



Academia Militar

Programa de Tiro para o obus M114A1 155mm/23

Aspirante Oficial Aluno de Artilharia Rodrigo Calçado Figueira

Orientador José Alberto de Jesus Borges (Professor de Engenharia Mecânica)

Co Orientador Major de Artilharia Humberto Miguel Rodrigues Gouveia

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, Maio de 2018



Academia Militar

Programa de Tiro para o obus M114A1 155mm/23

Aspirante Oficial Aluno de Artilharia Rodrigo Calçado Figueira

Orientador: José Alberto de Jesus Borges (Professor de Engenharia Mecânica)

Co Orientador Major de Artilharia Humberto Miguel Rodrigues Gouveia

Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada

Lisboa, Maio de 2018

Dedicatória

À minha Família, Amigos e Camaradas, por todo o apoio ao longo deste percurso.

Agradecimentos

A realização do Trabalho de Investigação Aplicada foi o culminar de cinco anos de Academia Militar, e ao longo destes anos muitas foram as pessoas que contribuíram para o meu desenvolvimento enquanto pessoa e enquanto militar e me apoiaram ao longo de todo este processo, por isso, o seguinte texto é dedicado a todas essas pessoas.

Inicialmente, queria agradecer ao Sr. Professor Doutor José Borges, que desde que assumiu as funções de meu orientador, demonstrou logo desde o início a sua disponibilidade e interesse em desenvolver este projeto. Desde o início indicou-me a direção correta e até ao último momento preocupou-se em guiar-me da forma mais acertada.

Agradecer ao Major de Artilharia Humberto Gouveia, que na qualidade meu co orientador, foi desde sempre muito interessado em ajudar em qualquer problema que tivesse ao longo da realização do trabalho e pela sua total disponibilidade e rapidez de resposta.

Agradecer ao Curso Tenente-General Bernardim Freire de Andrade, que ao longo destes cinco anos foi a minha segunda família para os bons e maus momentos.

O meu agradecimento mais especial vai para a minha família, que ao longo destes anos me ajudou de todas as formas possíveis e imagináveis. À minha avó, Anabela Calçado que desde o início se preocupou sempre comigo e fez tudo a seu alcance para que estes anos fossem mais fáceis de passar. À minha mãe, Isabel Figueira que sempre se preocupou com o meu bem-estar nos meus piores momentos e sempre fez tudo ao seu alcance para eu conseguir ultrapassar cada desafio, pelo seu carinho e apoio constantes. Ao meu pai, João Figueira que desde o primeiro dia acreditou que eu era capaz de alcançar todos os meus objetivos e foi a pessoa que em qualquer altura se demonstrou totalmente disponível para me ajudar, sempre com uma palavra assertiva nos momentos mais difíceis. À minha família nunca vai ser possível agradecer o suficiente.

Aos meus melhores amigos que ao longo dos anos sempre me apoiaram em todas as etapas e que sempre me proporcionaram um lugar especial nas suas vidas, o meu grande obrigado.

Agradecer à Academia Militar enquanto instituição por me ter formado como Homem e como Militar do Exército Português.

Um agradecimento a todos os que não foram mencionados, mas que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

A todos o meu grande obrigado.

Resumo

O presente Trabalho de Investigação Aplicada está subordinado ao tema “Programa de Tiro para o Obus M114A1 155mm /23”. O objetivo geral do trabalho é desenvolver uma calculadora de tiro que venha facilitar o trabalho do calculador dentro de um PCT, visto que a sua principal função é tornar todo o processo de tiro mais eficiente, ao obter os Elementos de Tiro e conseguirem empenhar-se sobre os objetivos o mais rapidamente possível. É também um objetivo rever e criar conhecimento ao nível do desenvolvimento deste tipo de *software* para que num futuro seja possível melhorar e adaptar as suas funcionalidades para o emprego operacional.

Relativamente ao método utilizado, optou-se pelo processo de *design* de Engenharia, uma vez que este remete para o desenvolvimento de produtos baseados em requisitos, utilizando para o efeito questionários com os utilizadores finais, ou seja, em que esses mesmos surgem da necessidade de alguém querer que um problema seja resolvido de forma eficiente e célere.

O trabalho encontra-se dividido em sete capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema. O segundo capítulo refere-se ao Estado da Arte e é uma revisão da literatura sobre os temas relacionados com o desenvolvimento da calculadora. O terceiro capítulo refere-se ao método utilizado para a realização do trabalho. O quarto capítulo faz referência ao processo de recolha de dados e recolha de requisitos. O quinto capítulo demonstra sumariamente o trabalho computacional realizado, quer em Excel quer em código VBA. O sexto capítulo reflete os resultados, acabando por ser uma comparação entre a diferença do cálculo manual e esse mesmo cálculo na calculadora. As conclusões e recomendações finalizam assim com o sétimo capítulo.

Conclui-se que os requisitos mais importantes para o suporte de uma calculadora de tiro são a rapidez de cálculo e dispôr de todas as funcionalidades de cálculo de tiro, sendo que existem diversas formas de chegar a estes requisitos, seja ao nível do método utilizado, que no presente caso foi recorrendo às TTN, seja ao nível de onde é desenvolvido o programa e qual a linguagem utilizada para programar.

Palavras-chave: Calculadora de Tiro, Elementos de Tiro, Requisitos

Abstract

The Applied Research work is subordinated to the theme “Shooting Program for Obus M114A1 155mm /23”. The overall goal of the paper is to develop a PCT a shooting calculator that will facilitate the work of the calculator within a PCT, since the main task of having such a tool is to make whole shooting process more efficient by getting the Shooting Elements as quickly as possible and being able to commit to the objectives as quickly as possible. Also review and create knowledge in the development of this type of software so that in the future it is possible to improve and adapt its functionalities for operational employments.

As for the method used, it was the Engineering design process, this method was used because it refers to the development of products based on requirements, using questionnaires with end users, in which these arise from the need for someone to want a problem to be solved in a effective and faster way.

The work is divided into seven chapters. The first chapter introduces the theme. The second chapter refers to the State of the Art and is a review of the literature on the themes related to the development of the calculator. The third chapter refers to the method used for the development of the work. The fourth chapter refers to how the data collection process was carried out. The fifth chapter briefly demonstrates the computational work performed, both in Excel and in VBA code. The sixth chapter is the demonstration of the results, which turns out to be a comparison between the manual calculation and the difference that is to make that same calculation in the calculator. The conclusions and recommendations thus end with the seventh chapter.

It is concluded that the most important requirements of a shooting calculator are the speed of calculation and the availability of all shooting features and that there are several ways to achieve these requirements, either at the level of the method used, that in the present case was based on the TTNs, or at the level where the program is developed and the language used to program.

Keywords: Shooting Calculator, Shooting Elements, Requirements

Índice Geral

Dedicatória	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract	vi
Índice Geral	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xii
Capítulo 1 Introdução	1
1.1. Enquadramento da investigação	1
1.2. Importância da Investigação e Justificação do Tema	2
1.3. Objetivo Geral e Objetivos Específicos do Estudo	3
1.4. Metodologia de Investigação	3
1.5. Estrutura do Trabalho.....	4
Capítulo 2 Enquadramento Teórico	5
2.1. O Sistema de Artilharia de Campanha.....	5
2.1.1 Constituição do Sistema de Artilharia de Campanha	5
2.2. O Tiro de Artilharia	7
2.2.1. O Problema do Tiro.....	9
2.2.2. A Equipa de Artilharia	9
2.2.3. Munição.....	13
2.2.4. Elementos de Tiro	14
2.2.5. Métodos de obtenção dos Elementos de tiro	18

2.2.6. <i>Calculadoras de Tiro em utilização no Exército Português</i>	30
Capítulo 3 Método e Recolha de dados	34
3.1. <i>Tipo de Estudo</i>	34
3.2. <i>Modelo de Análise</i>	35
Capítulo 4 Recolha de Requisitos	39
4.1. <i>Natureza dos Dados</i>	39
4.2. <i>Origem dos Dados</i>	39
4.3. <i>Análise Documental</i>	40
4.4. <i>Inquérito por Questionário</i>	40
4.5. <i>Recolha dos Requisitos da Calculadora de Tiro</i>	40
Capítulo 5 Calculadora de Tiro	45
5.1. <i>Tabelas da TTN</i>	46
5.2. <i>Telas da Calculadora de Tiro e Código em VBA</i>	47
5.2.1 <i>Meteograma</i>	47
5.2.2 <i>Tiro Iluminante</i>	47
5.2.3 <i>Tiro Fumos</i>	48
5.2.4 <i>Tiro de Área com Granada HE</i>	49
5.2.5 <i>Preparações Teóricas</i>	49
5.2.6 <i>ABCA</i>	51
5.2.7 <i>PMP-PMT</i>	51
5.2.8 <i>Correções de Posição/Especiais</i>	51
Capítulo 6 Casos de Estudo	53
6.1. <i>Demonstração de funcionamento</i>	53
Capítulo 7 Conclusões e recomendações	58
Bibliografia	60
Apêndices	I
Anexos	XXIII

Índice de Figuras

Figura 1 – Sistema de Artilharia de Campanha	6
Figura 2 – Artillery Call for Fire Process	8
Figura 3 – Problema do Tiro.....	9
Figura 4 – Obus M114A1 155mm/23.....	12
Figura 5 – Munição 155mm/23	13
Figura 6 – Espoleta de duplo efeito M564	15
Figura 7 – Exemplo da direção para as diferentes armas	16
Figura 8 – Correção Complementar do Ângulo de Sítio	17
Figura 9 – Trajetória para um objetivo de cota diferente da boca de fogo.....	18
Figura 10 – Tábua de Tiro Numérica	19
Figura 11 – Estrutura do Modelo de Software	28
Figura 12 – Estrutura do método de procura iterativa	29
Figura 13 – Engineering Design Process.....	36
Figura 14 – Funções Desempenhadas	41
Figura 15 – Tipo de Material.....	41
Figura 16 – Tempo Médio de obtenção de Elementos de Tiro	42
Figura 17 – Funcionalidades/Requisitos mais importantes	43
Figura 18 – Tabela F da Tábua de Tiro Numérica	46
Figura 19 – Tabela F em Excel.....	46
Figura 20 – Tabelas auxiliares de Tiro de Fumos	49
Figura 21: Missão de Tiro Iluminante	53
Figura 22: Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos	55
Figura 23: Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos	55
Figura 21: Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos	56
Figura 24: Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos	56
Figura 25 – Tela Inicial	IV
Figura 26 – Tiro de Área para Granada HE.....	IV
Figura 27 – Fumo Imediato	V
Figura 28 – Fumos.....	V
Figura 29 – Iluminante	VI

Figura 30 – Preparação Experimental ABCA	VI
Figura 31 – Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos	VII
Figura 32 – Correções de Posição	VIII
Figura 33 – Correções Especiais	VIII
Figura 34 – Preparação Teórica Concorrente	X
Figura 35 – Preparação Teórica Subsequente.....	XII
Figura 36 – Meteograma.....	XII
Figura 37 – Tabela F da Tábua de Tiro Numérica	XXIV

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Notações Matemáticas	28
---------------------------------------	----

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

AC	Artilharia de Campanha
APA	American Psychological Association
BCS	Battery Computer System
CCAS	Correção Complementar do Ângulo de Sítio
CINAMIL	Centro de investigação, desenvolvimento e inovação da Academia Militar
dC	Diferença de Cotas
dE	Diferença de Estes
dN	Diferença de Nortes
DV	Direção de Vigilância
EME	Estado-Maior do Exército
GAC	Grupo de Artilharia de Campanha
GB	Green Bag
GEp	Graduação de Espoleta
LCU	Lightweight Computer Unit
LG	Light Gun
LT	Linha de Tiro
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NEP	Norma de Execução Permanente
OAv	Observador Avançado
PM	Ponto Médio
PMP-PMT	Ponto médio de percussão – Ponto médio de tempos
SACCAC	Sistema Automático de Comando e Controlo da Artilharia de Campanha
TCIM	External Tactical Communications Module
TIA	Trabalho de Investigação Aplicada
TPOA	Tirocínio para Oficial de Artilharia
TTG	Tábua de Tiro Gráfica
TTN	Tábua de Tiro Numérica

VBA Visual Basic for Applications
WB White Bag

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento da investigação

No âmbito do mestrado em Ciências Militares ministrado pela Academia Militar e, mais concretamente, no plano curricular do Tirocínio para Oficial de Artilharia (TPOA), surge o presente trabalho de investigação aplicada (TIA), cujo tema subordinado se denomina “Programa de Tiro para o obus M114A1 155mm/23”. Este trabalho culmina assim uma das etapas do TPOA e também um percurso de cinco anos de formação na Academia Militar.

O trabalho enquadra-se com o estudo que tem vindo a ser desenvolvido do projeto FIREND que teve início em 2005, com o intuito de obter conhecimento prévio da construção de tabelas de tiro, permitindo a criação das mesmas para este projétil e contribuindo assim com o Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL).

Este capítulo introduz assim o enquadramento da temática escolhida, para uma melhor perceção do tema.

Um Obus é uma arma que é usada para disparar projéteis de Artilharia, com uma trajetória controlada e a longas distâncias. O propósito pode variar, mas os seus objetivos mais comuns são o de destruir, suprimir, mascarar ou iluminar um ou mais objetivos e devido ao seu grande alcance estes são usados na sua generalidade para apoiar as forças de manobra no terreno. Para isto acontecer, é necessário que o Artilheiro obtenha Elementos de Tiro de forma a bater os objetivos que pretende. No entanto não é uma tarefa de fácil execução pois pressupõe cálculo e consulta de tabelas, processo no qual até poderá originar erro humano ou imprecisões no cálculo dos Elementos de Tiro e para facilitar esse processo existem as calculadoras de tiro.

Idealmente, uma tabela de tiro permite ao artilheiro resolver o seu problema de tiro e acertar no objetivo nas primeiras munições disparadas. No entanto, o seu objetivo final é o de dar ao artilheiro as ferramentas necessárias para atingir o objetivo com precisão e eficácia. (Dickinson, 1967).

Para chegar aos Elementos de Tiro (que se caracterizam por obter uma elevação e uma direção) utilizando tabelas de tiro, os dados nelas contidos são interpolados e obtém-se uma solução para condições padrão (sem vento, sem a rotação da terra, nível do mar, assumindo a rigidez da trajetória...), aplicando-se depois correções para estes fatores à solução inicial. No entanto, isto são processos que, dependendo da complexidade do tiro, podem demorar algum tempo, o que em combate não é aceitável, visto que a rapidez é fundamental.

Com o presente trabalho pretende-se assim dar a conhecer o que é o tiro, o processo que se pretende, bem como os processos de construção das tabelas de tiro. Também analisar as atuais calculadoras de tiro, de forma a poder produzir uma ferramenta que seja intuitiva e rápida de utilizar, podendo realizar os cálculos do tiro de forma autónoma.

1.2. Importância da Investigação e Justificação do Tema

“O cerne do processo de *product design* de Engenharia está em criar uma solução satisfatória para uma necessidade. A necessidade pode ser melhorar uma situação existente ou eliminar um problema. Em qualquer caso, a engenharia faz parte de tudo isso – usando conhecimento e *know-how* para alcançar o resultado desejado. (Harrisberger, 1982).

A justificação do presente TIA é importante uma vez que o atual Sistema Automático de Comando e Controlo da Artilharia de Campanha (SACC) do Exército Português não dispõe desta capacidade para o obus M114A1. Para além disso, visa obter conhecimento relativamente à produção das tabelas de tiro, para que posteriormente estas sejam desenvolvidas para o novo projétil FIREND, a ser desenvolvido pelo CINAMIL.

Um projeto de engenharia, mais especificamente aplicado à Artilharia, exige a resolução de um problema, neste caso criar uma calculadora de tiro autónoma com capacidade de simulação de trajetórias, o que não é um teste de hipóteses.

Atualmente existem alguns computadores de tiro que permitem o cálculo dos elementos de tiro, no entanto considera-se importante a ligação entre o cálculo destes elementos e a posterior simulação da trajetória, quer seja em contexto operacional quer seja em contexto didático. Em termos pedagógicos ao acrescentar esta ferramenta às aulas leccionadas no mestrado em Artilharia, consegue-se agregar duas ferramentas que são úteis não só para o uso do instrutor, que pode utilizar a calculadora para obter soluções mais rapidamente, bem como para os alunos poderem observar em contexto de sala de aula no

que se traduz as soluções de tiro, ou seja poderem observar a sua trajetória e o seu ponto de impacto.

Como é descrito no capítulo I – Artilharia de Campanha da Academia Militar: “ Os mais modernos meios táticos de processamento automático de dados compreendem computadores táticos de tiro. Estes computadores aumentam a eficácia e a prontidão de resposta da Artilharia devido aos seguintes fatores: maior precisão e rapidez dos cálculos; melhor e mais rápida análise das notícias sobre os objetivos; maior eficiência na determinação da capacidade das unidades para a execução das missões de tiro” (Academia Militar, Cap. I, 2016). Percebe-se a importância de automatizar os cálculos que são efetuados no processo do tiro, por forma a corrigir erros de cálculo humanos e a aumentar a rapidez de cálculo no decorrer das missões de tiro.

1.3. Objetivo Geral e Objetivos Específicos do Estudo

O TIA tem assim como objetivo geral, a construção de uma calculadora de tiro para ser usada em contexto operacional e contexto didático, para permitir o cálculo do tiro de forma autónoma e rápida e fazer a observação da trajetória esperada bem como o seu ponto de impacto no terreno.

Os objetivos específicos vão ao encontro do objetivo geral, sendo os mesmos definidos da forma seguinte: efetuar uma revisão bibliográfica dos processos para a elaboração de tabelas de tiro para projéteis de Artilharia e efetuar uma análise dos mesmos; fazer uma análise aos atuais computadores/calculadoras de tiro existentes de modo a compreender as suas capacidades e limitações e de que forma atingem as soluções de tiro; contribuir para o projeto FIREND, que está a decorrer no CINAMIL.

1.4. Metodologia de Investigação

Utilizou-se o processo de *product design* de Engenharia como método, pretendendo-se estudar algo para chegar a uma solução para um dado problema. No presente caso a solução envolve a criação de um produto (calculadora de tiro) que irá responder segundo diferentes requisitos e conseguir satisfazer uma certa tarefa, neste caso encontrar uma solução de tiro válida.

Este processo é diferente do método científico que envolve fazer argumentos, observações e recolha de dados através de inquéritos ou entrevistas e análise das mesmas. Neste processo, contudo, o que se pretende é projetar, construir e testar algo.

O processo segue os seguintes passos: Definição do problema; Pesquisa de informação existente; Levantamento dos requisitos; Escolher a melhor solução; Trabalho de desenvolvimento; Construção do protótipo; Teste do protótipo e melhoramentos.

O processo é interativo, o que significa que são repetidos os passos conforme as necessidades se forem ajustando à problemática (Khandani, 2005).

Para a redação deste trabalho foi seguido o Anexo F da Norma de Execução Permanente (NEP) nº 520 de 29 de abril de 2013, da Academia Militar, sendo que, nos aspetos em que esta apresenta omissões, foi seguido a norma da *American Psychological Association* (APA) na 6ª edição.

Assim sendo, as técnicas, procedimentos e meios de aquisição de informação provêm da análise documental de artigos, livros, teses de doutoramento, dissertações de mestrado e documentos do Exército em geral.

1.5. Estrutura do Trabalho

O TIA é constituído por cinco capítulos. O presente capítulo corresponde ao da Introdução contém o enquadramento da investigação e a sua importância, os objetivos da investigação bem como a metodologia utilizada na realização do mesmo. O capítulo dois, Estado da arte, visa a revisão da literatura do que já existe sobre a temática em questão desde a construção das tábuas de tiro numéricas TTN, às calculadoras de tiro já existentes. No capítulo três, Definição dos requisitos da calculadora de tiro, pretende-se estabelecer quais os aspetos que esta deve ser capaz de realizar nas suas funcionalidades. O capítulo quatro, Comparação dos requisitos com a calculadora de tiro, é uma apresentação do que foi atingido pela calculadora com os requisitos que tinham sido definidos previamente. Por fim, surge o capítulo cinco, Conclusões e recomendações, em que são representadas as mesmas e também propostas para investigações futuras que possam dar continuidade ao trabalho feito.

Por fim, é apresentada a bibliografia para a elaboração do trabalho, apêndices e anexos respetivos.

Capítulo 2

Enquadramento Teórico

2.1. O Sistema de Artilharia de Campanha

O Sistema de AC¹ faz parte do sistema de apoio de fogos. Tal como os fogos aéreos e os fogos navais, os fogos terrestres de Artilharia de Campanha fornecem ao Comandante um acréscimo de potencial de combate indispensável para conduzir as operações militares.

