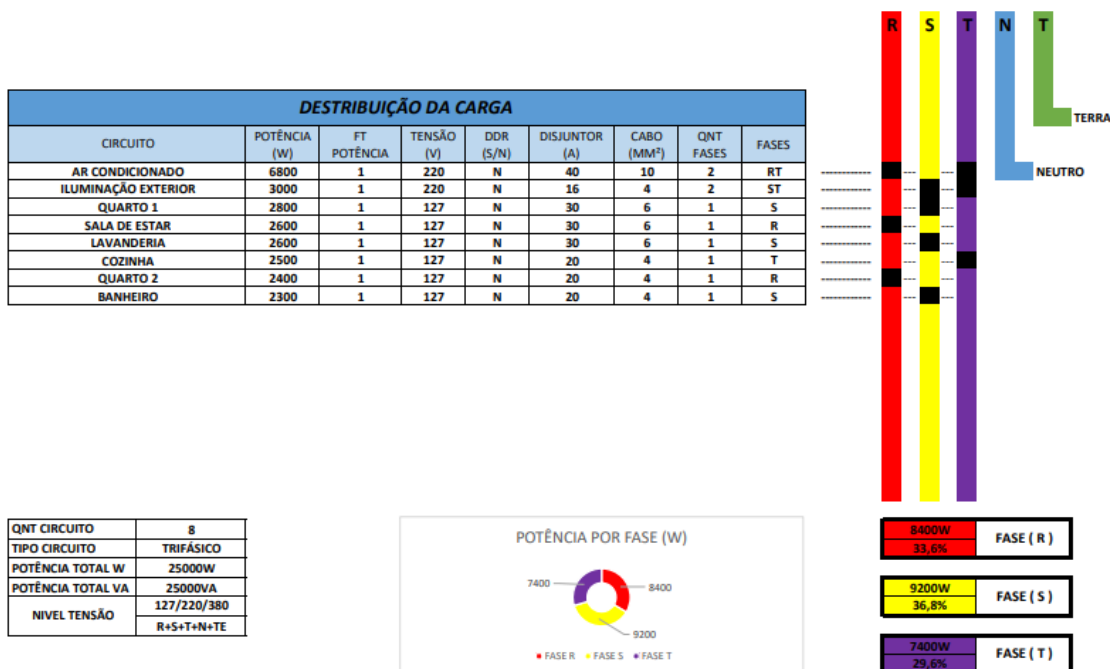
A simulação 4 e 8, evidenciam disparidades nas diferenças entre fases, sendo notável que a diferença da fase T-S alcança um percentual significativo de 7,20%. Essas divergências podem ter implicações diretas na estabilidade e eficiência do sistema. Investigar e corrigir tais disparidades torna-se crucial para otimizar o desempenho geral. Outro aspecto de relevância é a redistribuição do circuito. A reorganização das cargas possibilita uma combinação mais eficaz do arranjo, favorecendo um balanceamento mais adequado e menos distorcido. Através desse ajuste estratégico, é possível atenuar as discrepâncias entre as fases, promovendo um funcionamento mais equilibrado e eficiente do sistema elétrico trifásico.

A simulação 8, representada na figura 21, indica cargas elevadas nos circuitos, com um mínimo de 2300 W no banheiro. Isso sugere que os circuitos podem não estar dimensionados adequadamente. Recomenda-se uma redistribuição das cargas, aumentando a quantidade de circuitos para alcançar



um equilíbrio mais eficiente. Essa medida visa evitar sobrecargas, melhorar a segurança e otimizar o desempenho do sistema elétrico.

Figura 21 – Simulação Trifásico 8



Fonte: Autor (2023).

A mesma simulação foi estendida ao ramal de entrada bifásico, mostrando um balanceamento altamente preciso, como já mencionado. A notável uniformidade entre as fases destaca a capacidade efetiva do sistema de se ajustar às particularidades de cada contexto elétrico. Esse resultado ganha relevância ao evidenciar uma operação mais segura e confiável, promovendo, assim, a eficiência global do sistema.