O Sistema de AC, além de fornecer o apoio próximo aos elementos de manobra e executar os fogos em profundidade² e as ações de contrabateria³, também faz a supressão dos meios de defesa inimiga quando estes prejudicam o apoio de fogos global às forças amigas (Academia Militar, Cap. I, 2016). O Comandante necessita do apoio constante da Artilharia e da sua prontidão e oportunidade de resposta, é necessário que os Sistemas de Armas de Artilharia sejam rápidos relativamente à sua mobilidade, acompanhando as unidades de manobra e garantindo a sua sobrevivência. Acrescentando à mobilidade, os Sistemas de Armas dispõem também de grandes alcances, o que facilita ainda mais o acompanhamento das unidades de manobra.

2.1.1 Constituição do Sistema de Artilharia de Campanha

O Sistema de AC contribui com os seus próprios meios para o Sistema de Apoio de Fogos global. Normalmente inclui três subsistemas (ver também Figura 1):

Aquisição de Objetivos: Estes são os “olhos e ouvidos” do sistema de apoio de fogos e compreende a deteção, identificação e localização dos objetivos. Permitem a recolha de notícias sobre os objetivos, com rapidez e precisão, garantindo oportuna deteção, identificação e localização de modo a que o ataque seja executado com eficácia. A aquisição visa assim produzir objetivos em proveito dos restantes componentes do

¹ “O Sistema de Artilharia de Campanha é o conjunto dos meios de Artilharia que, atuando de forma integrada e complementar, permitem bater eficazmente e em tempo oportuno os objetivos que se revelem em condições de interferir na execução do plano de manobra da força apoiada.” (Academia Militar, Cap. I, 2016)

² “Os fogos em profundidade têm por finalidade bater objetivos importantes (reservas, órgãos de transmissões e instalações logísticas) e interditar áreas fundamentais, isolando as forças inimigas mais avançadas” (EME, 1994).

³ “Ações de contrabateria que visam meios de apoio de fogos indiretos inimigos, obtendo a superioridade no apoio de fogos indispensável à liberdade de ação da manobra” (EME, 1994).

Sistema. São exemplos de meios utilizados: Observadores Avançados (OAv), patrulhas de reconhecimento, meios aéreos, entre outros.



Figura 1 – Sistema de Artilharia de Campanha
(Academia Militar, Cap. I, 2016)

Armas e munições: Constituem os “músculos” e meios de lançamento. Destinam-se a bater os objetivos criados pela aquisição de objetivos. Estas dispõem de mobilidade, campos de tiro, alcance e cadência de tiro adequados às suas missões de apoio (Academia Militar, Cap. I, 2016). Os meios fundamentais são: Morteiros, AC e Artilharia Naval.

Comando, Controle e Coordenação: Constitui o “cérebro” que permite dirigir as ações táticas e técnicas, necessárias para bater rápida e eficazmente os objetivos. O elevado número dos objetivos associados às variedades de armas e munições disponíveis, impõe a necessidade de um cuidadoso planeamento e de oportuna coordenação de apoio de fogos.

Os materiais podem ser classificados quanto ao seu tipo: Bocas de fogo⁴, Foguetes e Mísseis; e quanto ao sistema de locomoção: Rebocados e Auto propulsados sendo os

⁴ “Estas caracterizam-se pela flexibilidade de emprego, precisão o tiro, aptidão que têm para manobrar os fogos, pela alta cadência de tiro e pela possibilidade de executarem ações em massa, de posições, por vezes, muito afastadas umas das outras, sob quaisquer condições atmosféricas e de terreno” (Academia Militar, Cap. I, 2016).

últimos divididos em Lagartas e Rodas. Dando enfoque às Bocas de fogo, que corresponde à classificação do material do trabalho a ser desenvolvido, estas podem ser divididas quanto ao tipo em: Peças⁵ e Obuses⁶.

A AC deve possuir os meios necessários à execução do tiro para conseguir os efeitos desejados no objetivo. Consideram-se primordiais os meios de: Aquisição de objetivos; Direção e coordenação de tiro; Processamento automático de dados; Topografia; Meteorologia; Transmissões; Apoio logístico e Locomoção.

O Processamento automático de dados é o mais relevante para a o propósito da elaboração deste trabalho, uma vez que é descrito como: “Os mais modernos meios de processamento automático de dados compreendem computadores táticos de tiro. Estes computadores aumentam a eficácia e a prontidão de resposta da Artilharia devido à maior precisão e rapidez dos cálculos, à melhor e mais rápida análise das notícias sobre os objetivos e à maior eficiência na determinação da capacidade das unidades para a execução das missões de tiro” (Academia Militar, Cap. I, 2016).

2.2. O Tiro de Artilharia

A flexibilidade e a disponibilidade do emprego dos fogos são duas das mais importantes características do apoio de fogos. Neste sentido, as diversas técnicas de aplicação tática dos fogos de AC têm em vista a produção de efeitos no objetivo. A capacidade de efetuar todos os tipos de fogos requer o domínio das técnicas de processamento dos Elementos de Tiro e dos procedimentos de cálculo manual do Posto Central de Tiro (PCT), bem como o conhecimento das características dos materiais e das munições. (Exército Português, 2012).

Como se pode observar, um fator determinante é saber dominar os procedimentos de cálculo manual do PCT. No entanto cada vez mais se exige rapidez de resposta no que respeita à execução do tiro, surgindo a necessidade do cálculo ser executado o mais rapidamente possível. Essa solução surge através das calculadoras de tiro para ser possível empenhar contra o adversário, de forma a garantir o efeito surpresa, e a responder o mais rapidamente a todas as adversidades que surjam no moderno campo de batalha. “O Tiro de AC deve responder tecnicamente às exigências do apoio de fogos no moderno Espaço de

⁵ As peças têm tubos superiores a 30 calibres, utilizam, normalmente, ângulos de tiro pequenos e têm grandes velocidades iniciais.

⁶ Os obuses têm tubos entre 20 e 30 calibres, podem utilizar ângulos de tiro relativamente grandes e têm velocidades iniciais médias.

Batalha, de forma a garantir a execução de fogos de massa, quer estes tenham sido planeados, quer tenham sido desencadeados em ações imediatas, garantido a prontidão de resposta e a sobrevivência das Unidades de Tiro e possibilitar a sua mobilidade e flexibilidade de emprego.” (Exército Português, 2012).

Tal como se apresenta neste manual, a prontidão de resposta e a sobrevivência são fundamentais, e para isso é preciso velocidade na execução do tiro, isto porque cada vez mais o campo de batalha se moderniza, sendo necessário empenharmo-nos o mais rapidamente possível para nos deslocarmos para outra posição que garanta sobrevivência da nossa unidade.

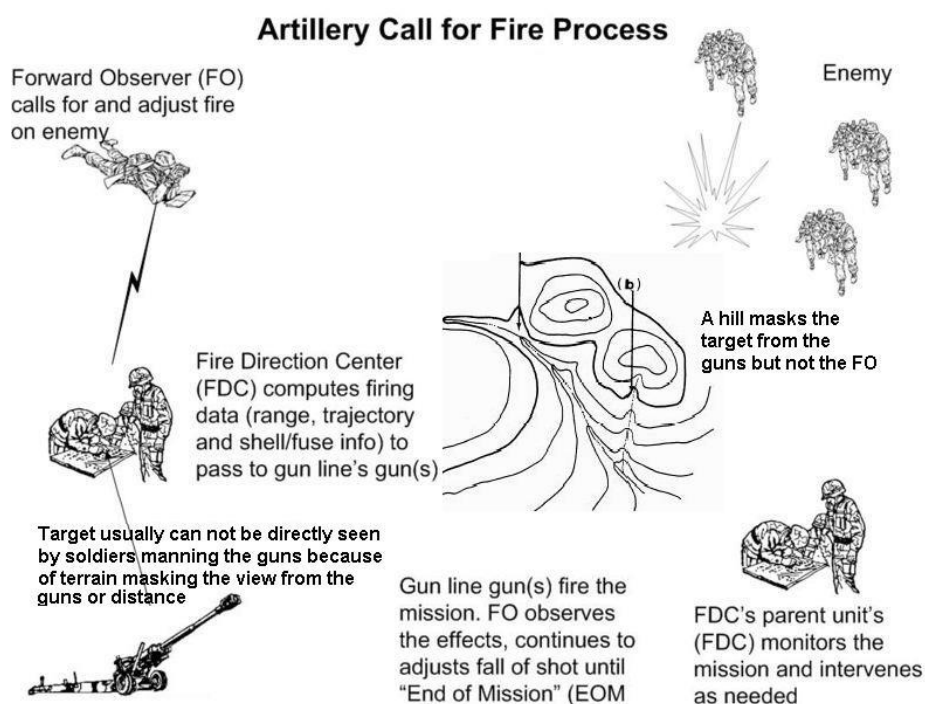


Figura 2 – Artillery Call for Fire Process
(FM-6-40, 1996)

A Figura 2 representa o processo que decorre desde o pedido de tiro até ao executar do tiro por parte das Unidades de Tiro. Numa primeira fase o Observador Avançado faz o pedido de tiro, na rede de tiro, ao PCT e este determina os elementos topográficos e elementos de tiro (em que a explicação da obtenção dos mesmos será explicada posteriormente) que depois envia para as unidades de tiro.

Depois de executado o tiro, o observador avançado observa os efeitos no objetivo e continua a ajustar o tiro até considerar que foi cumprido o objetivo e enviar “fim de missão” para o PCT.

2.2.1. O Problema do Tiro

As unidades de AC batem objetivos a longas distâncias através de tiro indireto, a partir de posições desenfiadas. Isto implica que não exista intervisibilidade entre as unidades de tiro e o objetivo a ser batido, o que dá origem ao problema do tiro podendo este ser definido como “a determinação dos Elementos de Tiro e escolher a combinação granada-espoleta mais adequada, para que o efeito de fogos se produza de acordo com os efeitos desejados.” (Exército Português, 2012).

Para isto é necessário conhecer rigorosamente a localização das nossas Unidades de Tiro e do(s) objetivo(s) que pretendemos bater, a determinação dos elementos topográficos (Rumo, Distância e diferença de cotas), a conversão dos elementos topográficos em Elementos de tiro (Direção, Elevação, Graduação de Espoleta e Carga) e, por fim, transmitir estes Elementos às bocas de fogo para que seja efetuado o tiro.

A solução do problema visa obter um rebentamento no objetivo ou à vertical do mesmo, a uma altura pretendida, de forma a maximizar os efeitos sobre este. (Exército Português, 2012)

Podemos assim a nível técnico apresentar o problema do tiro da seguinte forma:

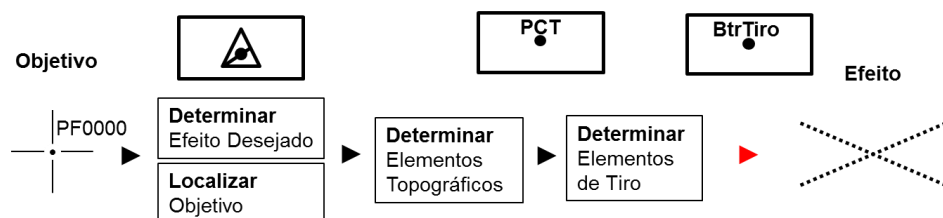


Figura 3 – Problema do Tiro

Fonte: Criado pelo Autor

Como indicado na figura 3, na solução do problema do tiro intervêm todos os componentes do sistema de AC, sendo o PCT o responsável pela determinação dos elementos topográficos e elementos de tiro.

2.2.2. A Equipa de Artilharia

O problema do tiro de AC é resolvido através da equipa de AC. Esta equipa é constituída pelo OAv, pelo PCT e pelas Bocas de Fogo, ligados por um sistema de

Comunicações adequado. Isto exige desta equipa que a operação seja efetuada com rapidez e continuidade, de modo a reduzir o tempo de execução das Missões de tiro (Academia Militar, Cap. VII, 2016).

2.2.2.1 Observador Avançado

Os OAv são os “Olhos” do sistema de AC. Para bater um objetivo em tiro indireto, o OAv faz um pedido de tiro, regula o tiro sobre o objetivo sempre que possível e controla os tiros a seu pedido ou outros que sejam executados e que este consiga observar na sua Zona de Ação (Academia Militar, Cap. VII, 2016).

2.2.2.2 Posto Central de Tiro

O PCT representa o órgão responsável por executar a Direção Técnica do Tiro. Constitui também a parte fundamental e de maior relevância para este trabalho, que é a componente de cálculo do tiro. Este é constituído por cinco elementos: O chefe de PCT, Calculador, Operador Planimétrico, Operador de Sítios e o Radio Telefonista (EME, 1988). O PCT tem as seguintes competências (Exército Português, 2012):

1. Receber pedidos de tiro dos OAv.
2. Implantar os objetivos nas Pranchetas Topográficas.
3. Determinar os Elementos de Tiro.
4. Transmitir às Secções/Pelotões/Baterias as Missões de Tiro e os Elementos de tiro.

Sendo que o ponto 3. é o de maior relevância para a calculadora de tiro. Também segundo para se obter uma melhor capacidade de resposta deve-se: Calcular os Elementos de Tiro iniciais, pelo método mais rápido e efetuar o processamento automático de dados, se disponível, que são os dois pontos que se visam alcançar com a criação da calculadora (Exército Português, 2012).

Atualmente num PCT, que se denomina por Manual, cujos cálculos são efetuados sem recorrer a equipamentos facilitadores para tal, é da responsabilidade do chefe de PCT garantir a determinação precisa e oportuna dos elementos de tiro, dirigir funções aos elementos constituintes do PCT, de maneira a facilitar o funcionamento permanente do

mesmo, por turnos, garantir que as tarefas de manutenção das viaturas, rádios, geradores e demais equipamentos do PCT, são realizadas antes, durante e após o serviço (EME, 1988). O chefe de PCT assegura o preenchimento completo e preciso dos registos de PCT e garante a correta compreensão e difusão dos elementos de tiro preparados (Ferreira, 2008).

Quanto ao calculador, este recebe dos restantes elementos do PCT os dados necessários para elaborar os comandos de tiro, regista o pedido de tiro, a ordem de tiro, as correções a utilizar e outros valores indicados pelo chefe de PCT mantendo sempre atualizados todos os registos (EME, 1988).

O processamento de uma missão de tiro através do cálculo manual dos elementos de tiro inicia-se com o pedido de tiro, que é feito pelo OAv para o rádio que se encontrar no PCT. A partir do momento em que chega o pedido de tiro, o chefe de PCT difunde a sua ordem de tiro, e logo de seguida o operador de Sítios determina o sítio, se assim se justificar, o operador de prancheta determina os Elementos Topográficos e por fim o calculador determina os Elementos de Tiro a serem enviados às secções de bocas de fogo.

Já no que diz respeito ao PCT automático, não está prevista nenhuma organização. No entanto, foi elaborada uma proposta pelo GAC da Brigada de Intervenção (Ferreira, 2008).

Nesta proposta o número de efetivo é reduzido ao chefe de PCT, calculador, registador e condutor/operador rádio. Segundo esta proposta, o chefe de PCT opera o *Battery Computer System (BCS)*, o calculador opera o Computador de Controlo de Tiro *Mk3 GUNZEN*, de forma a conferir os elementos de tiro obtidos no BCS e, ao mesmo tempo, garantir o correto preenchimento dos registos de tiro (Ferreira, 2008).

2.2.2.3 Bocas de Fogo

As bocas de fogo são os “Músculos” do Sistema de AC, sendo agrupadas normalmente em seis secções, constituindo deste modo uma Bateria de Bocas de Fogo (Btrbf). A sua missão é a execução de fogos de acordo com os Comandos de Tiro transmitidos pelo PCT (Academia Militar, Cap. VII, 2016).



Figura 4 – Obus M114A1 155mm/23

Fonte: (EME,1994)

O Obus M114A1 155mm/23 apresentado na Figura 4, é o Obus para o qual foi desenvolvido o programa de cálculo de tiro como foi referido anteriormente. Este obus apresenta como características as seguintes: Peso de 6 toneladas; Alcance máximo de 14600 metros; Elevação Mínima de -89 metros; Elevação máxima de 1156 metros; Quanto ao tipo de flecha é de biflecha; Cadência máxima de 3 tiros por minuto (EME,1994).

2.2.3. Munição

“Uma munição completa de AC contém todos os componentes necessários para fazê-la sair do tubo e rebentar no local e momento desejado” (EME, 1988).



Figura 5 – Munição 155mm/23

Fonte: (EME,1988)

As munições de Artilharia podem ser de Combate (Antipessoal, Explosiva, Perfurante, Incendiárias, Iluminantes, Químicas entre outras), Exercício (utilizadas para treino de tiro com carga inerte), Salva (utilizada para simulação do tiro) e Simuladas (apenas para exibição). A munição de Artilharia compreende vários tipos para um manuseamento e carregamento fáceis. No caso da munição do Obus 155 esta é de carregamento separado, ou seja, os componentes principais, projétil, carga propulsora e escorva, são diferenciados e são carregados na arma separadamente. Este tipo de projétil é distribuído geralmente sem espoleta e com um olhal enroscado no local da espoleta, sendo as mesmas montadas no projétil aquando do tiro (EME, 1988).

2.2.4. Elementos de Tiro

Como já foi anteriormente descrito, após a determinação dos elementos topográficos (Rumo, Distância e diferença de cotas), efetua-se a conversão dos elementos topográficos em Elementos de tiro (Direção, Elevação, Graduação de Espoleta e Carga) normalmente determinados pelo PCT, elementos estes que vão corresponder aos valores que serão introduzidos na luneta das bocas de fogo e na munição.

São estes Elementos de Tiro que geram a solução do tiro e que permitem que, com eficácia, consigamos bater um objetivo com precisão e com os efeitos desejados. Por isso a determinação dos mesmos é como o culminar de todo o processo do tiro, até ao momento em que nos empenhamos sobre o objetivo.

2.2.4.1 Carga

A carga⁷ é a fonte de energia capaz de conferir movimento linear e rotação⁸ ao projétil para a frente e que gera uma velocidade inicial ao mesmo. Esta energia é produzida pelos gases resultantes da queima da pólvora. Consiste na quantidade de pólvora a utilizar nas munições, podendo ser alterada consoante a quantidade de pólvora colocada (Exército Português, 2012).

O propulsor mais usado nos tubos de Artilharia é a pólvora nitrocelulósica de base simples (Academia Militar, Cap. V, 2016). Depois de escolhida a carga pelo Chefe de PCT os operadores das bocas de fogo vão preparar a munição e a carga escolhida para serem utilizados na missão de tiro correspondente. Sempre que exista uma necessidade de alteração da carga esta é novamente anunciada às secções de bocas de fogo.

No caso do material deste trabalho o M114A1 existem dois tipos de cargas: cargas de saco verde – *Green Bag* (GB) e saco branco – *White Bag* (WB).

A primeira parte da TTN contém os valores e as correções aplicáveis aos projéteis *standard*⁹.

⁷ Obus M114A1 – Cargas 1GB, 2GB, 3GB, 4GB, 5GB, 3WB, 4WB, 5WB, 6WB, 7WB.

⁸ A rotação resulta do avanço da munição na alma do tubo por travamento neste da cinta de travamento do projétil.

⁹ Projéteis: HE, HC e WP.

2.2.4.2 Graduação de Espoleta

As espoletas são componentes que vão provocar o acionamento do projétil na área do objetivo, podendo ser classificadas de acordo com a sua posição no projétil ou com o seu método de funcionamento (Academia Militar, Cap. V, 2016). Quanto à posição do projétil podem ser classificadas como:

1. Fundo (BD - *Base Detonating*)
2. Ogiva (PD – *Point Detonation*)

Quanto ao método de funcionamento são classificadas como:

1. Percussão (P)
2. Tempos (T)
3. Aproximação (VT)

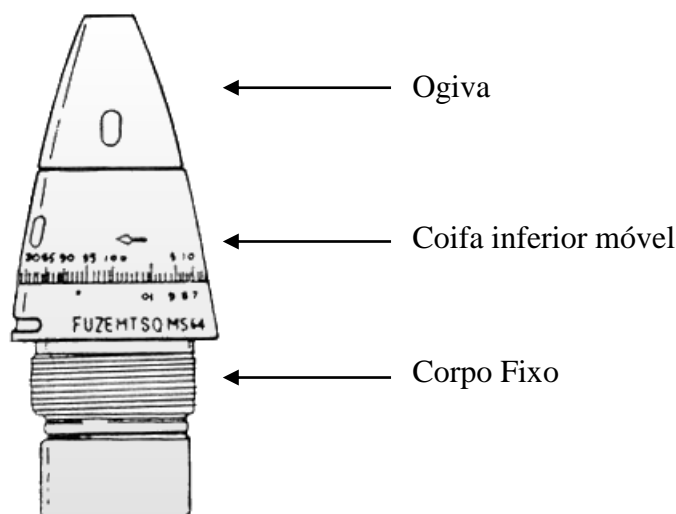


Figura 6 – Espoleta de duplo efeito M564
(Academia Militar, Cap. V, 2016)

Na Figura 4 encontra-se uma espoleta de duplo efeito, que funciona tanto em tempos como de forma instantânea. As espoletas de tempos incorporam um mecanismo de relógio que vai permitir, em tempo pré-determinado, o acionamento de um percutor que faz detonar a espoleta. No caso desta, se se pretende o modo de funcionamento instantâneo gradua-se a espoleta em 100. Isto é alinhar a marca 100 da graduação superior na coifa inferior com a graduação da escala inferior do nónio gravada no corpo da espoleta fixa

rodando na direção indicada na seta. Para funcionar em tempos roda-se a parte móvel até à parte inteira da graduação pretendida estar coincidente com o 0 do nónio (Academia Militar, Cap. V, 2016).

No que toca aos projéteis com espoletas de Tempos ou de Aproximação, é necessário calcular uma Graduação de Espoleta de forma a provocar o funcionamento desta num determinado ponto da sua trajetória. Esta será determinada em função da duração de trajeto, mas, em termos práticos é calculada em função do valor da Alça mais a Correção complementar do ângulo de sítio (CCAS). Quando esta não for significativa, ou seja, quando a diferença de cotas entre o objetivo e posição da nossa unidade de tiro for inferior ou igual a 100 m, considera-se a GEp em função da Alça. A GEp é determinada nas tábuas de tiro para cada Alça respeitante ao alcance entre o objetivo e a unidade de tiro (Exército Português, 2012).

2.2.4.3 Direção

O conceito de direção é o ângulo formado entre a direção de vigilância DV (Orientação com que ficam os planos de tiro após a Pontaria Inicial) e a linha de tiro (LT), medido a partir da DV no sentido horário ou anti-horário, conforme o material que esteja a ser utilizado (Academia Militar, Cap. V, 2016).

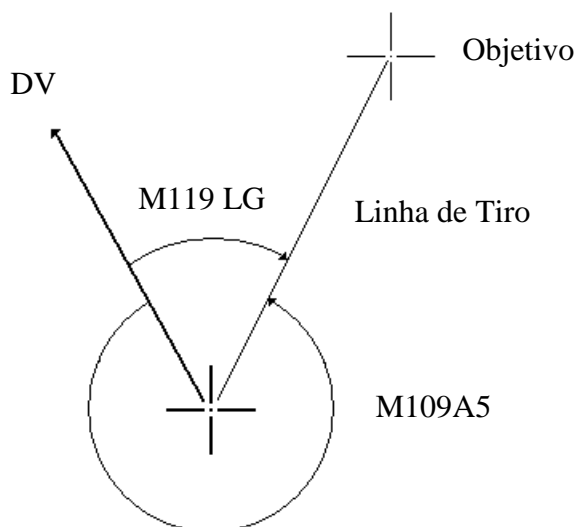


Figura 7 – Exemplo da direção para as diferentes armas (Obus M119 LG e M109A5) (Exército Português, 2012)

No entanto a Direção com que se faz tiro é, uma direção corrigida que difere da direção topográfica, determinada pelo calculador no PCT, e por este transmitida às Secções de bocas de fogo. Esta direção corrigida resulta da soma da Correção total em Direção (Corr Tot Dc) com a Direção Topográfica. A correção Total em direção obtém-se somando algebricamente a Correção em Direção para a Tábua de Tiro Gráfica (TTG), com a Correção de Derivação correspondente à Alça inicial, que corresponde à Distância Topográfica entre o objetivo e a posição da unidade de tiro (Exército Português, 2012). Obtemos assim duas fórmulas:

1. Direção Corrigida = Corr Tot Dc + Direção Topográfica
2. Corr Tot Dc = Corr Dc TTG + Derivação

2.2.4.4 Elevação

Antes de poder falar em Elevação, existe algo fundamental que é a Alça. Para cada carga, as Tábuas de Tiro definem qual a inclinação a dar ao tubo para que, nas condições padrão, se atinja um objetivo a uma determinada distância. Esta inclinação é o que designa a Alça e define-se por “*ângulo vertical formado pelo horizonte da boca de fogo com o prolongamento do eixo do tubo (Linha de Tiro).*” (Exército Português, 2012). Como se pode observar no Anexo A, na tabela F das mesmas, para distâncias tabuladas de 100 em 100 metro, na coluna 2, aparecem as Alças correspondentes para essas mesmas distâncias.

Outro elemento fundamental é o Sítio cujo é calculado para corrigir a diferença de cotas entra a Bateria e o objetivo.

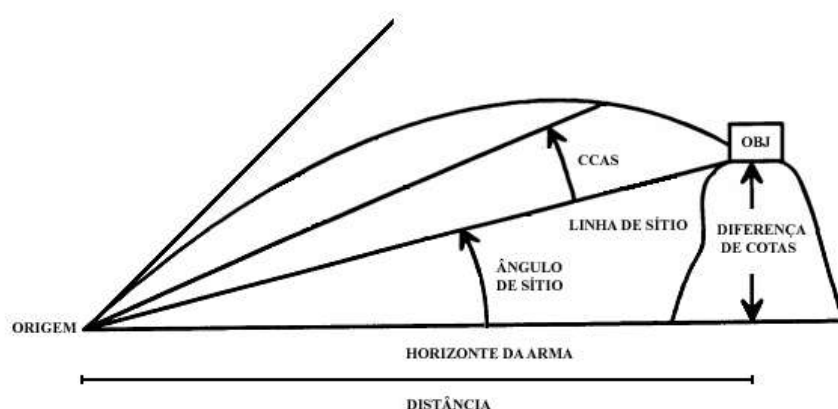


Figura 8 – Correção Complementar do Ângulo de Sítio
(Exército Português, 2012)

O Ângulo de Sítio é o menor dos ângulos, lido num plano vertical, entre o horizonte da boca de fogo e a linha de sítio. Terá um valor positivo se o objetivo estiver acima do horizonte da boca de fogo e um valor negativo se estiver abaixo (Exército Português, 2012).

A Correção Complementar do Ângulo de Sítio é o ângulo que é algebricamente somado ao valor do Ângulo de Sítio, para corrigir a alteração da forma da trajetória (não rigidez da trajetória), ou seja se em tiro mergulhante não se considerar o valor da CCAS e o objetivo tiver cota superior à da Bateria, passará além do mesmo.

O Sítio é assim a soma algébrica do Ângulo de Sítio e da CCAS.

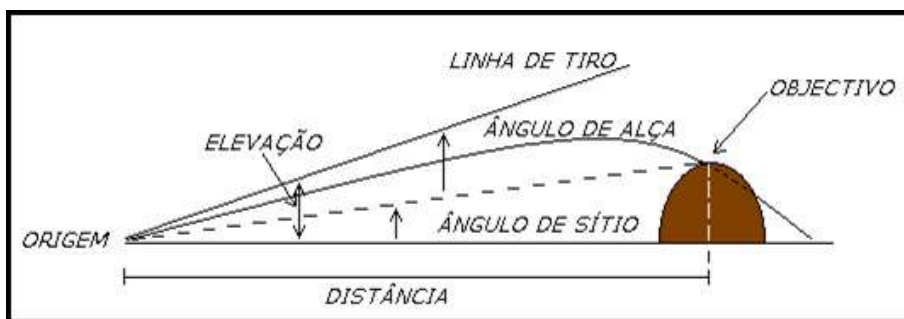


Figura 9 – Trajetória para um objetivo de cota diferente da boca de fogo (Exército Português, 2012)

2.2.5. Métodos de obtenção dos Elementos de tiro

Existem diferentes métodos capazes de obtenção dos Elementos de tiro. Um dos métodos é obter os Elementos de tiro através das TTN, em que a solução do problema é determinada ao interpolar condições pré determinadas e depois aplicar fatores de correção devido às condições de momento, em que este é utilizado, quer para o cálculo manual quer em calculadoras de tiro. Outro método apenas utilizado em calculadoras de tiro é um método que utiliza cálculos balísticos através de modelos de trajetória para prever o ponto de impacto nas condições de momento, e utiliza algoritmos de procura de soluções de tiro que consigam cumprir a missão com a máxima eficiência e eficácia (Chusilp et al, 2011).

2.2.5.1 Tábuas de Tiro Numéricas

No seu objetivo fundamental uma tábua de tiro é o instrumento base que permite aos artilheiros resolver o problema do tiro como foi descrito anteriormente e de atingir o objetivo com precisão no primeiro tiro disparado. No entanto isto não acontece, pelo menos na sua totalidade. O que acontece na realidade é que se utiliza um ou mais observadores avançados para regular o tiro. No entanto o objetivo será de facto atingir o objetivo na primeira munição disparada para garantir o efeito de surpresa e consequentemente a sobrevivência da nossa posição, pois pretende-se efetuar um tiro e se possível não ficar na mesma posição, e para isso é necessário ser preciso e rápido na execução das missões de tiro.

Antes da invenção dos computadores eletrónicos digitais, estas tabelas eram extremamente difíceis de serem feitas. Para os fatores mais básicos como a Elevação e o alcance o *Ballistics Research Laboratory* teve que calcular entre duas e quatro mil trajetórias para cada par de projeteis e obuses. Este centro de pesquisa levava entre quinze e trinta minutos para calcular uma única trajetória, isto porque funcionava através de um computador analógico e as suas engrenagens e hastes tinham que ser organizadas sempre que era calculada uma nova equação.

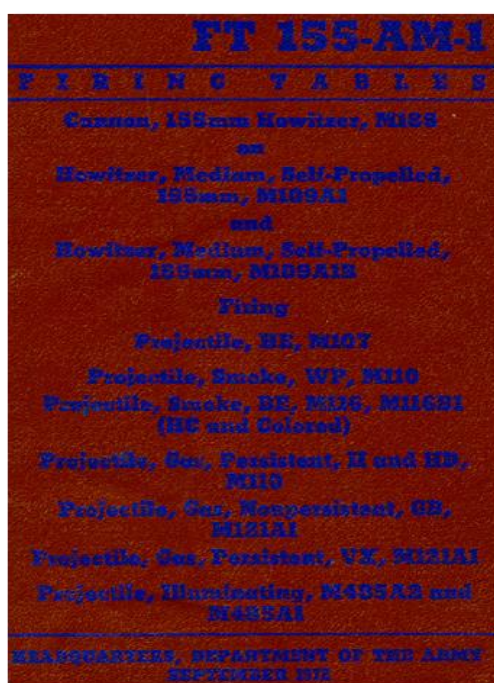


Figura 10 – Tábua de Tiro Numérica
(Academia Militar, 2016)

As TTN são o documento base para a obtenção dos elementos balísticos. Estas são baseadas em elementos obtidos durante a execução de tiro real e, posteriormente, corrigidos para as condições consideradas padrão. No entanto a determinação dos Elementos de Tiro a partir das TTN é um processo que poderá levar algum tempo, devido a um maior número de operações analíticas a realizar (Exército Português, 2012). Este é o processo que pretende exatamente ser colmatado com a criação da calculadora de tiro, reduzindo assim o tempo que se levaria a realizar as operações analíticas na determinação dos Elementos de Tiro.

As TTN consistem num conjunto de valores que são necessários para a determinação dos Elementos de tiro, estando estes divididos por diversas tabelas, e divididas também pelas diversas cargas.

A primeira parte da TTN contém os valores e as correções aplicáveis aos projéteis *standards*¹⁰. Cada carga está dividida por diversas tabelas¹¹ e para o material M114A1 existem 11 tabelas ordenadas alfabeticamente de A a M. Na página inicial de cada carga é indicada a Velocidade Inicial padrão em m/s, é indicado também o tipo de projétil a utilizar e o tipo de espoleta. As tabelas que compõem a TTN são as seguintes:

Tabela A representa os números das linhas da Mensagem Meteorológica, de acordo com a Elevação retirada na Regulação.

Tabela B representa as correções em distância em função da CCAS e a linha a utilizar na Mensagem Meteorológica.

Tabela C é utilizada para a resolução de Preparações Teóricas Concorrentes e Subsequentes. Indica-nos a componente transversal e a componente longitudinal de um vento com a velocidade de 1 nó, em função do Ângulo do Vento menos Ângulo de Tiro.

Tabela D apresenta registadas as percentagens das correções da temperatura e densidade do ar em função da diferença de cotas entre a posição da estação meteorológica e a posição da bateria.

Tabela E representa a influência na velocidade inicial, expressa em m/s, que a temperatura das cargas tem no comportamento do projétil, através de uma ou duas tabelas com várias temperaturas das cargas (*Graus Celsius* e outra em *Graus Fahrenheit*).

¹⁰ Projéteis: HE, HC e WP.

¹¹ Anexo A- Tabela F

Tabela F contém a maioria dos valores essenciais ao cálculo dos Elementos de Tiro para bater um objetivo, bem como a resolução de uma Preparação Teórica Concorrente ou Subsequente, apresentando 19 colunas.

Tabela G contém elementos relativos aos erros prováveis, e alguns elementos característicos das trajetórias dos projéteis.

Tabela H apresenta as correções de distância, em metros, para compensar o efeito de rotação da terra.

Tabela I apresenta as correções em direção para compensar o efeito de rotação da terra.

Tabela J apresenta as correções da GE_p para compensar a diferença entre as condições padrão e as condições de momento.

Tabela K apresenta as correções para uma alteração na distância e altura para um incremento de dez milésimos de elevação.

Tabela L apresenta as correções para uma alteração na distância e altura para um incremento de um segundo no tempo de voo do projétil.

Tabela M apresenta as correções de GE_p para conversão dos valores da espoleta tipo M564 em espoletas do tipo M520A1.

2.2.5.1.1 Obtenção das TTN

A TTN utilizada para realizar o cálculo manual no PCT e as tabelas que constam na mesma são feitas tendo por base tiros balísticos¹² que foram conduzidos em *Aberdeen Proving Ground*¹³ em Maryland. Estas tabelas contêm informação que se baseia em trajetórias para uma determinada combinação de arma, projétil, espoleta e carga. As informações retiradas das TTN são utilizadas para compensar variações significantes que afetem o tiro e que se desviem das condições padrão. As distâncias nas tabelas são distâncias que são baseadas numa esfera concêntrica que passam pela terra e pela boca do tubo. O ponto em que o ramo descendente da trajetória intersecta esta esfera concêntrica é designado por *level point*, e as posições que se encontrem a zero metros de altitude considera-se que estão neste *level point* (FT 155-Q-4, 1968).

Sempre que uma nova combinação de Arma/Munição está pronta para ser utilizada, uma tabela de tiro tem de ser desenvolvida de modo a acompanhar este sistema. No entanto

¹² “Tiro que tem por finalidade a determinação de um ou mais elementos do movimento do projétil medindo grandezas cuja relação com o elemento a determinar é conhecida.” (Silva, 2003)

¹³ “*Aberdeen Proving Ground* é o campo de testes mais antigo do Exército dos Estados Unidos da América, estabelecido seis meses após a entrada dos Estados Unidos na Primeira Guerra Mundial. Destina-se a testar armas ou outras tecnologias militares.

este processo tem uma cadeia de eventos que pode ser bastante demorada. Inicialmente é necessário listar o seu peso, letalidade, transportabilidade e outros atributos, bem como as suas características de performance. Só depois de ter passado por este processo é que é sujeito a testes de segurança, engenharia e de utilização. Depois de todos os testes terem sido passados satisfatoriamente o produto é classificado como *standard* e é posto em produção. Assim que o produto está disponível, este e as suas tabelas de tiro são entregues aos militares para treino (Dickinson, 1967).

Os métodos balísticos¹⁴ não constituem, por si só, base suficiente para a elaboração das tábuas de tiro, pois estes fundamentam-se numa série de hipóteses que só são admissíveis em primeira aproximação. É assim necessário recorrer à experimentação realizando séries elevadas de tiro real, para se obter elementos que nos permitam, por comparação dos elementos calculados, determinar factores de correcção, através dos quais se harmonizam com a realidade todos os elementos calculados. Depois da realização das experiências e aquando da posse de todos os valores calculados, calcula-se um certo número de trajectórias, assim como os efeitos que as perturbações têm nas condições padrão (Silva, 2003).

Os métodos balísticos de integração das equações diferenciais são: Método de Euler (Admite uma lei de resistência unica); Método de SIACCI (Baseia-se na alteração da lei da resistência), Método GHM-1927 (Baseia-se no cálculo de trajectorias por arcos sucessivos) (Silva, 2003).

2.2.5.1.2 Execução dos Tiros Balísticos

Os tiros balísticos são importantes pois constituem uma prova que permite controlar o valor das teorias e hipóteses que são necessários para efetuar o cálculo teórico. Para que estes tenham utilidade é necessário serem acompanhados por medições de uma ou mais coordenadas balísticas em um ou diversos pontos da trajetória. Os elementos que são determinados através destes tiros são (Silva, 2003):

1. Velocidade do projétil num ponto da trajetória;
2. Coordenadas x e y mais o alcance;
3. Duração do trajeto;
4. Ângulo de projecção;

¹⁴ É o conjunto de processos utilizados na dedução de expressões finitas entre as coordenadas balísticas, a partir das equações diferenciais do movimento (Silva, 2003).

5. Elementos do movimento do projétil em torno do seu centro de gravidade e Derivação.

As características dos campos de tiro onde são realizadas estas experiências (caso do campo em Aberdeen, Maryland) devem ser:

1. Sensivelmente horizontal;
2. Ficar situado num local não sujeito a oscilações meteorológicas bruscas;
3. Apresentar boas condições de visibilidade;
4. Ser dotado de um observatório meteorológico¹⁵;
5. Terreno não deve ser pedregoso (para que os pontos de impacto sejam bem visíveis) e de extensão necessária ao material a testar (Silva, 2003).

O equipamento utilizado na realização das experiências é:

1. Cronógrafos (medição de velocidades);
2. Manómetros (medição de pressões);
3. Microfones (medição da duração do trajecto);
4. Teodolitos (medição de ângulos);
5. Fototeodolitos e aparelhagem de foto restituição (medição de coordenadas balísticas em diversos pontos da trajectória);
6. Observatórios (localização fácil dos impactos no terreno);
7. Câmaras isotérmicas (manter as cargas de pólvora à temperatura adequada);
8. Balanças (controlo dos pesos do projétil e das cargas);
9. Aparelhos de controlo dimensional das munições das bocas de fogo (Silva, 2003).

São executados também tiros para a medição de velocidade. A determinação da velocidade inicial faz-se medindo a velocidade restante num ponto de abscissa X o mais próximo possível da boca da arma, e reduzindo esta velocidade ao ponto de abscissa $x=0$, ponto este que se considera como o ponto inicial à boca do tubo. Os tiros para a determinação da velocidade inicial (V_0) e X (componente horizontal do tiro) são os mais importantes para a elaboração das Tábuas de Tiro, pois destina-se a determinar o coeficiente balístico em função do alcance ou da elevação. (Silva, 2003).

São executados tiros balísticos de percussão, que permitem determinar a velocidade inicial, alcance e duração total de uma trajectória qualquer ou a velocidade inicial e

¹⁵ Observatório onde seja possível efetuar sondagens para determinação do vento e da temperatura às várias altitudes e pressão (Silva, 2003).

duração de trajecto de uma trajectória tensa referindo-se a duração do trajecto a um ponto da abcissa x onde se coloca um alvo vertical (Silva, 2003).

A preparação do tiro deve ter em conta os seguintes aspectos:

1. Se os tiros são efectuados só com uma boca de fogo ou com mais e qual o seu estado de gastamento;
2. Se os tiros devem ser feitos num mínimo de sessões ou se devem propositadamente ser em diferentes dias e quando possível sob condições atmosféricas diferentes;
3. Qual a posição e linha balizada de alcances a utilizar;
4. Projétil, espoleta e carga a utilizar;
5. Número de disparos a efectuar;
6. Tiros de adaptação a efectuar;
7. Elevações a utilizar nos tiros, pelo menos três, cobrindo todo o campo de tiro vertical (Silva, 2003).

Sendo impossível executar os tiros balísticos sob o conjunto das condições definidas como padrão, os resultados deverão ser sujeitos a correcções necessárias. Apartir do momento em que os testes são feitos nas carreiras de tiro balísticas e são obtidos os valores estes são sujeitos às correcções através de diferentes fórmulas balísticas para chegar às conhecidas TTN.

2.2.5.2 Modelos de Trajetória

“Uma das questões mais desafiadoras durante o processo de desenvolvimento de um sistema de controlo de fogos de Artilharia é obter um modelo de trajetória fiável. O modelo deve ser simples no contexto de computação (processo rápido), porém é necessário ser muito preciso do ponto de vista do disparo em condições atmosféricas reais” (Baranowski, 2013).

Para resolver a questão de existir um modelo correto e eficaz, a *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) desenvolveu um modelo simplificado, chamado “*Modified Point Mass Trajectory Model*” (STANAG 4355, 2009), para ser usado em calculadoras de tiro e para criar TTN para diferentes materiais sem que sejam necessariamente executados os tiros balísticos. No entanto a aplicação deste modelo requer a elaboração e estudo de dados específicos relativos ao projétil como características aerodinâmicas e fatores de ajuste do projétil em que estes servem para ajustar o ponto de impacto do projétil em direção e elevação. (Baranowski, 2013).