Prosseguindo com a análise, destaca-se que as simulações 3, 5, 9, 11 e 13 demonstram um balanceamento altamente satisfatório, com uma diferença entre as fases em torno de 1%. Além disso, as demais simulações apresentaram condições igualmente satisfatórias para o equilíbrio entre as fases, assegurando segurança e conformidade com os parâmetros exigidos. O padrão de variação observado nessas simulações demonstra uma estratégia de balanceamento dinâmica, capaz de se adaptar a diferentes condições operacionais, otimizando ainda mais o desempenho do sistema elétrico.

### 3. CONCLUSÃO

A análise sistemática da literatura realizada neste projeto de conclusão de curso ofereceu uma visão aprofundada das diversas aplicações associadas ao

uso do Excel e VBA. A escolha desse tópico foi cuidadosamente fundamentada na facilidade de implementação, na disponibilidade de bibliotecas e exemplos práticos, bem como na promissora capacidade de expansão em futuras iterações.

Ao explorar as fontes literárias, foi possível identificar tendências, desafios e soluções relevantes para o desenvolvimento de sistemas voltados ao balanceamento de fases em residências. A consideração desses elementos enriqueceu a abordagem adotada neste trabalho, conferindo-lhe uma base sólida e informada. A decisão de se concentrar em aspectos programáticos, juntamente com a flexibilidade para futuras expansões, reflete não apenas a eficiência da abordagem escolhida, mas também a visão estratégica para evoluções e aprimoramentos contínuos.

Diante dos resultados gerados e discutidos na última abordagem, emerge um cenário de grande significância e elevada confiabilidade. Como revelado nos casos de circuitos bifásicos, com uma taxa de variação máxima de 3,94%, e nos circuitos trifásicos, com uma variação máxima de 7,20%, evidencia-se um nível notável de segurança em ambientes residenciais. Esses valores indicam uma consistência significativa nos cálculos, proporcionando um sólido respaldo para a eficácia e estabilidade dos circuitos elétricos analisados.

No entanto, é essencial observar que os resultados apresentados são baseados em testes realizados com valores e configurações genéricos, e não em projetos residenciais específicos desenvolvidos por engenheiros. Embora os resultados forneçam uma visão valiosa da eficácia das análises, a ausência de testes em projetos residenciais específicos pode limitar a generalização dessas conclusões para todas as situações. Futuras investigações e testes em cenários residenciais reais, desenvolvidos por profissionais de engenharia, podem fornecer uma validação adicional e aprimorar a aplicabilidade prática das análises realizadas até o momento.

É digno de nota o aprimoramento por meio da incorporação de novos cálculos e da inclusão de informações adicionais, como o fator de uso dos equipamentos, aspecto essencial ao considerar o balanceamento de fases em ambientes residenciais. Além disso, é possível adicionar requisitos adicionais, como o cálculo do disjuntor geral, o dimensionamento do condutor de entrada no quadro de distribuição e até mesmo a inclusão de um projeto de aterramento residencial. Essas adições enriquecem a funcionalidade do sistema, proporcionando uma abordagem mais abrangente e holística para atender às diversas demandas e garantir uma instalação elétrica residencial eficiente e segura.

Dessa forma, este trabalho não apenas contribui para o entendimento atual do tema, mas também cria uma plataforma sólida para futuras inovações, testes e desenvolvimentos na área de balanceamento de fases residenciais. A integração contínua de novos elementos e a busca constante por aprimoramentos posicionam este projeto como um marco significativo no avanço do conhecimento e práticas relacionadas à eficiência energética em ambientes residenciais.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABRACOPEL. **Incêndios por curtos-circuitos dão um salto em 2015**. Disponível em: [https://abracopel.org/blog/incendios-por-curtos-circuitos-dao-um-salto-em-2015/?doing\\_wp\\_cron=1700403190.1045439243316650390625](https://abracopel.org/blog/incendios-por-curtos-circuitos-dao-um-salto-em-2015/?doing_wp_cron=1700403190.1045439243316650390625). Acesso em: 17 dez. 2023.

ARAÚJO, Francico Jadilson Santos. **Análise das instalações elétricas do IFBA - Campus de Paulo e adequações às normas vigentes**. 2016. Disponível em: <https://portal.ifba.edu.br/paulo-afonso/cursos/engenharia-eletrica/TCC-EE/2016/tcc-Francisco-Jadilson-Santos-Araujo-2016.pdf/view>. Acesso em: 20 Set. 2023.