Notações utilizadas na secção

m	Massa do projétil
\vec{g}	Aceleração da Gravidade
g_0	Magnitude da aceleração gravitacional ao nível do solo
R	Raio da Terra
r	Distância entre o projétil e o centro da Terra
\vec{r}	Posição do projétil em relação ao centro da Terra
\vec{X}	Posição do projétil em relação ao sistema fixo de coordenadas
lat	Latitude
$\vec{\lambda}$	Aceleração de Coriolis
$\vec{\omega}$	Vetor da rotação da Terra
\vec{u}	Vetor da velocidade do projétil relativamente ao sistema fixo de coordenadas
Ω	Velocidade angular da terra
ρ	Densidade do ar à altura correspondente do projétil
d	Diâmetro do projétil
C_{D_0}	Fator de ajuste usado no cálculo da força de atrito
v	Velocidade do projétil relativamente ao ar circundante
\vec{v}	Vetor da velocidade do projétil relativamente ao ar circundante
\vec{U}	Velocidade do projétil relativamente ao sistema fixo de coordenadas
\vec{w}	Velocidade do Ar
t	Tempo
\vec{X}_0	Posição da Saída da Boca de Fogo em relação ao sistema fixo de coordenadas
l_w	Comprimento do cano
QE	Elevação
AZ	Rumo
X_{2w}	Altura da base da boca de fogo em relação ao nível do mar
\vec{U}_0	Velocidade inicial do projétil em relação ao sistema fixo de coordenadas
\vec{U}_0	Velocidade inicial do projétil em relação ao sistema fixo de coordenadas
S	Resistência do ar sob a superfície do projétil
C_l	Coefficiente de <i>Lift</i>

Tabela 1 – Notações Matemáticas

Fonte: (Waglund, 2015)

2.2.5.2.1 Modified Point Mass Trajectory Model

É assumido por este modelo e descrito pela NATO que são cinco as forças que são exercidas sobre o projétil durante o seu voo. Estas forças são a Força gravitacional, Força de Coriolis¹⁶, Força de Atrito¹⁷, Força de Magnus¹⁸ e a Força de sustentação¹⁹ (Carlucci , 2008).

Waglund (2015) descreve estas forças como se segue(as notações utilizadas nas fórmulas podem ser consultadas na Tabela 1). O campo gravitacional da terra vai agir no projétil e atrai-lo para o centro. O Vetor²⁰ da força gravitacional é descrito pela seguinte fórmula:

$$\vec{F}_g = m\vec{g} = -mg_0 \left(\frac{R^2}{r^3} \right) \vec{r} = -mg_0 \begin{bmatrix} \frac{X_1}{R} \\ 1 \\ \frac{X_3}{R} \\ -\frac{2X_2}{R} \end{bmatrix}$$

Devido à terra não ser perfeitamente redonda, a magnitude da força gravitacional, g_0 , vai variar consoante a latitude:

$$g_0 = 9.80655(1 - 0.0026 \cos(2xlat))$$

Visto que a terra e o sistema de coordenadas definido encontram-se em rotação, o projétil vai ser afetado pela Força de Coriolis. O Vetor da força é:

$$\vec{F}_c = m \vec{\lambda} = -2(\vec{\omega} \times \vec{u})$$

Onde $\vec{\omega}$ é definido por:

$$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} \Omega \cos(lat) \\ \Omega \sin(lat) \\ 0 \end{bmatrix}$$

¹⁶ “A força de Coriolis é uma força de inércia, que atua sobre um objeto que se encontra em movimento relativamente a um referencial inercial. Isto acontece porque o ponto de disparo e do objetivo estão localizados na terra, logo quando o projétil aterra, a terra rodou sob um ângulo, movendo assim o ponto de impacto do projétil” (Carlucci, 2008, p.224).

¹⁷ “O Atrito num projétil é a força exercida sobre ele pelo meio através do qual este se movimenta, geralmente o ar, este é naturalmente oposto ao vetor de velocidade” (Carlucci, 2008,p.171).

¹⁸ “Esta força ocorre quando um corpo de secção circular é imerso num campo de fluxo perpendicular ao seu eixo e é girado em torno do seu próprio eixo” (Carlucci, 2008, p.174-175).

¹⁹ A força de sustentação é definida como a força aerodinâmica que atua ortogonalmente ao vetor da velocidade

²⁰ “Um vetor é definido como um segmento de reta com a mesma intensidade, direção e sentido” (Carlucci, 2008,p.179).

E representa o Vetor de rotação da terra, no entanto esta força não é exercida sobre o projétil, é uma maneira de contrariar o facto de que o sistema de coordenadas fixas do solo está a girar para fora da trajetória do projétil.

A força de atrito é causada pela resistência do ar circundante e vai exercer força sobre o projétil na direção contrária à direção da trajetória. Este vetor é representado por:

$$\vec{F}_D = -\left(\frac{\pi\rho d^2}{8}\right) * C_{D_0} v \vec{v}$$

Onde $\vec{v} = \vec{U} - \vec{w}$ representa o diferencial de velocidade do projétil relativamente ao meio circundante.

O vetor de Magnus é definido como:

$$\vec{M}_F = S(w * v)$$

Quando este fator é descoberto pode-se prever as características do movimento giratório dos projéteis sobre si mesmos.

O coeficiente da força de sustentação é definido como:

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_L$$

O balanço da força gravitacional, de Coriolis e força de atrito podem ser agregadas numa só usando a segunda lei de Newton, que se representa como:

$$\sum \vec{F} = m \frac{d\vec{U}}{dt}$$

Ao somarmos as forças e dividir os dois lados pela massa obtemos:

$$\frac{d\vec{U}}{dt} = \frac{1}{m} (\vec{F}_G + \vec{F}_C + \vec{F}_D)$$

Sendo os valores iniciais definidos pela posição à saída da boca de fogo:

$$\vec{X}_0 = \begin{bmatrix} l_W \cos(QE) \cos(AZ) \\ X_{2W} + l_W \sin(QE) \\ u_0 \cos(QE) \sin(AZ) \end{bmatrix}$$

E da velocidade à boca de fogo:

$$\vec{U}_0 = \begin{bmatrix} u_0 \cos(QE) \cos(AZ) \\ u_0 \sin(QE) \\ u_0 \cos(QE) \sin(AZ) \end{bmatrix}$$

Estas três últimas equações vão assim caracterizar o movimento completo do projétil.

Depois de obtidas estas equações, elas têm de estar preparadas para serem implementadas computacionalmente, em que o objetivo principal é o de encontrar a solução do tiro para um dado objetivo, para isso e para ser utilizado por um programa de computador as equações anteriores, têm de ser reduzidas para um sistema de equações diferenciais de primeira ordem (Waglund, 2015). Após isso o sistema estará pronto para ser resolvido numericamente. No entanto existem diversos métodos numéricos²¹ que podem ser aplicados como por exemplo o método de Euler ou Heun's. (Waglund, 2015). Posteriormente pode-se começar a realizar o processo iterativo em questão. Um exemplo de um *software* que executa o método iterativo de simulação da trajetória é o encontrado em Chusilp (2011):

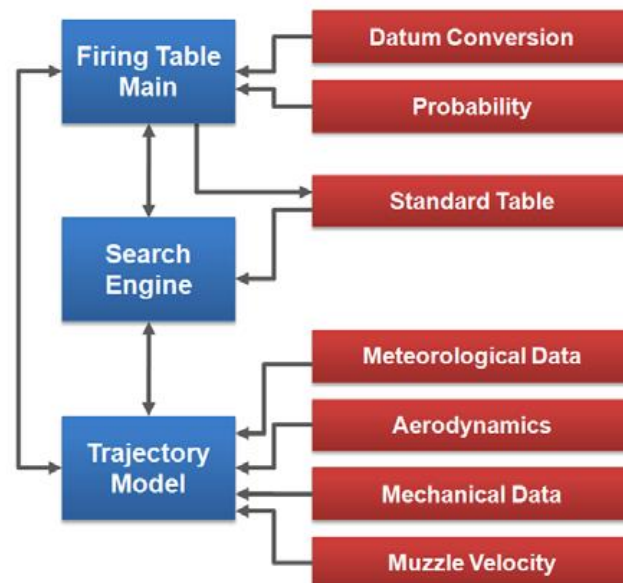


Figura 11 – Estrutura do Modelo de Software (Chusilp, 2011)

²¹ Métodos numéricos para a resolução de equações diferenciais são métodos utilizados para encontrar aproximações para soluções dessas próprias equações que vão possuir um erro inerente (Waglund, 2015).

Em que a *Firing Table Main* controla todos os processos de operação do *software* em si, o *Search Engine* é composto por algoritmos para o cálculo da solução de tiro para um dado objectivo, o *Trajectory Model* é usado pelo *Search Engine* para simular a trajetória do projectil e do ponto de impacto.

Quando se procura nas TTN, os fatores de correção são aplicados à solução encontrada para compensar as condições não padrão. A vantagem do método iterativo é que não precisa de construir estas tabelas com estas correções pois possui um módulo que recebe informação do balão meteorológico, o que faz com que ao procurar a solução do tiro sejam logo aplicados os fatores meteorológicos, ou seja não se precisa de corrigir posteriormente como se faz nas TTN. Um exemplo deste método processo iterativo é:

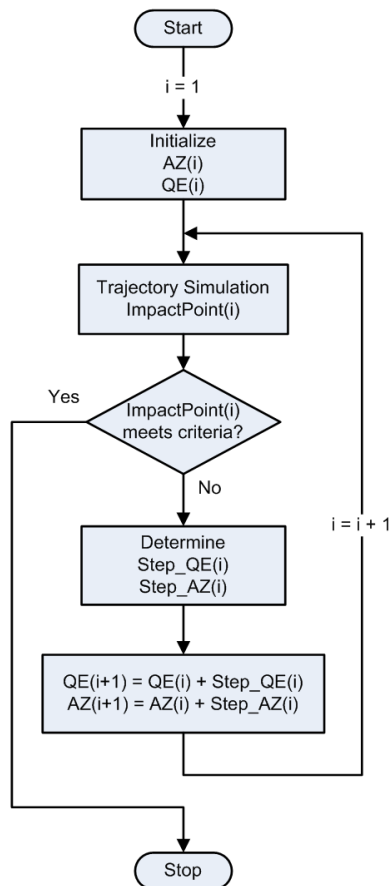


Figura 12 – Estrutura do método de procura iterativa (Chusilp, 2011)

Durante este processo a iteração pela procura de uma Elevação e uma Direção vai sempre continuar, até que os critérios definidos no *software* sejam alcançados, critérios estes que têm a ver com a precisão que se pretende.

2.2.6. Calculadoras de Tiro em utilização no Exército Português

A utilização de unidades eletrónicas computadorizadas para o aumento de eficiência nas operações dos exércitos, representa uma parte fundamental a todos os escalões. Muitos destes desenvolvimentos são computadores especializados em resolver alguma tarefa de forma automatizada, bem como processar dados em tempo real.

Advém destes os computadores específicos para resolver diferentes problemas relacionados especificamente com a Artilharia. Estes são usados quer para sistemas de campanha quer para sistemas de anti aérea, e resolvem problemas que vão desde: determinação dos elementos de tiro, determinação de azimutes entre posições, cálculo de probabilidade para atingir um objetivo com um certo número de disparos, determinação de elementos topográficos entre outros. O facto é que hoje em dia estes sistemas são capazes de resolver de forma rápida e precisa os problemas do cálculo do tiro (Nutu et al, 2004).

De referenciar também que existindo os dois processos para obtenção dos elementos de tiro, por TTN ou por modelos de simulação da trajetória (Cálculos balísticos), as duas calculadoras seguintes utilizam as TTN como base para encontrar a solução do tiro.

2.2.6.1 Battery Computer System

O Battery Computer System (*BCS*)²² é o sistema automático que funciona em rede e que se situa no PCT da Bateria. Este veio substituir no Exército Português o processo manual para a determinação dos Elementos de Tiro como o método principal. Este sistema contribui para a direção técnica do tiro determinado de forma automática os Elementos de Tiro (Ferreira, 2008). O *BCS* seleciona individualmente cada objetivo, registando os seus elementos topográficos e calcula os Elementos de tiro individualmente para cada boca de fogo, tendo a possibilidade de aplicar correções de momento para cada arma.

O *BCS* veio assim garantir a celeridade na determinação dos Elementos de Tiro e consequentemente satisfazer com maior rapidez os pedidos de tiro efetuados pelos OAV's (Ferreira, 2008).

²² Este é composto por um microprocessador de 18bits, 128K de memória de acesso, um teclado, um painel plasma de display, terminais de comunicação e um sistema universal de montagem. Dispõe também de baterias, e os terminais de comunicações permitem ligações por fio ou por rádio através de dois canais externos e um interno (Edwin & Richard, 1984)

O *BCS* é constituído por seis componentes principais (Headquarters Department of the USA Army)

1. *Lightweight Computer Unit (LCU) NA/GYK-37*: O *LCU* é o computador do *BCS*. Este recebe, armazena, processa, apresenta e transmite informação, sendo operado a partir do teclado.
2. Impressora: Imprime automaticamente as mensagens monitorizadas pelo *LCU* ou as que são seleccionadas pelo operador.
3. *External Power Module (AC/DC Converter/Charger)*: O *AC/DC Converter/Charger* distribui e controla a energia externa que chega ao *BCS*. Para além disso, também garante o carregamento da bateria, se instalada.
4. *External Tactical Communications Interface Module (TCIM)*: O *TCIM* é o interface de comunicações usado pelo *BCS*. Existe um *TCIM* interno e outro externo.
5. Disco Rígido: Armazena a informação que é tratada pelo *BCS*.
6. Adaptador de Fio: Este conecta-se ao *TCIM* para garantir a comunicação por fio ao *BCS*.

As possibilidades que o sistema oferece são diversas, desde missões de tiro de área²³, missões de tiro sobre objetivos inopinados, missões de tiro com munição Iluminante e regulações de precisão²⁴ entre outras. O sistema permite assim aos militares garantirem que os Elementos de tiro são adquiridos o mais rapidamente possível, podendo assim dar resposta a um maior número de missões de tiro, pois o processo inerente ao cálculo do tiro torna-se facilitado por este sistema (Ferreira, 2008). De referenciar que este sistema não é passível de ser utilizado no Obus M114A1 155mm/23, pois não existem TTN deste material para o sistema.

²³ Tipo de missão cuja finalidade é “cobrir o objetivo com fogos densos de modo a conseguir os maiores efeitos possíveis. O tipo de munição e o volume de fogos pedidos pelo OAv dependem do tipo de objetivo e se este se encontra, ou não, em movimento” (EME, 1992)

²⁴ Missão de tiro de precisão que visa “determinar correções para os elementos de tiro que compensem os efeitos das diferenças entre as condições de momento e as condições padrão ou tabulares. Se estas correções forem introduzidas nos elementos de tiro, a Bateria pode, rapidamente e com êxito, bater qualquer objetivo localizado com precisão sem ajustamento prévio do tiro dentro dos limites da aferição e dos alcances do seu material” (EME, 1992).

2.2.6.2 Gunzen Mk3 Artillery Computer System

O *Gunzen Mk3* é um computador de mão portátil que foi projetado por uma empresa denominada por *MAS Zengrange* que é especializada em desenvolver sistemas de controlo de fogo de artilharia, para realizar o cálculo automático dos elementos de tiro (Direção, Elevação e Graduação de Espoleta). É um sistema que providencia um controlo completo das soluções para o tiro de Artilharia.

Este é constituído pelos seguintes elementos principais: Computador portátil ZHC2000; Adaptador de alimentação; Cabos de energia; Baterias e carregadores de Baterias. Possui ainda um local de inserção de disquetes com módulos balísticos, que são as despectivas TTN para cada material, onde o computador se vai basear para realizar os seus cálculos (Escola das Armas, 2008).

Este computador permite ao utilizador realizar diversas tarefas tais como:

- Introduzir registos de objetivos, observadores, nossas tropas, munições, áreas de segurança, cristas, mensagens meteorológicas.
- Calcular poligonais, rumos e distâncias entre pontos conhecidos.
- Calcular missões de tiro e despectivos elementos de tiro.
- Memorizar planos de fogos.

Focando no cálculo dos elementos de tiro, este processo funciona da seguinte maneira: Primeiramente seleciona-se um feixe de tiro e, se necessário, dados de distribuição válidos. São selecionados parâmetros de missão que servem para mudar o tipo de trajetória, projétil, carga, peso de projétil, arma que irá efetuar a regulação durante a missão, armas que vão efetuar a missão podendo retirar ou adicionar conforme a necessidade e a altitude. Pode ser selecionado previamente se é uma regulação ou uma eficácia. É ainda possível aceder a objetivos previamente guardados que já tenham os elementos de tiro calculados ou apenas os elementos topográficos. No final de cada missão de tiro é possível ainda imprimir todos os dados constantes daquela missão (Escola das Armas, 2008).

O modo de funcionamento destas calculadoras difere do funcionamento da calculadora criada, pois estas possuem também uma parte tática do tiro, onde podem inserir dados táticos da coordenação do campo de batalha. Isto no entanto não acontece com o

produto desenvolvido neste TIA, visto que, o foco era criar uma ferramenta que auxilie o calculador a realizar os cálculos do tiro, indo de encontro aos requisitos ao ser de fácil utilização e sendo mais célere que o cálculo manual

Capítulo 3

Método e Recolha de dados

Para que um projeto obtenha um resultado válido, há que seguir um método que permita obter informação a partir dos dados iniciais. Pretende-se com este capítulo explicar qual o modelo de investigação utilizado para a realização do mesmo. Assim sendo foi seguido um tipo de raciocínio lógico e estruturado de passos para o desenvolvimento deste trabalho que vai ser apresentado neste capítulo.

3.1. Tipo de Estudo

O objetivo do presente estudo é a construção de uma calculadora de tiro que permita o cálculo do tiro de forma autónoma e rápida. Para a construção desta foram observados dois métodos para atingir o resultado final de obtenção de elementos de tiro, através do cálculo balístico ou através de dados constantes nas TTN. O cálculo balístico passa por equações que estudam o movimento dos projéteis em que são analisadas as variáveis que afetam a trajetória destes, para assim conseguir chegar para cada material a um conjunto de equações que sejam capazes de resolver o problema do tiro. O caso do cálculo através dos dados constantes nas TTN segue também os princípios da balística e da observação de vários testes realizados, no entanto para um dado material já existe uma base de partida devido a esses testes.

A calculadora de tiro foi desenvolvida com base no método descrito anteriormente que é o da obtenção dos dados a partir da TTN para o respectivo material, fundamenta-se assim nesta mesma para a obtenção dos seus resultados como é próprio do cálculo manual. Sendo assim o estudo acaba por passar por uma abordagem ao raciocínio indutivo pois a própria construção das TTN advém de um conjunto de testes indutivos pois caracteriza-se por um conjunto de testes que apresentam conclusões provavelmente verdadeiras e não necessariamente verdadeiras, é então uma operação que a partir da observação de um determinado número de factos conclui uma lei geral que se aplica a todos os casos da mesma natureza, até porque se baseiam numa série de hipóteses que só são admissíveis em primeira aproximação (Law ,2007).

Foi necessário também limitar a subjetividade do presente estudo, por ser insustentável pelo tempo necessário que levaria a ser feito. Uma das delimitações foi a quantidade de cargas a utilizar da TTN, para o presente estudo teve-se em conta apenas a Carga 1GB, a escolha da carga é motivada pelos polígonos de tiro que existem em Portugal mais concretamente o polígono de Vendas Novas onde existe o material M114A1 155mm /23, pois devido a este ser limitado no que toca ao seu alcance apenas é possível realizar tiro com a respetiva carga.

3.2. Modelo de Análise

O modelo de análise ou processo de investigação que foi seguindo foi o processo de *product design* de engenharia. O que distingue este tipo de produtos é que são feitos para responder a necessidades humanas. O desenvolvimento destes produtos resulta da necessidade de alguém querer que um problema seja resolvido de forma mais eficiente e de forma mais célere. O que distingue este processo dos outros é a natureza do problema e da solução, pois os modos de abordagem são diversos e existem diversas soluções (Khandani, 2005).

O que se pode observar como foi descrito anteriormente, pois as formas de atingir o objectivo eram diversas desde cálculos balísticos a valores constantes de TTN e a solução de criar uma calculadora de tiro para o material especificado também poderia ter diversas soluções com diferentes funcionalidades e objectivos, no entanto os objectivos que foram atingidos passam por uma análise a inquéritos por questionário que foram realizados que vão ser descritos no próximo capítulo que serviram também como delimitadores da investigação.

Estes problemas são no geral definidos de forma mais vaga que os problemas de análise ou de estudo de certos casos particulares. Por essa razão mesma este trabalho não apresenta questão central, questões derivadas ou hipóteses de investigação. Khandani faz uma descrição sumária de um exemplo²⁵ disto mesmo concluindo assim que a solução para

²⁵ “Suppose that you are asked to determine the maximum height of a snowball given an initial velocity and release height. This is an analysis problem because it has only one answer. If you change the problem statement to read, "Design a device to launch a 1 pound snowball to a height of at least 160 feet," this analysis problem becomes a design problem. The solution to the design problem is a system having specified

um problema de design de engenharia é uma porta aberta já que existem muitas formas de atingir o objectivo em que este mesmo é concreto e não é abstracto.

Resolver problemas de *design* é geralmente um processo iterativo, ou seja a solução vai se adaptando ao durante a evolução do trabalho, muitas das vezes isto deve-se ao facto de que a solução que se imaginava se tornou imprática, insegura ou simplesmente não vai funcionar como se esperava. A atividade do projecto é então, de natureza ciclica ou iterativa, enquanto que a solução é sequencial (Khandani, 2005).

O processo escolhido segue usualmente cinco passos básicos para resolver o mesmo, isto porque cada projecto tem problemas que são usualmente vagos e têm uma multiplicidade de soluções. Os cinco passos deste processo foram também aplicados neste trabalho sendo descritos da seguinte forma:

- Definir o problema;
- Recolher informação pertinente;
- Gerar múltiplas soluções;
- Analisar e seleccionar uma solução;
- Testar e implementar a solução.

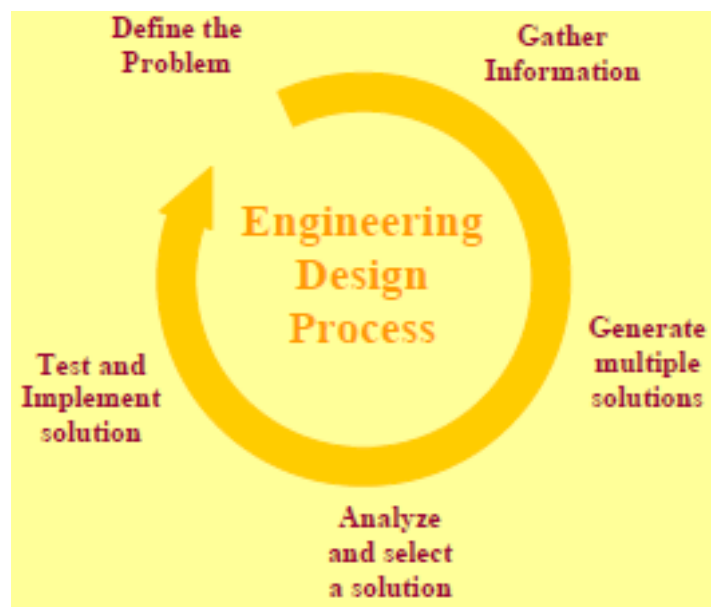


Figura 13 – Engineering Design Process
(Khandani , 2005, p.6)

properties (able to launch a snowball 160 feet), whereas the solution to the analysis problem consisted of the properties of a given system (the height of the snowball)” (Khandani, 2005, p4).

O primeiro passo é a definição do problema, este passa por definir os requisitos que o produto deve apresentar bem como as suas funções e características.

O segundo passo serve para recolher informação para o *design* do produto e para as suas funções funcionais, muitas das vezes neste passo são analisados produtos semelhantes.

O terceiro passo foi inicialmente o que a calculadora de tiro seria capaz de fazer, ou seja as soluções previstas, como por exemplo ser capaz de calcular tiro para todas as Cargas das TTN.

O quarto passo baseou-se nos inquéritos que foram realizados e através das respostas dos mesmos geraram-se múltiplas soluções, que basicamente são as funcionalidades que a calculadora de tiro possui e é capaz de realizar e também visto que é um processo iterativo várias funcionalidades foram adaptadas ao longo do desenvolvimento da mesma por não ser fiável o seu desenvolvimento dentro do prazo estipulado.

O quinto passo foi o desenvolvimento do protótipo da calculadora, este protótipo foi posteriormente testado e melhorado para atender assim às necessidades a que foi proposto e em que o objetivo do mesmo também seja o de criar o início de uma calculadora que pode evoluir para ser capaz de responder no futuro ainda a mais necessidades do tiro as quais não foram possíveis de implementar desde já.

Capítulo 4

Recolha de Requisitos

Este capítulo tem por objetivo apresentar o processo de recolha de requisitos relativo ao desenvolvimento da calculadora, descrevendo o tipo de dados recolhidos, a origem dos mesmos e a técnica de recolha. A recolha de dados consistiu da análise documental e inquérito por questionário

4.1. Natureza dos Dados

A recolha de dados foi efetuada na sua essência na biblioteca da Academia Militar e no Repositório Comum, principalmente no que toca à recolha de informação para o Estado da Arte. Foram analisadas também publicações NATO, no âmbito da balística e no desenvolvimento de *software* de tiro e balístico. Esta pesquisa permitiu assim desenvolver uma calculadora coerente e com base em *softwares* observados quer presencialmente (que é o caso do *BCS* e do *GUNZEN MK3*) e de outros softwares de cálculo de tiro que existem de como foram desenvolvidos ou que se encontram em desenvolvimento. Foram também fontes de dados revistas, teses e dissertações.

4.2. Origem dos Dados

A origem dos dados foi condicionada pelo facto de que muito do desenvolvimento deste tipo de *software* não é acessível publicamente pois trata-se de matéria sensível de cálculo de tiro, justificando a dificuldade em encontrar muitas fontes no desenvolvimento deste tipo de *software* mais concretamente dos meios utilizados para atingir as soluções do tiro. No entanto foi possível realizar o inquérito a militares que já desempenharam funções relacionadas com o cálculo do tiro, nomeadamente chefes de PCT e calculadores que contribuíram para o desenvolvimento da calculadora no que toca à definição de requisitos da mesma.

4.3. Análise Documental

A análise documental foi fundamental para o desenvolvimento do Estado da Arte, pois esta baseou-se no que é o tiro e como se obtém a solução do mesmo dos quais existe diverso material facilmente acessível. No caso do desenvolvimento de software de cálculo de tiro não existe muita informação de livre acesso pelos conteúdos críticos que nelas constam, por este mesmo motivo foi também desenvolvida a calculadora com base nas TTN por ser a forma mais prática de resolver o a solução para o protótipo.

4.4. Inquérito por Questionário

O inquérito por questionário foi aplicado a um conjunto de militares com experiencia, tendo contribuído para a definição dos requisitos da calculadora de tiro. Nomeadamente em termos do cálculo do tiro e sendo esta a amostra. O guião do questionário descrito encontra-se no Apêndice A.

4.5. Recolha dos Requisitos da Calculadora de Tiro

Como foi referido anteriormente foi desenvolvido um inquérito por questionário (Guião encontra-se disponível para consulta no Apêndice A) com o objetivo de perceber quais as funções/necessidades que os militares com mais experiência quer em missões quer em exercícios achavam necessárias numa calculadora de tiro por forma a facilitar o trabalho do calculador e a tornar o processo de cálculo mais célere, bem como perceber qual o tempo que levava para o calculador efetuar os cálculos até encontrar os valores dos Elementos de Tiro.

Com as respostas obtidas foi desenvolvida a calculadora com base nesses critérios, não tendo sido possível atingir todos os requisitos devido ao tempo necessário para a execução dos mesmos, não deixando de ser possível ser a calculadora melhorada no decorrer do tempo em vista a alcançar todos os propostos. O inquérito por questionário obteve vinte e uma respostas as quais vão ser analisadas seguidamente por questão individualmente.

Questões:

1. Que função desempenhou/desempenha?

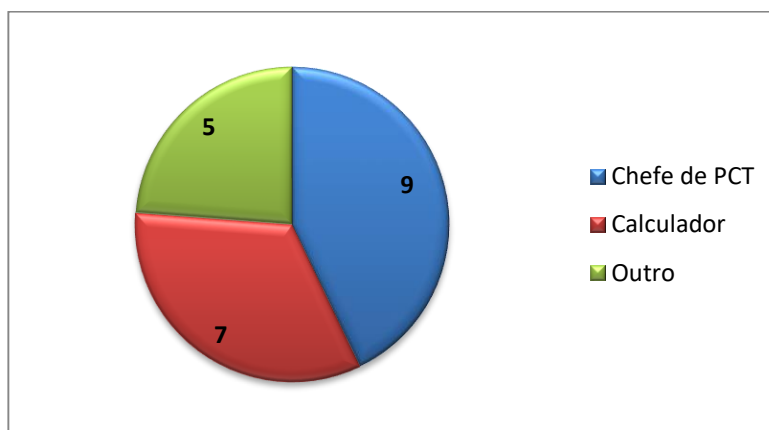


Figura 14 – Funções Desempenhadas

Fonte: Criada pelo Autor

O inquérito era mais vocacionado para o Calculador e para o Chefe de PCT, não tendo sido especificado para quem respondeu “outro”, qual a sua função na bateria. O número de respostas foi favorável ao tipo de função que se pretendia interrogar nomeadamente as referidas anteriormente. Esta questão é uma questão informativa e não teve impacto no desenvolvimento da calculadora de tiro.

2. Com que material desempenhou essas funções?

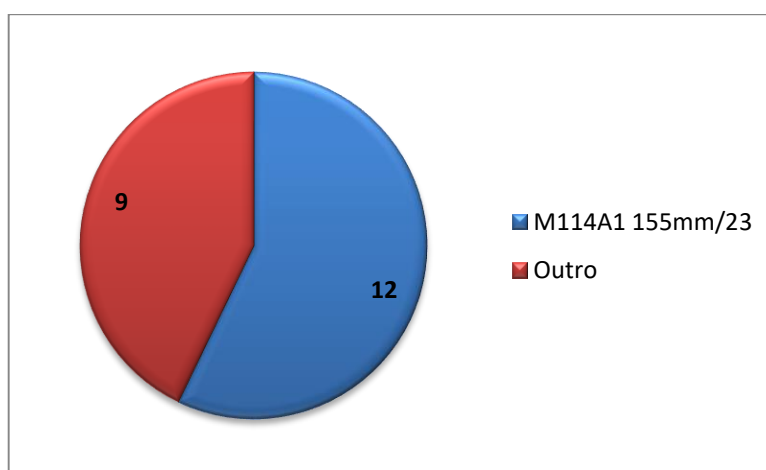


Figura 15 – Tipo de Material

Fonte: Criada pelo Autor

Também não foi especificado pelos autores das respostas qual o material utilizado quando responderam “outro”. Esta questão é uma questão informativa e não teve impacto no desenvolvimento da calculadora de tiro.

3. Quanto tempo, em média, demora desde que o calculador obtém os Elementos Topográficos vindos dos operadores de prancheta até obter os Elementos de Tiro numa missão de tiro?

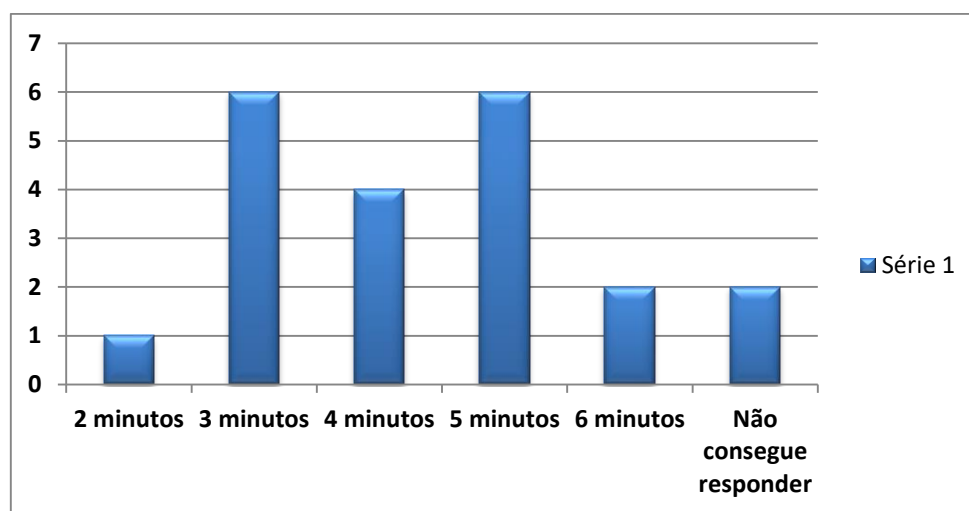


Figura 16 – Tempo Médio de obtenção de Elementos de Tiro

Fonte: Criada pelo Autor

Esta questão foi colocada com o intuito de perceber quão facilitador em termos de tempo de cálculo poderia a calculadora de tiro ser em relação ao processo manual de obtenção dos Elementos de tiro. Pelas respostas observa-se que o tempo médio até à obtenção dos Elementos situa-se entre os três minutos e os cinco minutos.

Em comparação com a calculadora de tiro desenvolvida melhorou-se consideravelmente esta questão, visto que a calculadora consegue obter os Elementos de tiro em segundos, isto porque o cálculo é automático e depende apenas da velocidade de inserção dos dados por parte do calculador dos Elementos Topográficos, fornecidos estes pelos operadores de prancheta.

4. Quais as funcionalidades/requisitos que considera mais importantes numa calculadora de tiro?

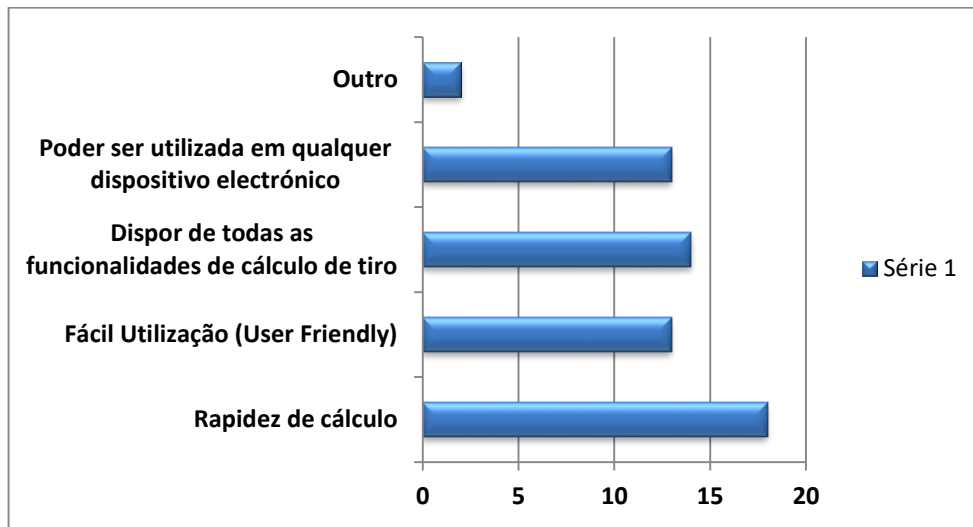


Figura 17 – Funcionalidades/Requisitos mais importantes

Fonte: Criada pelo Autor

Esta questão está diretamente ligada com a calculadora de tiro, ao perceber quais as necessidades que os militares necessitam que seja capaz de realizar.

1. **Rapidez de Cálculo:** este fator foi claramente atingido, como foi descrito na resposta anterior a calculadora consegue obter os Elementos de Tiro em questão de segundos.
2. **Dispor de todas as funcionalidades de cálculo de tiro:** A calculadora de tiro que foi desenvolvida consegue calcular missões de tiro de área com granada HE, Fumos e com granada Iluminante, consegue ainda calcular preparações teóricas concorrentes e subsequentes, pontos médios de percussão e tempos, correções de posição e especiais e preparações experimentais ABCA. De referir também que a calculadora serve apenas como um meio facilitador de cálculo para o calculador, não sendo esta um sistema completo de tiro que consegue integrar a parte da direção técnica e tática do tiro como é caso do BCS.
3. **Fácil Utilização (User Friendly):** No desenvolvimento da calculadora tentou-se simplificar as *views* (funcionalidades) ao diferenciar por cores o que são dados a

serem inseridos pelo utilizador e o que é calculado pela calculadora. Também foram inseridos botões para ser mais fácil a navegação na mesma, bem como a sua utilização, foram acrescentadas ainda mensagens de erro aquando do utilizador inserir alguns dados de forma incorreta e ainda limitado o tipo de inserção de dados em algumas células.

4. **Poder ser utilizada em qualquer dispositivo eletrónico:** Esta era uma das funcionalidades que se pretendia desenvolver, visto que o seu interesse era o de poder utilizar a calculadora em qualquer circunstância, quer em sala didaticamente quer em exercício a partir de qualquer aparelho. No entanto devido à limitação da dificuldade versus tempo de execução não foi possível a realização da mesma, podendo no futuro ser feita esta funcionalidade.

5. **Outro:** Existiram ainda outras duas respostas em que a primeira foi: “Robustez e fiabilidade na construção; Se for de bateria, longa duração da mesma” e “interoperabilidade”. Em resposta à primeira visto que a calculadora foi desenvolvida para ser utilizada em computador a robustez, fiabilidade e duração da bateria têm a ver com o mesmo, no entanto sendo possível ser acessível de qualquer dispositivo eletrónico poder-se ajustar estes critérios consoante o dispositivo. Em termos de interoperabilidade, a calculadora foi desenvolvida com o intuito de ser utilizada como um só, como uma ferramenta facilitadora do trabalho do calculador não se colocando em questão a sua interoperabilidade com outro material.

Capítulo 5

Calculadora de Tiro

A calculadora de tiro foi desenvolvida com base nas TTN, por esse mesmo motivo a primeira coisa a fazer foi passar as tabelas todas para o Excel da carga 1GB. A escolha do Excel não foi uma escolha óbvia pois existem diversas linguagens em que é possível desenvolver a calculadora e programar o necessário.

Uma das razões para a escolhas do Excel é que uma plataforma acessível a praticamente todos os utilizadores, e porque o programa foi realizado em vista a ser utilizado maioritariamente por um computador. Foi toda desenvolvida em Excel com as funções do mesmo, e outras partes foram desenvolvidas com o *Visual Basic for Applications (VBA)*.

O produto final está dividido em funcionalidades, por diferentes telas que são acessíveis pelo menu principal²⁶ da calculadora, e é sempre acessível a partir de qualquer outra das telas. O conteúdo, disposição e tipo de visualização mantem-se em todas as telas, o que permite que o usuário ao saber utilizar uma das telas, não note grande diferença para as outras e consiga desde logo funcionar com todas elas.

Visto que o Excel não elimina automaticamente os dados ao trocarmos de tela, esta também é uma funcionalidade importante pois o utilizador pode estar a realizar uma missão de tiro e surgir outra com mais urgência, trocar de telas e resolver a nova missão sem que o que tinha feito para a anterior se perca.

O utilizador só vai interagir com o programa de duas formas básicas, a primeira será em todas as células laranjas, onde o utilizador deve escrever informação e nos botões para navegar dentro da calculadora e para calcular o que for preciso dentro de cada tela.

Processo este que passou por três fases fundamentais, a primeira fase foi passar a Carga 1 da TTN do material M114A1 155mm/23 para o *software* Excel, a segunda fase passou por criar todas as telas da calculadora com o Excel (Apêndice C), e a terceira fase foi com o Excel e com o código escrito em VBA (Apêndice D) reproduzir todos os cálculos de tiro que se fazem manualmente para o programa.