BUENO, G. B. S.; GARCIA, P. H. R.; HONORATO, M. S. **Balanceamento das fases em sistemas elétricos trifásicos**. Revista Eletrônica Multidisciplinar, v. 1, n. 1, p. 7-19, 2017

BORTOLINI, M. A.; SANT'ANNA, L. R.; GOMES, E. N. **Análise de desequilíbrio de tensão em instalação residencial com sistema trifásico**. Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2018.

CHEEK, T. **Excel VBA programming for dummies**. John Wiley & Sons, 2018.

CHEN, Y.; WU, D.; PAN, Y. A Novel **Educational Method for Engineering Graphics Course Using VBA Technology**. In: 2019 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), 2019, pp. 1-6. IEEE.

CRUZ, Eduardo Cesar Alves; ANICETO, Larry Aparecido. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS: fundamentos, práticas e projetos em instalações residenciais e comerciais**. 3 ed. São Paulo: Érica, 2019. 456 p.

CRUZ, Gabriela Alexandra da Silva. **Balanceamento de Fases em redes elétricas utilizando Procedimento Adaptativo de Busca Aleatório e Guloso (GRASP)**. 2019. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1912>. Acesso em: 18 Set. 2023.

DANTAS, Maria Jose P. **Suplemento do Excel desenvolvido em linguagem VBA para simulação discreta de sistema de filas M|M|1**. 2017. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2017/pdf/169412.pdf>. Acesso em: 10 Set. 2023.

HUBNER, Aline Pontes. **Gerenciamento de dados e sistemas de informação: A base do planejamento estratégico**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4240>. Acesso em: 10 Set. 2023.

LAPLACE. **Cresce o número de incêndios por sobrecarga (curto circuito) nas instalações elétricas.** Disponível em: <https://laplaceconsultoria.com.br/cresce-o-numero-de-incendios-por-sobrecarga-curto-circuito-nas-instalacoes-eletricas/>. Acesso em: 24 Set. 2023.

LINKEDIN LEARNING. **EXCEL VBA: Formação Básica.** Disponível em: <https://br.linkedin.com/learning/excel-vba-formacao-basica>. Acesso em: 18 Nov. 2023.

MENDONÇA, F. S.; SILVA, J. S. **Utilização do Microsoft Excel na Engenharia Elétrica: Um Estudo de Caso.** In: Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2018, Goiânia. Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Goiânia: COBENGE, 2018. p. 1-10.

NASCIMENTO, André Mendes. **O impacto das cargas residenciais desequilibradas em um sistema de distribuição de energia elétrica e como é realizada a medição de energia para faturamento em baixa tensão.** 2016. Disponível em: <https://mendesmind.files.wordpress.com/2016/12/artigo-o-impacto-das-cargas-residenciais-desequilibradas-mendes-andre-20161.pdf>. Acesso em: 18 Set. 2023.

SANTOS, Geisane Bárbara Inacio. **A importância do controle de serviços na gestão de uma metalmecânica utilizando planilhas eletrônicas no Excel.** 2016.

SANTOS, L. R. **Aplicação de ferramentas do Excel no gerenciamento de dados: estudo de caso em uma empresa de bebidas.** Anais do Congresso Brasileiro de Custos, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2017.

SILVA, F. A. **Análise de desequilíbrio de fases em redes elétricas trifásicas.** Revista Eletrônica de Ciência e Tecnologia, v. 6, n. 2, p. 1-9, 2019.

SILVA, J. **O uso do Microsoft Excel para gerenciamento de dados.** Revista de Tecnologia e Informática, v. 10, n. 2, p. 45-52, 2016.

SUÁREZ, L.; REYES, E. **Desenvolvimento de um modelo de simulação em VBA para a avaliação do desempenho energético em edifícios residenciais.** Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, v. 32, n. 3, p. 186-195, 2016.

WALKENBACH, John. **Excel VBA Programming for Dummies.** John Wiley & Sons, 2019.

ZANON, Matheus da Silva. **As versatilidades do Microsoft Excel e sua utilização na engenharia.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/33489>. Acesso em: 10 Set. 2023.