²⁶ Apêndice C – Tela Inicial

5.1. Tabelas da TTN

Inicialmente e como foi visto anteriormente o processo escolhido para o desenvolvimento da calculadora de tiro, foi obter os Elementos de Tiro a partir das tabelas da TTN, para isto mesmo acontecer o primeiro passo foi passar as tabelas da TTN para o Excel. Como se segue o seguinte exemplo da tabela F:

CHARGE		TABLE F							FT 155-0-4	
IC		BASIC DATA							PROJ. HE. M107 FUZE. PD. M557	
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
R A N G E	E L E V	D E L E V 100 M DR	F S F O R G R A Z E B U R S T F U Z E M 5 6 4	D R P E R I O D E L E V	F O R M K	T I M E O F F L I G H T	A Z I M U T C O R R E C T I O N S			
M	MIL	MIL	FS	M	MIL	SEC	DRIFT (CORR TO L)	CW OF I	KNOT	MIL
0	0.0	11.7		9	1	0.0	0.0	0.0		0.00
100	11.7	11.7		8	1	0.5	0.3	0.02		0.03
200	23.4	11.8		8	1	1.0	0.5	0.03		0.03
300	35.2	11.9		8	1	1.5	0.8	0.03		0.03
400	47.1	11.9	1.9	8	1	2.0	1.1	0.04		0.04
500	59.1	12.0	2.4	8	2	2.5	1.3	0.04		0.04
600	71.1	12.1	2.9	8	2	3.0	1.6	0.05		0.05
700	83.1	12.2	3.4	8	2	3.5	1.9	0.05		0.05
800	95.6	12.3	3.9	8	2	4.0	2.2	0.06		0.06
900	108.0	12.5	4.4	8	3	4.5	2.4	0.06		0.06
1000	120.5	12.6	4.9	8	3	5.0	2.7	0.07		0.07
1100	133.2	12.7	5.4	8	3	5.5	3.0	0.07		0.07
1200	146.0	12.9	5.9	8	4	6.0	3.3	0.08		0.08
1300	159.0	13.1	6.4	8	4	6.6	3.6	0.08		0.08
1400	172.2	13.3	7.0	8	4	7.1	3.9	0.09		0.09
1500	185.5	13.5	7.5	7	5	7.6	4.2	0.09		0.09
1600	199.1	13.7	8.0	7	5	8.2	4.5	0.10		0.10
1700	212.9	13.9	8.6	7	6	8.7	4.9	0.10		0.10
1800	226.9	14.2	9.1	7	6	9.3	5.2	0.11		0.11
1900	241.2	14.4	9.7	7	6	9.9	5.5	0.12		0.12
2000	255.8	14.7	10.3	7	7	10.4	5.9	0.12		0.12
2100	270.7	15.1	10.9	7	7	11.0	6.3	0.13		0.13
2200	286.0	15.4	11.4	6	8	11.6	6.6	0.14		0.14
2300	301.6	15.8	12.0	6	9	12.2	7.0	0.14		0.14
2400	317.6	16.3	12.7	6	9	12.8	7.4	0.15		0.15
2500	334.2	16.8	13.3	6	10	13.5	7.8	0.15		0.15
2600	351.2	17.3	13.9	6	11	14.1	8.2	0.16		0.16
2700	368.9	18.0	14.6	6	12	14.8	8.7	0.17		0.17
2800	387.2	18.7	15.3	5	13	15.5	9.2	0.17		0.17
2900	406.2	19.5	16.0	5	14	16.2	9.7	0.18		0.18
3000	426.2	20.5	16.7	5	15	16.9	10.2	0.19		0.19
3100	447.3	21.7	17.5	5	17	17.7	10.8	0.20		0.20
3200	469.6	23.1	18.3	4	18	18.5	11.4	0.21		0.21
3300	493.4	24.9	19.1	4	20	19.3	12.1	0.22		0.22
3400	519.3	27.2	20.0	4	23	20.3	12.8	0.23		0.23
3500	547.8	30.3	21.0	3	27	21.2	13.7	0.24		0.24

Figura 18 – Tabela F da Tábua de Tiro Numérica

Fonte: Criado pelo Autor

Merquilha ste	Distância	Alça	van Alça para 100 m	G Esp	Δ Dist provocar Δ 1 mil alça	Forquilha	Duração de Trajetória	Correção da Derivação	Corr devida ao vento Transversal	Δ FS
M0	0	0.0	11.7	0.0	9	1	0.0	0.0	0.00	
M10	10	1.2	11.7	0.0	9	1	0.1	0.0	0.00	
M20	20	2.3	11.7	0.0	9	1	0.1	0.1	0.00	
M30	30	3.5	11.7	0.0	9	1	0.2	0.1	0.01	
M40	40	4.7	11.7	0.0	9	1	0.2	0.1	0.01	
M50	50	5.9	11.7	0.0	9	1	0.3	0.2	0.01	
M60	60	7.0	11.7	0.0	9	1	0.3	0.2	0.01	
M70	70	8.2	11.7	0.0	9	1	0.4	0.2	0.01	
M80	80	9.4	11.7	0.0	9	1	0.4	0.2	0.02	
M90	90	10.5	11.7	0.0	9	1	0.5	0.3	0.02	
M100	100	11.7	11.7	0.0	9	1	0.5	0.3	0.02	
M110	110	12.9	11.7	0.0	9	1	0.6	0.3	0.02	
M120	120	14.0	11.7	0.0	9	1	0.6	0.3	0.02	
M130	130	15.2	11.7	0.0	9	1	0.7	0.4	0.02	
M140	140	16.4	11.7	0.0	9	1	0.7	0.4	0.02	
M150	150	17.6	11.8	0.0	9	1	0.8	0.4	0.03	
M160	160	18.7	11.8	0.0	8	1	0.8	0.4	0.03	
M170	170	19.9	11.8	0.0	8	1	0.9	0.4	0.03	
M180	180	21.1	11.8	0.0	8	1	0.9	0.5	0.03	
M190	190	22.2	11.8	0.0	8	1	1.0	0.5	0.03	
M200	200	23.4	11.8	0.0	8	1	1.0	0.5	0.03	
M210	210	24.5	11.8	0.0	8	1	1.1	0.5	0.03	
M220	220	25.8	11.8	0.0	8	1	1.1	0.6	0.03	
M230	230	26.9	11.8	0.0	8	1	1.2	0.6	0.03	
M240	240	28.1	11.8	0.0	8	1	1.2	0.6	0.03	
M250	250	29.3	11.9	0.0	8	1	1.3	0.7	0.03	
M260	260	30.5	11.9	0.0	8	1	1.3	0.7	0.03	
M270	270	31.7	11.9	0.0	8	1	1.4	0.7	0.03	
M280	280	32.8	11.9	0.0	8	1	1.4	0.7	0.03	
M290	290	34.0	11.9	0.0	8	1	1.5	0.8	0.03	
M300	300	35.2	11.9	0.0	8	1	1.5	0.8	0.03	
M310	310	36.4	11.9	0.2	8	1	1.6	0.8	0.03	
M320	320	37.6	11.9	0.4	8	1	1.6	0.9	0.03	
M330	330	38.8	11.9	0.6	8	1	1.7	0.9	0.03	
M340	340	40.0	11.9	0.8	8	1	1.7	0.9	0.03	
M350	350	41.2	11.9	1.0	8	1	1.8	1.0	0.04	
M360	360	42.3	11.9	1.1	8	1	1.8	1.0	0.04	
M370	370	43.5	11.9	1.3	8	1	1.9	1.0	0.04	
M380	380	44.7	11.9	1.5	8	1	1.9	1.0	0.04	
M390	390	45.9	11.9	1.7	8	1	2.0	1.1	0.04	
M400	400	47.1	11.9	1.9	8	1	2.0	1.1	0.04	
M410	410	48.3	11.9	2.0	8	1	2.1	1.1	0.04	

Figura 19 – Tabela F em Excel

Fonte: Criado pelo Autor

Cada tabela constante das TTN foi passada à mão para o computador, e as interpolações foram realizadas através da fórmula para interpolar. No caso das Tabelas F e G foi feita uma interpolação dos valores inseridos de 100 em 100 metros para cada 10 metros correspondentes para obtenção de maior precisão nos cálculos efetuados. Como é possível observar foram acrescentadas nas tabelas Excel duas colunas antes da Distância, que são o tipo de trajetória e a junção entre as duas, isto porque para utilizar a função do Excel *vlookup* só se pode procurar por um valor na vertical e visto que existem valores repetidos de distância para os dois tipos de trajetória foi necessário diferenciá-los assim, o que faz com que o utilizador em todas as Telas de cálculo tenha de indicar o tipo de trajetória.

5.2. Telas da Calculadora de Tiro e Código em VBA

No apêndice B pode-se observar todas as telas da calculadora de tiro, que correspondem em si a cada tipo missões de tiro em que o calculador se possa auxiliar para a sua realização. As características de cada tela mantêm-se de umas para as outras, para facilitar o utilizador aquando da sua utilização, isto porque as células de inserção de dados estão todas pintadas de cores iguais consoante o seu tipo de utilização.

5.2.1 Meteograma

A tela do Meteograma²⁷ foi desenvolvida com base a facilitar a inserção dos dados pelo utilizador ao ser igual ao formato que este recebe esta mensagem, sendo assim o mesmo só tem de inserir no espaço destinado a tal e a conversão para as preparações teóricas é feita automaticamente.

5.2.2 Tiro Iluminante

Na tela de tiro com granada Iluminante²⁸ o utilizador insere os dados iniciais nas células a laranja e com esses valores automaticamente são calculadas as células a branco,

²⁷ Consultar no Apêndice B – Figura 36

²⁸ Consultar no Apêndice B – Figura 29

como (Altura de Rebentamento, 100/R, 500/R). Após isso o utilizador carrega no botão calcular acionando assim o código VBA²⁹ que fará com que apareça a/as linha/s nos comandos subsequentes consoante o tipo de escalonamento escolhido que apresentará assim os Elementos de Tiro. A Altura de Rebentamento é atualizada sempre que o utilizador insere uma nova correção de Altura de Rebentamento. O utilizador pode também Limpar todos os dados que inseriu para iniciar uma nova missão de tiro ou limpar apenas a grelha dos comandos subsequentes se for necessário mais linhas para a decorrente missão de tiro.

O código foi escrito por uma ordem sucessiva ou seja para cada elemento que tem de sair nos comandos subsequentes (Granada, Espoleta, GEp, Direção, Elevação, etc..) existe uma linha ou linhas de códigos correspondentes e visto que o tipo de Escalonamento influencia o número de pelotões que executam tiro e conseqüentemente o número de linhas que saem nos comandos subsequentes, também estas foram diferenciadas no número casos que são identificados como ('op1, 'op2, 'op3, 'op4).

5.2.3 Tiro Fumos

Este tipo de tiro foi diferenciado em duas telas, uma para tiro de Fumos imediato e outra para Tiro de Fumos, isto porque a segunda exige mais informação que a primeira não implica, pois esta exige rapidez.

Na tela de tiro de Fumos Imediato³⁰ o utilizador insere os dados iniciais nas células a laranja e com esses valores automaticamente são calculadas as células a branco à direita, como (Ângulo de Sitio, Sitio, Alça, etc..) e posteriormente tal como no tiro Iluminante carrega no botão calcular e o código³¹ é executado.

Na tela de tiro de Fumos³² o utilizador procede da mesma forma que nas telas anteriores, existindo as diferenças de poder calcular para o peso normal da granada HE ou para a diferença de pesos entre a granada HE e HC/WP existindo assim dois botões de calcular que executa também os códigos³³ correspondentes e de recorrer também aos cálculos auxiliares de tiro em que as tabelas correspondentes foram também escritas em Excel:

²⁹ Consultar no Apêndice C – Figura 39

³⁰ Consultar no Apêndice B – Figura 27

³¹ Consultar no Apêndice C – Figura 38

³² Consultar no Apêndice B – Figura 28

³³ Consultar no Apêndice C – Figura 38

			NºPel	
Cauda/FrenteWP100	Cauda/Frente	WP	100	1
Cauda/FrenteWP200	Cauda/Frente	WP	200	2
Cauda/FrenteWP300	Cauda/Frente	WP	300	3
Cauda/FrenteHC100	Cauda/Frente	HC	100	1
Cauda/FrenteHC200	Cauda/Frente	HC	200	2
Cauda/FrenteHC300	Cauda/Frente	HC	300	3
TransversalWP200	Transversal	WP	200	1
TransversalWP300	Transversal	WP	300	2
TransversalWP400	Transversal	WP	400	3
TransversalHC400	Transversal	HC	400	1
TransversalHC500	Transversal	HC	500	2
TransversalHC600	Transversal	HC	600	3

			Cadência
Ideal5HC	Ideal	5 HC	0,5
Ideal5WP	Ideal	5 WP	0,5
Favorável5HC	Favorável	5 HC	0,5
Favorável10HC	Favorável	10 HC	1
Favorável15HC	Favorável	15 HC	1,5
Favorável5WP	Favorável	5 WP	1
Favorável10WP	Favorável	10 WP	2
Favorável15WP	Favorável	15 WP	3
Adversa5HC	Adversa	5 HC	1,5
Adversa5WP	Adversa	5 WP	0

Figura 20 – Tabelas auxiliares de Tiro de Fumos

Fonte: Criado pelo Autor

5.2.4 Tiro de Área com Granada HE

Esta tela funciona da mesma forma que as duas apresentadas anteriormente com as células de inserção da mesma forma e o botão de calcular executando o código³⁴ correspondente.

5.2.5 Preparações Teóricas

Tanto as telas da Preparação Teórica Concorrente³⁵ como a Subsequente³⁶ são bastante semelhantes na sua utilização. As células de inserção de dados estão todas pintadas de cor laranja, as células a branco correspondem a células que são cálculos efetuados pelo Excel, a azul são as células que provêm da tela do Meteograma, informação esta que também é inserida pelo utilizador quando resolver Preparações Teóricas, a vermelho claro são as células que recorrem ao cálculo através do código VBA.

No caso da Preparação Teórica Concorrente o utilizador tem de preencher inicialmente os botões que correspondem a (Dados Iniciais, Meteograma, Z), e também as células laranjas e depois sim carregar no botão calcular para executar o código VBA.

³⁴ Consultar no Apêndice B – Figura 26

³⁵ Consultar no Apêndice B – Figura 34

³⁶ Consultar no Apêndice B – Figura 35

Para compreender como funciona o código vai ser apresentada a sua explicação mais detalhada sob um caso concreto da Preparação Teórica Concorrente (Cálculo da linha correspondente na Preparação Teórica Concorrente (TabAPTC_Linha).

Para o primeiro caso o código³⁷ da Preparação Teórica concorrente:

```
Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(14, 9).Value = "ERRO"
```

significa que vai ser apresentado a mensagem ERRO caso não exista um valor encontrado.

A instrução,

```
Elv_Reg = Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(8, 5).Value
```

identifica a célula que pretendemos preencher com valores. A instrução,

```
For i = 5 To 9
```

inicia um ciclo For em que irá procurar na Tabela A nas linhas Excel 5 a 9. A instrução,

```
If (Worksheets("Tabela A").Cells(i, 1).Value <= Elv_Reg)
```

estabelece uma condição em que “SE” o valor procurado na Tabela A for menor ou igual ao valor preenchido na Preparação Teórica Concorrente identificado como “Elv_Reg” então acontece o que está na linha seguinte

```
Then Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(14, 9).Value =  
Worksheets("Tabela A").Cells(i, 2).Value
```

que significa que retorna o valor correspondente na 2ª coluna da Tabela A, fechando o ciclo com uma condição “If” e percorrendo o ciclo For com a linha “Next I”.

No resto do código, foram utilizados diferentes “Sub’s” para cada valor correspondente a ser procurado nas tabelas, recorrendo a ciclos “For”, “While” e “If”.

³⁷ Consultar no Apêndice C – Figura 42

Depois recorrendo a um “Sub” apenas que chamasse os outros todos estando este como Macro dos botões “Calcular” correspondentes.

5.2.6 ABCA

A Tela ABCA³⁸, funciona da mesma forma que as outras Telas, o utilizador insere os dados nas células laranjas, e as outras são calculadas automaticamente e segunda o botão calcular.

5.2.7 PMP-PMT

A Tela da PMP-PMT³⁹ funciona da mesma forma que as anteriores, preenchendo o utilizador as células a laranja e as células a branco sendo calculadas automaticamente com os valores das outras.

Um exemplo do cálculo por exemplo da célula “Rumo O1-> O2” tendo em conta os quadrantes é:

```
"=SE( (E(J6>0;K6>0)); ABS( ATAN( (E7-E6)/(F7-F6) ) * 1018,59 );  
SE( (E(J6>0;K6<0) ); 3200 ABS( ATAN( (E7-E6) / (F7-F6) ) * 1018,59);  
SE( (E(J6<0;K6<0) ); 3200 + ABS( ATAN( (E7-E6)/(F7-F6) ) * 1018,59);  
SE( (E(J6<0;K6>0) ); 6400 - ABS( ATAN( (E7-E6)/(F7-F6) ) * 1018,59); )))"
```

Depois de determinados os Elementos de Regulação o utilizador carrega no botão de calcular e são assim apresentadas a Distância e GEp para a alça correspondente.

5.2.8 Correções de Posição/Especiais

A Tela das Correções de Posição/Especiais⁴⁰, funcionam da mesma forma que as anteriores, preenchendo o utilizador as células a laranja e as células a branco sendo calculadas automaticamente com os valores das outras, tendo a característica destas de serem iguais ao impresso em papel das mesmas que é preenchido pelo calculador no cálculo manual.

³⁸ Consultar no Apêndice B – Figura 30

³⁹ Consultar no Apêndice B – Figura 31

⁴⁰ Consultar no Apêndice B – Figura 32 e Figura 33

Capítulo 6

Casos de Estudo

6.1. Demonstração de funcionamento

De seguida vai se demonstrar para cada um dos casos, inicialmente como o calculador resolveria manualmente e como a calculadora resolve a obtenção dos Elementos de tiro.

Caso 1 – Cálculo Manual – Tiro Iluminante

Registo de Tiro																
PEDIDO DE TIRO IDENT OBSV R38 (REO) / EF / SUP / SUP IMD _____ OBJ _____ DESVIOS _____ /POLAR _____ ESCUTO _____ COORDENADAS: 639.398.385 RUMO _____ DESVIOS: RUMO _____ Esp/Dre _____ Alg/Enc _____ Az/Ab _____ POLAR: RUMO _____ Dist _____ Az/Ab _____ < Si ESCUTO _____ DESCRIÇÃO DO OBJECTIVO: Suspeita de Pel Mec MÉTODO DE ATAQUE: ILUM, Escalonamento em Dist e Dç MÉTODO DE TIRO E CONTROLO: _____ ESCUTO _____										Cota Obj 385 Cota Btr 295 $\Delta Z = +90 \approx +100$ Alt Reb = 600 + 100 = 700 m			Δ PS 100/R 15 500/R 75 20/R _____			
ORDEM DE TIRO Pel Dta e Esg, ILUM, Lote PY, Ep T, Escalon Dist e Dç, AMV COMANDO DE TIRO INICIAL (MT) MEC.TIRO Pel Dta e Esg, Reg Dist 7000 DÇ TOPO 3210 CORR DÇ _____ INST. ESPEC. AMV, Cor Esp Gr ILL _____ Lote PY _____ Cg 5GB _____ Ep T _____ GEp _____ DÇ _____ MPO 2 Pel < OBS _____ Ex _____ DUR TRAJ _____ nEF _____ Nº TIROS _____										CORR DÇ _____			CORR ALT REB _____			
OBJ	LOCALIZ	PRIORID	IN. EXEC	COMANDOS DE TIRO SUBSEQUENTES												
RUMO, Mec Tr, Gr, Ep	CORR DÇ	CORR DST	CORR ALT	Mec Tr, Gr, Cg, Ep	CORR Ep	GEp	DÇ TOP	CORR DÇ ()	DÇ	DIST TOP	CORR ALT REB ()	SI	ALÇA	ELEV	GASTA	TIPO
				# 1		23,8	3210	D 75	3135	7000				523	(1)	
				# 2		26,6	3210	0	3210	7500				561	(2)	
				# 5		21,3	3210	0	3210	6500				492	(3)	
				# 6		23,8	3210	E 75	3285	7000				523	(4)	ILL/T ✓
				FM	FM											
BTR A GDH 291350Abr14 OBJ _____ COORD DE REMARCAÇÃO _____ COTA DE REMAR _____																

Figura 21: Missão de Tiro Iluminante (Academia Militar, 2016)

Da mesma forma que numa missão normal com granada HE, o objetivo é implantado na prancheta topográfica e são determinados os elementos topográficos. No tiro com granada iluminante o tiro depende do método de ataque⁴¹, o que vai afetar cada um dos Elementos de tiro consoante o escolhido.

⁴¹ Existem quatro métodos de ataque/iluminação: Com uma boca de fogo (iluminação produzida disparando tiro a tiro, com um intervalo adequado); Escalonamento em distância com duas bocas de fogo (quando a área

1. A Direção é determinada recebendo a Direção topográfica dos operadores de prancheta, e posteriormente determina-se o valor de $100/R$ manualmente pela fórmula do milésimo⁴², em que se vai utilizar o $500/R$ para somar ou subtrair às direções respectivas das bocas de fogo consoante o método de ataque.
2. As tabelas da TTN dão para cada 100 metros de distância, a Elevação e Graduação de Espoleta, para uma altura de rebentamento ótima de 600 metros e dão, igualmente, as correções da Elevação e de Graduação de Espoleta, para um aumento de 50 metros na altura de rebentamento, estes valores são procurados pelo calculador um por um na TTN.
3. Caso a altura de rebentamento mude da altura ótima (600 metros), tem de ser corrigida, e essas correções são feitas em incrementos de 50 metros. A correção total da altura de rebentamento é determinada, somando as sucessivas correções de altura de rebentamento com a diferença de cotas (entre a bateria e o objetivo).
As correções de Elevação e Graduação de Espoleta são determinadas segundo os seguintes passos: dividindo a diferença de cotas por 50 para determinar o número de incrementos de 50 metros; Determinando o valor indicado na TTN para uma correção da Elevação e Graduação; Multiplicar o número de incrementos de 50 metros, pelos valores obtidos da TTN, para obter a correção da Elevação e da Graduação de Espoleta.

Caso 1 – Calculadora de Tiro – Tiro Iluminante

Como é observado no Apêndice C – Iluminante, o utilizador tem de inserir as células que se encontram pintadas a laranja, desde o tipo de granada, à distância que pretende, direção entre outros. Depois deve escolher o tipo de escalonamento/método de ataque, e depois de preenchidos os dados a laranja, o utilizador só tem de carregar no botão “Calcular”, e nas linhas da grelha na parte de baixo são apresentados os Elementos de tiro conforme as escolhas feitas pelo utilizador. Sempre que exista uma alteração na Altura de rebentamento, o mesmo só tem de a inserir no local “Correção Alt. Rebenta.” e todas as vezes em que o fizer vai acumular à altura de rebentamento anterior.

a iluminar te a sua maior dimensão em profundidade); Escalonamento em direção com duas bocas de fogo (quando a área a iluminar tem uma largura superior à profundidade); Escalonamento em distância e direção com quatro bocas de fogo (quando a área a iluminar é de grandes dimensões) (Academia Militar, 2016).

⁴² Dividindo 100 pela distância em quilómetros e multiplicando por 1,0186 (Facto de correção utilizado quando se utiliza fórmula do milésimo analiticamente)

Caso 2 – Cálculo Manual – Preparação Experimental PMP-PMT


 S. R. MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL EXÉRCITO PORTUGUÊS ARMA DE ARTILHARIA Tiro de Art de Camp		REGULAÇÃO DE PRECISÃO PMP/PMT		RM (ZM) _____ Un (Estb) _____ Data _____
INFORMAÇÃO TOPOGRÁFICA			MENSAGEM DE ORIENTAÇÃO	
Coordenadas	01	40820.58310.150		O1 , O2 , Aqui PCT Observem PMR(PMT) (K) O1 Rumo 0621 Âng. Sit + 8 Meça Âng. Sit. (K)
	02	39600.58440.130		
Rumo 0 ₁ → 0 ₂		4908 (m)		O2 Rumo 1013 Âng. Sit + 13 (K)
Distância 0 ₁ 0 ₂ ^(b)		1227 (m)		Informem Quando Prontos (K)

Figura 22: Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos (Academia Militar, 2016)

Numa primeira fase o calculador tem de escrever as coordenadas dos dois Oav's e calcular os valores do Rumo entre O1 → O2, tendo em conta o quadrante em que se encontram e a fórmula de cálculo de Rumos⁴³, bem como a distância entre os dois pela fórmula de distância entre dois pontos⁴⁴.

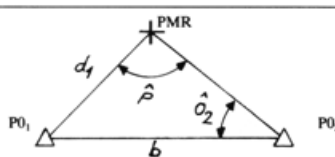
OBSERVAÇÕES				CÁLCULO		
No	P0 ₁		P0 ₂			
	TIRO	R ₁ - (Rumo) (m)	∠ Si (m)	R ₂ - (Rumo) (m)		
1	0611	+22	1010			
2	0608	+20	1012			
3	0605	+22	1008			
4	0609	+23	1010			
5	0610	+21	1009			
6	0607	+23	1007			
7						
8						
9						
10						
Soma	3650	+ 131	6056		$\angle p = R_1 - R_2 $ Se $\angle p > 3200$, Subtrair de 6400 (m)	$\angle p = 0608 - 1009 $ = 401 mils
PMR (média)	0608 (m)	+ 22 (m)	1009 (m)		$\angle \theta_2 = R_{0_1 \rightarrow 0_2} - R_{PMR \rightarrow 0_1} $ Se $\angle \theta_2 > 3200$, subtrair de 6400 (m)	$\angle \theta_2 = 4908 - 4209 $ = 699 mils
			± 3200 (m)		$d_1 = \frac{b \text{ sen } \theta_2}{\text{sen } p}$	$d_1 = \frac{1227 \times \text{sen}(699 \times 0,05625)}{\text{sen}(401 \times 0,05625)}$ = 2027 ≈ 2030 m
			Rumo PMR → 0 ₂	4209 (m)		

Figura 23: Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos (Academia Militar, 2016)

⁴³ $\tan^{-1} \left(\frac{dE}{dN} \right) * 1018,59$ (Constante de conversão de radianos para milésimos)

⁴⁴ $\sqrt{dE^2 + dN^2}$

Numa segunda fase o calculador tem de apontar todos os valores que foram observado por cada OAv, somá-los e fazer a sua média. Posteriormente realizar os cálculos descritos na figura 12 na parte à direita denominada por “Cálculo”.

CÁLCULO DAS COORDENADAS DO PONTO MÉDIO						
$dE = d_1 \text{ sen } R_1 = + 1139 \text{ m}$	+	E do P0 ₁ = 40820	=	PMR	E	41959
$dN = d_1 \text{ cos } R_1 = + 1676 \text{ m}$		N do P0 ₁ = 39600			N	59986
$dC = d_1 \text{ tg } \alpha \text{ Si} = + 44 \text{ m}$		C do P0 ₁ = 150			C	194
ELEMENTOS TOPO DO PMR (Prancheta/Analítico):				Dc: 0101 (m)	Distância: 7790 (m)	

Figura 21: Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos (Academia Militar, 2016)

Numa terceira fase o calculador analiticamente determina as diferenças de coordenadas dE (Diferença de Estes), dN (Diferença de Nortes) e a diferença de cotas dC entre o OAv1 e o ponto médio. Com estes valores determinam-se as coordenadas do ponto médio como é demonstrado na figura 13. Neste caso a localização do PM seria de (coordenadas 41959.59986.194). Posteriormente, ou através da prancheta topográfica ou analiticamente o calculador determina os Elementos Topográficos do ponto médio: A direção tendo de converter um Rumo lido na prancheta para uma direção dependente do material em questão; A distância é calculada como para a figura 11.

ELEMENTOS TOPO DO PMR (Prancheta/Analítico):				Dc: (m)	Distância: (m)
Cálculo COR. Dc		Cálculo Sítio PMR		Cálculo ALÇA REG.	
Dc Reg	0091 (m)	Cota PMR	194 (m)	Elev Reg	465 (m)
Dc Topo	0101 (m)	Cota BTR	- 200 (m)	SÍTIO	-(-1) (m)
TOT Dc	E10 (m)	ΔC	- 6 (m)	ALÇA REG	466 (m)
Cor. Deriv.	-E12 (m)	Dist Top do PMR	7790 (m)	GDH	
Dc TTG	D2 (m)	SÍTIO	- 1 (m)		
Ref TTG: B Gr HE , Lt X , CG 6 , Dist 7790 , ALÇ 466 , G Esp 31.1					
				Corr Tot Dç: E10 Corr Dç TTG: D2	

Figura 24: Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos (Academia Militar, 2016)

Numa quarta fase o calculador tem de resolver o que é apresentado na figura 14. Para obter a correção total de direção subtrai da direção de regulação a direção topográfica, e a esse resultado subtrai a correção de derivação que vai procurar na TTN para obter a direção para TTG. Depois efetua a diferença de cotas entre a bateria e o ponto médio de rebentamentos e calcula o sítio recorrendo também à TTN. Por fim a Elevação de Regulação é a Elevação com que foram feitos os 6 tiros na Regulação para obter o PMP/PMT. Subtraindo o valor do sítio a esta Elevação, tem-se a Alça de Regulação.

Caso 2 – Calculadora de Tiro – Preparação Experimental PMP-PMT

Como é observado no Apêndice C – Preparação Experimental PMP-PMT, o utilizador insere nas células que se encontram pintadas a laranja à semelhança de todas as outras telas/funções da calculadora. Depois de preenchidas todas as células respetivas a laranja, a informação inicial, observações (células a branco), cálculo, cálculo das coordenadas do ponto médio, determinação dos elementos de regulação e o “Z” são todos preenchidos automaticamente, recorrendo às fórmulas de cálculo e às TTN.

Capítulo 7

Conclusões e recomendações

Conclusões

É neste capítulo que culmina toda o desenvolvimento e investigação do TIA em si e mediante isso refletir sobre os resultados alcançados e direções de trabalho de melhoria.

Ao longo do trabalho foi possível recolher informação relacionada com o desenvolvimento deste tipo de *software*, e o seu funcionamento e os métodos para a obtenção dos Elementos de Tiro, o que se considera fundamental para complementar a realização do cálculo do tiro manualmente.

O objetivo principal deste trabalho era o de conseguir desenvolver uma ferramenta, neste caso uma calculadora de tiro automática que facilitasse o trabalho de cálculo do calculador durante uma missão de tiro, e isso foi alcançado com sucesso, isto porque se conseguiu atingir os requisitos de melhorar a velocidade de obtenção dos Elementos de Tiro comparativamente com o cálculo manual e o desenvolvimento das funcionalidades de cálculo de tiro, como é demonstrado nos capítulos 5 e 6. Relativamente ao estado inicial, aquando do estudo dos materiais de cálculo em utilização pelo Exército Português constatou-se que não existia uma ferramenta de cálculo de tiro direcionada especificamente para o calculador, sendo assim o desenvolvimento deste produto uma ferramenta para ser utilizada pelos mesmos e também em sala de aula em contexto didático.

Em termos de benefícios, estes estão ligados diretamente com os requisitos alcançados, ou seja, com a possibilidade de com a calculadora de tiro se consiga realizar o que foi afirmado pelos militares questionados.

Recomendações

Da análise dos modelos de trajetória e dos modelos matemáticos pode surgir uma calculadora que efetivamente não precisa de recorrer às TTN, no entanto para tal ser feito sugiro que seja desenvolvido um trabalho de pesquisa somente focado nessa área e que nesse sentido se desenvolva uma calculadora de tiro com base nesses modelos, o que aquando da aquisição/desenvolvimento de um novo tipo de projétil, não seja necessário

realizar tiros balísticos para a construção de uma nova TTN para esse mesmo, o que vinha facilitar, caso o CINAMIL acabe o projeto do FIREND, a sua entrada em efetividade de utilização.

Finalmente, a recomendação que sugiro é conseguir digitalizar as tabelas todas da TTN para o Excel por forma à calculadora conseguir fazer os cálculos para qualquer tipo de carga, podendo assim abranger maior distância para o material em questão. E visto que o trabalho base está realizado, ou seja, a estrutura da calculadora e os cálculos estão todos implementados e a funcionar, sugere-se então, que se utilize também para outros materiais atuais ou que futuramente se adquiram pelo Exército Português. Outra questão que pode ser abordada é a questão da calculadora poder ser utilizada a partir de qualquer dispositivo eletrónico, o que seria um elemento facilitador para a sua utilização, pois facilmente era utilizada em sala de aula num computador, telemóvel ou mesmo num Tablet em exercício. Um dos produtos que também estava para ser testado era o *PRODAS* que é um *software* de simulação balística que funciona como um simulador de trajetória, que também era um dos objetivos que não foi alcançado no TIA. Acredito assim que com o sistema de pesquisa por valores na TTN para todas as cargas, com um modelo de trajetória e modelo matemático, e com um simulador de trajetória, se conseguirá uma ferramenta de cálculo de tiro extremamente completa e capaz de realizar missões de tiro com precisão e eficácia.

Da análise dos modelos de trajetória e dos modelos matemáticos pode surgir uma calculadora que efetivamente não precisa de recorrer às TTN, no entanto para tal ser feito sugiro que seja desenvolvido um trabalho de pesquisa somente focado nessa área e que nesse sentido se desenvolva uma calculadora de tiro com base nesses modelos, o que aquando da aquisição/desenvolvimento de um novo tipo de projétil, não seja necessário realizar tiros balísticos para a construção de uma nova TTN para esse mesmo, o que vinha facilitar, caso o CINAMIL acabe o projeto do FIREND, a sua entrada em efetividade de utilização.

Bibliografia

- Academia Militar. (2016) *A Artilharia de Campanha*, Publicação de Apoio UC M223, Capítulo I
- Academia Militar. (2016) *Tiro Iluminante*, Publicação de Apoio UC M223, Capítulo IV
- Academia Militar. (2016) *Munições de Artilharia de Campanha*, Publicação de Apoio UC M223, Capítulo V
- Academia Militar. (2016) *Determinação dos Elementos de Tiro*, Publicação de Apoio UC M223, Capítulo XVI
- Academia Militar. (2016) *Introdução ao Tiro de Artilharia de Campanha*, Publicação de Apoio UC M223, Capítulo VII
- Academia Militar. (2016) *Preparação Experimental*, Publicação de Apoio UC M224, Capítulo I
- Baranowski L. (2013), *Feasibility analysis of the modified point mass trajectory model for the need of ground artillery fire control systems*, Military University of Technology, Poland
- Campanha*.
- BitByBit . The Ballistics Research Laboratory and Firing Tables. Acedido a 20 de Fevereiro de 2018 em <http://ds-wordpress.haverford.edu/bitbybit/bit-by-bit-contents/chapter-four/the-ballistics-research-laboratory-and-firing-tables/>
- Carlucci, D.E., Jacobson, S.S. (2010). *Ballistics: theory and design of guns and ammunition*. CRC Press.
- Chusilp, P., Charubhun, W., Ridluan, A. (2011) *Developing Firing Table Software for Artillery Projectiles*. In The Second TSME Internation Conference on Mechanical Engineering.
- Cross N. (2000), *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*, The Open University, UK
- Dickinson, E. R. (1967) *The production of Firing Tables for cannon Artillery*, BRL Report No. 1371
- Edwin R. S. & Richard A. K. (1984), *Battery Computer System, Human Factors Field Evaluation*, Research Institute for the Behavioral and Social Sciences
- Escola das Armas (2008) *Missão, capacidades, limitações e sistema de computação do computador de tiro GUNZEN MK3*, Curso de GUNZEN MK3

Estado-Maior do Exército, MC 20-15 (1988), *Bateria de Bocas de Fogo de Artilharia de Campanha*. Lisboa

Estado-Maior do Exército, MC 20-100 (1994), *Manual de Tática de Artilharia de Campanha*.Lisboa

Estado-Maior do Exército, RC 20-110 (1992), *Tiro de Artilharia de Campanha, Volume I - Exército Português*. (2012). *PDE 3-38-13 Tiro de Artilharia de Campanha*. Lisboa: EME.

Ferreira, F. P. (2008). *TIA – Emprego e implementação do Sistema Automático de Comando e Controlo no Grupo de Artilharia de Campanha da Brigada de Intervenção*. Lisboa: Academia Militar.

Harrisberger L. (1982) *Engineersmanship... The Doing of Engineering Design*, Brooks/Cole Engineering.

FT 155-Q-4 (1968), *Firing Table 155-Q-4*, Department of the Army

FM-6-40 (1996), *Tactics, Techniques, and Procedures for Field Artillery Manual Cannon Gunnery*, , Department of the Army

Khandani S. (2005) PHD, *Engineering Design Process*, Institute for Innovation in Science and Mathematics Education

Law S. (2007), *Philosophy*, Dorling Kindersley

Es (1994), *MC 20-100 Manual de Tática de Artilharia de Campanha*,

MAS Zengrange. (s.d.). *Gunzen Mk3 Artillery Computer System*. Disponível em: <https://www.maszengrange.com/products/fire-control/gunzen-mk3-artillery-computer-system>

Nutu V., Postolea D., Somoiaş P. & Moldoveanu C. (2004), *Individual electronic calculus means for artillery shooting*, IIIrd International Symposium on Defence Technology, Hungary

Silva P. J. (2003) *Tábuas de Tiro*, Publicação de Apoio UC M221, Academia Militar

The USA Field Artillery School Gunnery Department, ST 6-40-2. (1993) *Battery Computer System*.

Waglund O. (2015), *Development of a Digital Mortar Aiming System*, UPPSALA Universitet, Sweden

Sherif Y. S. & E.M.K Liou & S. F. Yao (1984) *Modelling The Firing Tables of Field Artillery (Cannon 105mm HOWITZER)*, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, U.S.A.

STANAG 4355 (2009). *The Modified Point Mass and Five Degrees of Freedom Trajectory Models*. The NATO Standardization Agency.

Apêndices

Apêndice A – Guião do inquérito por questionário

Calculadora de tiro para o obus M114A1 155mm/23

No âmbito do mestrado em Ciências Militares ministrado pela Academia Militar, e mais concretamente no plano curricular do Tirocínio para Oficial de Artilharia (TPOA), surge o presente trabalho de investigação aplicada (TIA), cujo tema subordinado se denomina “Programa de Tiro para o obus M114A1 155mm/23”. Com este questionário pretende-se adquirir informação relativamente a militares de Artilharia que já tenham desempenhado a função de chefes de PCT e também para calculadores do mesmo.

Este questionário serve para ter uma perspectiva das necessidades necessárias quer a nível de exercício e/ou missão que são fundamentais para uma calculadora de tiro, bem como para fazer o estudo do tempo que é necessário para obter os Elementos de Tiro através do cálculo manual.

Agradecia assim a colaboração no preenchimento do mesmo!

Questões:

1. Que função desempenhou/desempenha?

A primeira questão apresenta como respostas possíveis:

- a. Chefe de PCT
- b. Calculador
- c. Outro

2. Com que material desempenhou essas funções?

- a. M114A1 155mm/23
- b. Outro, indique qual

3. Quanto tempo, em média, demora desde que o calculador obtém os Elementos Topográficos vindos dos operadores de prancheta até obter os Elementos de Tiro numa missão de tiro?

- a. Resposta aberta

4. Quais as funcionalidades/requisitos que considera mais importantes numa calculadora de tiro?

- a. Rapidez de cálculo

- b. Fácil Utilização (*User Friendly*)
- c. Dispor de todas as funcionalidades de cálculo de tiro (Tiro de área, preparação teórica, correções de posição...)
- d. Poder ser utilizada em qualquer dispositivo eletrónico (Telemóvel, Computador...)
- e. Outro, indique qual

Apêndice B – Telas da Calculadora

Tela Inicial

Calculadora de Tiro

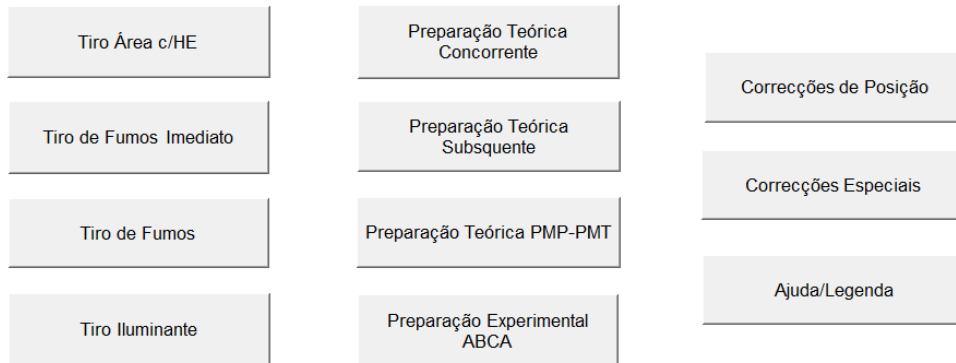


Figura 25 – Tela Inicial

Fonte: Criado pelo Autor

Tiro de Área para Granada HE

Tipo de Granada: HE (irrecção Alt. Rebenta)
 Tipo de Espoleta: T (Ac) 200
 Carga: 1GB
 Tipo de Trajectória: Mergulhante
 Distância: 2300
 Direcção: 20
 Cota da Bateria: 30
 Cota do Objectivo: 50

ΔFS: 0,17
 100R: 45
 20R: 9
 Ângulo Si: 8,9
 Si: 10
 Alça: 302
 Dur. Traj: 12
 Ex: 14

[Calcular] [Limpar] [Painel]

[Limpar grelha]

Comandos Subsequentes		Granada	Espoleta	Carga	Corr Espol	Gep	Dç Top	Corr Dç	Dç	Dist	Corr Alt Reb	Si	Alça	Elev
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														

Figura 26 – Tiro de Área para Granada HE

Fonte: Criado pelo Autor

Fumo Imediato

Fumo Imediato

Tipo de Granada: HC Irrecção Alt. Rebenta.
 Tipo de Espoleta: T Ac 50
 Carga: 1GB
 Tipo de Trajectoria: Mergulhante
 Distância: 3500
 Direcção: 320
 Cota da Bateria: 100
 Cota do Objectivo: 150

100R: 29
 50R: 15
 Ângulo Si: 14,6
 Si: 25
 Alça: 548
 Ex: 22

Panel

Calcular Limpar

Limpar grelha

Comandos Subsequentes

	Granada	Espoleta	Carga	Corr Esp	Gep	Dç Top	Corr Dç	Dç	Dist	orr Alt Reb	Si	Alça	Elev
1													
2													
3													

Figura 27 – Fumo Imediato

Fonte: Criado pelo Autor

Fumos

Fumos

Tipo de Granada: HC Irrecção Alt. Rebenta.
 Tipo de Espoleta: T Ab 50
 Carga: 1GB
 Tipo de Trajectoria: Mergulhante
 Distância: 2600
 Direcção: 320
 Cota da Bateria: 100
 Cota do Objectivo: 150
 Peso Granada WPHC: 10
 Peso Granada HE: 4
 Distância Topográfica Corrigida(Peso): 2750

100R: 40
 50R: 20
 Ângulo Si: 19,6
 Si: 23
 Alça: 351
 Ex: 16

Corr. Unitária: 24

Panel

Cálculo dos Fumos

Largura do Obi: 200
 Direcção do Vento: Cauda/Frente
 Duração da Cortina: 10
 Condições de Formação: Ideal
 Granada a usar na eficácia: HC
 Velocidade do Vento: 5

Nº de Pelotões: 2
 Tempo de Manutenção: 7
 Cadência: 0,5
 Nº tiros por BR: 5

Calcular Calcular com distância corrigida (peso)

Limpar Grelha

Comandos Subsequentes

	Granada	Espoleta	Carga	Corr Esp	Gep	Dç Top	Corr Dç	Dç	Dist	Corr Alt Reb	Si	Alça	Elev
1													
2													
3													

Figura 28 – Fumos

Fonte: Criado pelo Autor

Iluminante

Tipo de Granada	ILL	Correcção Alt. Rebenta.	
Tipo de Espoleta	T	Ab	90
Carga	1GB	Nova Alt.Reb.	
Distância	2011		850
Direcção	3242		
Cota da Bateria	141		
Cota do Objectivo	370		
Altura de rebentamento	850		
Tipo de Escalonamento(ILL)	4 Dist e Dir		
100FR	51		
500FR	255		

Calcular Limpar

Limpar grelha

Comandos Subsequentes		Granada	Espoleta	Carga	Gep	Dç Top	Corr Dç	Dç	Dist Top	Elev
1										
2										
3										

Figura 29 – Iluminante

Fonte: Criado pelo Autor

Preparação Experimental ABCA

Correcções Experimentais

2000 -390 1610 200 15,3 7,24 8,1

Calcular Painel Limpar

Tipo de Trajectoria	Mergulhante
Dir Reg p/CB	
Dir Topo	
Corr Tot Dç	D0
Alça Regulação	
Derivação("Alça Reg.)	5
Corr Dç TTG	E5
Range K	0,805
Fuze K	1,898

Correcção Afastamento

Distância Topo		Direcção de Reg.	
Afast. Longit. CB-BFD (F=-/R=+)		Correcção para o CB(E=-/D=+)	#DIV/0!
Distância Corrigida	0	Dir Reg p/CB	
Afast. Lat. CB-BFD(E=-/D=+)		Dir Topo	
Distância Corrigida	0	Corr Tot Dç	D0
Correcção	#DIV/0!	Derivação("Alça Reg.)	5
		Corr Dç TTG	E5

Figura 30 – Preparação Experimental ABCA

Fonte: Criado pelo Autor

Preparação Experimental PMP-PMT

Informação Inicial

Coordenadas O1

Coordenadas O2

Rumo O1->O2

Distância O1->O2

Coordenadas da Bateria

Rumo de Vigilância

Lote

Carga

Gesp

Dç

Elev

Tipo de Trajetoria

Granada

Painel

Limpar

Observações

NºTiro	O1		O2
	R1	<) Si	R2
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Soma	0	0	0
PMR	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

<) p

<) O2

d1

Rumo PMR->O2

Cálculo

Cálculo das coordenadas do ponto médio

DE

DN

DC

EO1

NO1

CO1

E

N

C

Dç Distância

Elementos Topográficos do PMR Entre a bateria e os elementos do PMR

Determinação dos elementos de Regulação

Dç Reg

Dç Topográfica

Corr. Total Dç

Corr. Deriv.

Corr. Dç TTG

Cota PMR

Cota BTR

ΔC

Dist Top do PMR

Sítio

Elev. Reg

Sítio

Alça Reg

calc. Do sítio

Granada	0
Lote	0
Carga	0
Distância	#####
Alça	#####
Gesp	0
Corr Tot Dç	#####
Corr Dç TTG	#####

Figura 31 – Preparação Experimental Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos

Fonte: Criado pelo Autor

Correções de Posição

Correções de Posição																			
Tipo de trajetória		Distância do centro mínima		Distância do centro		Distância do centro máxima		Panel		Limpar									
Correção para a linha de Fleb	Direção da correção	E/D	Correção lateral a introduzir	100R		E/D	Correção de posição em direção	DIA	Diferenças comparativas de VO	Factor de correção		Correção em alcance devido a VO	Afastamento em alcance em relação ao CB	Correção total em alcance	Correção de posição da alça	Distância corrigida mais Distância do centro	Gep	Correção pos Gep Dist Centro	EF
				A	P					D(+)	A(-)								
#DIV/0!				#DIV/0!		0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	
#DIV/0!				#DIV/0!		0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	
#DIV/0!				#DIV/0!		0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	
#DIV/0!				#DIV/0!		0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	
#DIV/0!				#DIV/0!		0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	

Figura 32 – Correções de Posição

Fonte: Criado pelo Autor

Correções Especiais

Correções Especiais																
Tipo de trajetória		Distância do centro mínima		Distância do centro		Distância do centro máxima		Panel		Limpar						
E/D	Correção lateral a introduzir	100R	E/D	Correção de posição em direção	DIA	Diferenças comparativas de VO	Factor de correção		Correção em alcance devido a VO	Afastamento em alcance em relação ao CB	Correção total em alcance	Correção de posição da alça	Distância corrigida mais Distância do centro	Gep	Correção pos Gep Dist Centro	EF
							D(+)	A(-)								
		#DIV/0!	0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	
		#DIV/0!	0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	
		#DIV/0!	0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	
		#DIV/0!	0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	
		#DIV/0!	0	#DIV/0!				0	0	0	0	#N/D	0	#N/D	#N/D	

Figura 33 – Correções Especiais

Fonte: Criado pelo Autor

Preparação Teórica Concorrente

Dados da Bateria		Meteograma		Dados Iniciais	
Carga	1GB	Tipo Mensagem	METB3	<-- Preencher dados Inicialmente	
Elevação de Regulação	400	Octante	1		
Distância Topográfica	3800	Centro Zona	303.996	Meteograma	<-- Preencher Meteograma Inicialmente
Latitude	20S	Data	09		
Cota da Bateria	600	Hora	2:24	Z	<-- Preencher Z Inicialmente
Cota do Posto Meteo	340	Cota do Posto Meteo	340		
Bateria	260	Pressão	98,1		
Cota do Objectivo	800	Linha	1		
Altura de Rebentamento		Rumo Vento	2300		
Cota do Rebentamento	800	Velocidade Vento	11	Correcção de Δh	Valores corrigidos
Tipo de Trajectoria	Mergulhante	Temperatura do Ar	98,5	-0,6	97,9
		Densidade do Ar	93,7	-2,6	91,1

Altura do Obj(Reb) acima da Boca de Fogo: 200
 Correção Complementar de Alcance: 129

Distância de Entrada: 3800

Calcular

Direcção e componentes do Vento		Correcção Unitária	
Rumo do Vento	2300	0	D
Rumo do Tiro	2280	1	F
Ângulo Vento Menos Tiro	0	Correcção Unitária: 0,24	
Vento Transversal	11	Valor da Correção	
Vento Longitudinal	11	Valor da Correção	
Correcção Rotação da Terra	PRD H: 11 v:		
Correcção Derivação	13,7		
Correcção Vento Transversal	0		

Correcção Total Direcção: #VALOR!
 Correcção Teórica Direcção: #VALOR!
Correcção Residual Direcção: #VALOR!

Correcção Teórica em Alcance							
Vento Longitudinal	3	Val Padrão	0	Var. Val. Padr.	3,2	Correcção Unitária	1,3
Temperatura do Ar	98,4	Val Padrão	100	Var. Val. Padr.	1,6	Correcção Unitária	0,0
Densidade do Ar	93,2	Val Padrão	100	Var. Val. Padr.	6,8	Correcção Unitária	-2,4
Peso do Projectil	4	Val Padrão	4	Var. Val. Padr.	0,0	Correcção Unitária	28,0
Rotação da Terra	2,6						

Correcção Teórica em Alcance: -10

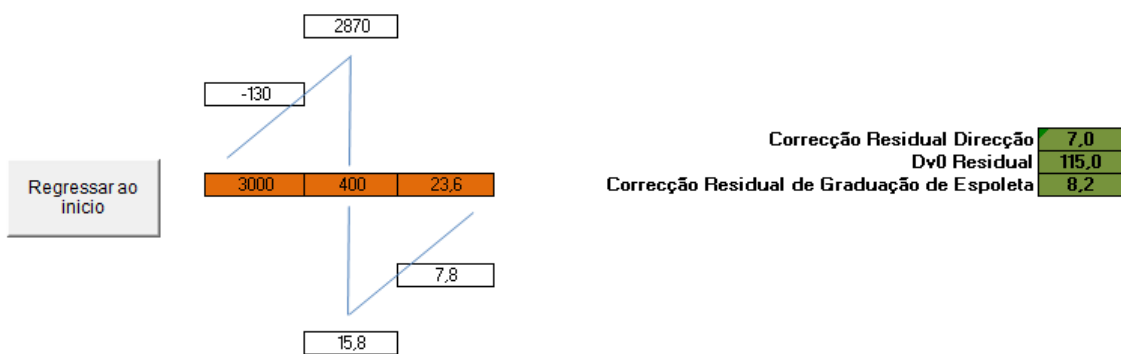
Dv0 Residual		Aumento de V0 (-)	
Temperatura da carga	42	-25,1	
Dv0	5,6	30,5	
Correcção de V0 devido à temperatura da Carga	-0,7		
Erro de V0	6,3		
Correcção unitária V0	-25,1		
Correcção total em alcance	-130		
Correcção teórica em alcance	-10		
Correcção em Alcance devido à V0	-140		

Erro V0: 6,3
 Dv0 Absoluto: -108,7
Dv0 Residual: 115,0

Correcção teórica de graduação de espoleta		
Graduação de Esopoleta	16	
dV0	Var. Val. Padr.	5,6
Vento Longitudinal	Var. Val. Padr.	3,2
Temperatura do Ar	Var. Val. Padr.	1,6
Densidade do Ar	Var. Val. Padr.	6,8
Peso do Projétil	Var. Val. Padr.	0,0

Correcção Unitária	-0,075
Correcção Unitária	-0,001
Correcção Unitária	0,000
Correcção Unitária	0,003
Correcção Unitária	-0,079

Correcção Total de Graduação de Esopoleta	7,8
Correcção Teórica de Graduação de Esopoleta	-0,4
Correcção Residual de Graduação de Esopoleta	8,2



Valores Iniciais a preencher	
Elevação de Regulação	414
Rumo de Tiro	3637
V0 bFD(m/s)	316
Peso Projétil(=)	4
Temperatura da carga(F)	42
Cota do objectivo	455
Cota da Bateria	390
Latitude	30N

Regressar ao inicio

Figura 34 – Preparação Teórica Concorrente
 Fonte: Criado pelo Autor

Preparação Teórica Subsequente

Dados da Bateria		Meteograma		Dados Iniciais	
Carga(PTC)	1GB	Tipo Mensagem	METB3		
Distância Topográfica(PTC)	2987	Octante	1	← Preencher 2 Inicialmente	
Latitude(PTC)	205	Centro Zona	303.996		
Cota da Bateria(PTC)	550	Data	9	← Preencher Meteograma Inicialmente	
Cota do Posto Meteo	340	Hora	2:24		
Bateria	210	Cota do Posto Meteo	340		
Tipo de Trajectoria	Mergulhante	Pressão	98,1		
Cota do Objectivo	367	Linha	1		
Altura de Rebentamento	367	Rumo Vento	2300		
Cota do Rebentamento	367	Velocidade Vento	11	Correcção de Δh	Valores corrigidos
Altura do Obj(Reb) acima da Boca de Fogo	-200	Temperatura do Ar	98,5	-0,5	98
		Densidade do Ar	93,7	-2,1	91,6

Panel

Distância de Entrada(PTC)

Calcular Limpar

Direcção e componentes do Vento		Correcção Unitária	
Rumo do Vento	2300		
Rumo do Tiro(PTC)	0		
Ângulo Vento Menos Tiro	2300		
Vento Transversal	11	Valor da Correcção	0,77
Vento Longitudinal	11	Valor da Correcção	0,63
Correcção Rotação da Terra(PTC)			
Correcção Derivação(PTC)			
Correcção Vento Transversal	1,6		

Correcção Unitária

Correcção Teórica Direcção	1,6
Correcção Residual Direcção(PTC)	
Correcção Total Direcção	1,6

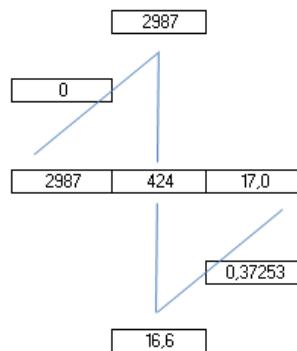
Correcção Teórica em Alcance							
Vento Longitudinal	6,9	Val Padrão	0	Var. Val. Padr.	6,9	ecção Unitária(PTC)	
Temperatura do Ar	98,0	Val Padrão	100	Var. Val. Padr.	2,0	ecção Unitária(PTC)	
Densidade do Ar	91,6	Val Padrão	100	Var. Val. Padr.	8,4	ecção Unitária(PTC)	
Peso do Projectil(PTC)	0,0	Val Padrão	4	Var. Val. Padr.	4,0	ecção Unitária(PTC)	
Rotação da Terra							

Correcção Teórica em Alcance

Dv0 Residual		Aumento de V0(-)(PTC)	
Temperatura da carga(PTC)	0		
Dv0(PTC)			
Correcção de V0 devido à temperatura da Carga(PTC)			
Erro de V0(PTC)			
Correcção unitária V0(PTC)			
Correcção teórica em alcance	0	Erro V0(PTC)	0,0
Correcção em Alcance devido à V0	0	Dv0 Absoluto(PTC)	207,3
Correcção total em alcance	0	Dv0 Residual(PTC)	-207,3

Correcção teórica de graduação de espoleta			
Graduação de Esopoleta	17		
dv0		Var. Val. Padr.(PTC)	0,0
Vento Longitudinal		Var. Val. Padr.	6,9
Temperatura do Ar		Var. Val. Padr.(PTC)	2,0
Densidade do Ar		Var. Val. Padr.(PTC)	8,4
Peso do Projéctil		Var. Val. Padr.(PTC)	4,0
		Correcção Unitária	-0,079
		Correcção Unitária	0,001
		Correcção Unitária	0,000
		Correcção Unitária	0,004
		Correcção Unitária	0,083

Correcção Teórica de Graduação de Esopoleta	0,4
Correcção Residual de Graduação de Esopoleta	
Correcção Total de Graduação de Esopoleta	0,4



Valores Iniciais a preencher	
Rumo de Tiro(PTC)	
V0 bFD(m/s)(PTC)	
Peso Projéctil(=)(PTC)	
Temperatura da carga(F)(PTC)	
Cota da Bateria(PTC)	550
Latitude(PTC)	20S
Cota do objectivo	367

[Regressar ao início](#)

Figura 35 – Preparação Teórica Subsequente

Fonte: Criado pelo Autor

Meteograma	
METB31	303.996
090242	034981
002109	086936
012311	985937
022512	087012
032916	990947
043315	992947

Figura 36 – Meteograma

Fonte: Criado pelo Autor

Apêndice C – Código VBA

C.1 – Código de Tiro de Área para Granada HE

```
Sub TA_calc()  
    i = 30  
    While (Len(Cells(i, 3)) > 0) And (i < 46)  
        i = i + 1  
    Wend  
  
    'correcao  
    If (Cells(8, 4) = "Ab") Then  
        Cells(i, 1).Value = Cells(8, 5)  
    Else  
        Cells(i, 1).Value = -Cells(8, 5)  
    End If  
  
    Cells(i, 3).Value = Cells(7, 3).Value 'granada  
    Cells(i, 4).Value = Cells(8, 3).Value ' espoleta  
    Cells(i, 5).Value = Cells(9, 3).Value 'carga  
    If (Cells(8, 3).Value = "T" And Cells(8, 5).Value > 0) Then  
        Cells(i, 6).Value = Round(Cells(8, 8).Value * Cells(8, 5).Value * Cells(8, 6).Value / 10, 1) 'CorrEspol  
    End If  
    Call TA_calc_byTE(i) 'col 7 e 12  
    Cells(i, 8).Value = Cells(12, 3).Value 'direção  
    If Cells(8, 3).Value = "P" Then  
        Cells(i, 7).Value = Cells(17, 3).Value  
    Else  
  
    End If  
    Cells(i, 9).Value = "=round(vlookup(E11,'Tabela F1'!A5:K496,10,0),0)"  
    Cells(i, 10).Value = Cells(i, 8).Value - Cells(i, 9).Value  
    Cells(i, 11).Value = Cells(11, 3).Value 'distancia  
    Cells(i, 13).Value = Cells(12, 8).Value  
    Cells(i, 14).Value = Cells(13, 8).Value  
    Cells(i, 15).Value = Cells(i, 12).Value + Cells(i, 13).Value + Cells(i, 14).Value  
  
    'limpar formulas, copy past values  
    Range("C30:O40").Copy  
    Range("C30:O40").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False  
  
    Cells(i + nlinhas, 3).Select  
    Application.CutCopyMode = False  
End Sub
```

```
Sub TA_calc_byTE(i)  
    TES = Cells(8, 3).Value  
    TE2 = Cells(3, 2).Value  
    TE3 = Cells(4, 2).Value  
    TE4 = Cells(5, 2).Value  
    VertMerg = Left(Cells(10, 3).Value, 1)  
  
    If (TES = TE2) Then  
        If (VertMerg = "M") Then Cells(i, 7).Value = "=vlookup(E11,'Tabela F1'!A5:K496,6,0)+F" & i 'GEP  
        Cells(i, 12).Value = Cells(10, 8).Value 'CorrAltReb  
    End If  
  
    If (TES = TE3) Then 'VT7  
        Cells(i, 7).Value = "=rounddown(vlookup(E11,'Tabela F1'!A5:K496,9,0),0)" 'GEP  
    End If  
  
    If (TES = TE4) Then 'VT20  
        If (VertMerg = "M") Then  
            Cells(i, 7).Value = "=rounddown(vlookup(E11,'Tabela F1'!A5:K496,6,0),0)" 'GEP  
        Else  
            Cells(i, 7).Value = "=rounddown(vlookup(E11,'Tabela F1'!A5:K496,9,0),0)" 'GEP  
        End If  
        If (VertMerg = "M") Then Cells(i, 12).Value = Cells(10, 8).Value 'CorrAltReb  
    End If  
End Sub
```

C.2 – Código de Tiro de Fumos

```
Sub Fumos_calc_cima()
    i = 28
    While (Len(Cells(i, 3)) > 0) And (i < 48)
        i = i + 1
    Wend

    'correcao
    If (Cells(8, 4) = "Ab") Then
        Cells(i, 1).Value = Cells(8, 5)
    Else
        Cells(i, 1).Value = -Cells(8, 5)
    End If

    Cells(i, 3).Value = Cells(7, 3).Value
    Cells(i, 4).Value = Cells(8, 3).Value
    Cells(i, 5).Value = Cells(9, 3).Value
    Call Fumos_calc_cima_aux(i)
    Cells(i, 8).Value = Cells(12, 3).Value
    Cells(i, 9).Value = "=round(vlookup(D11,'Tabela F1'!A5:K496,10,0),0)" 'CorrDc
    Cells(i, 10).Value = Cells(i, 8).Value - Cells(i, 9).Value
    Cells(i, 11).Value = Cells(11, 3).Value

    Cells(i, 13).Value = Cells(10, 8).Value
    Cells(i, 14).Value = Cells(11, 8).Value
    Cells(i, 15).Value = Cells(i, 14).Value + Cells(i, 13).Value + Cells(i, 12).Value

    'limpar formulas, copy past values
    Range("C28:O47").Copy
    Range("C28:O47").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

    Cells(i + nlinhas, 3).Select
    Application.CutCopyMode = False
End Sub
```

```

Sub Fumos_calc_cima_aux(i)
    TG = Cells(7, 3).Value
    TE = Cells(8, 3).Value
    MergVert = Left(Cells(10, 3).Value, 1)
    AR = Cells(8, 5).Value

    If (TG = "HC" And TE = "T") Then
        Cells(i, 6).Value = -2 'CorrEsp
        If (MergVert = "M") Then
            Cells(i, 7).Value = "=vlookup(D11,'Tabela F1'!A5:K496,6,0)+F" & i 'GEP
        Else
            Cells(i, 7).Value = "=rounddown(vlookup(D11,'Tabela F1'!A5:K496,9,0),0)"
        End If
    End If
    If (TG = "WP" And TE = "T") Then
        If (MergVert = "M") Then
            Cells(i, 7).Value = "=vlookup(D11,'Tabela F1'!A5:K496,6,0)" 'GEP
        Else
            Cells(i, 7).Value = "=rounddown(vlookup(D11,'Tabela F1'!A5:K496,9,0),0)"
        End If
    End If

    If (TE = "T" And AR > 0) Then Cells(i, 12).Value = Cells(8, 8).Value * Cells(8, 6).Value

End Sub
Sub Fumos_calc_baixo()

    i = 89
    While (Len(Cells(i, 2)) > 0) And (i < 109)
        i = i + 1
    Wend

    Cells(i, 2).Value = Cells(63, 3).Value
    Cells(i, 3).Value = Cells(64, 3).Value
    Cells(i, 4).Value = Cells(65, 3).Value
    Call Fumos_calc_baixo_aux(i)
    Cells(i, 7).Value = Cells(68, 3).Value
    Cells(i, 8).Value = "=round(vlookup(D67,'Tabela F1'!A5:K496,10,0))" 'CorrDc
    Cells(i, 9).Value = Cells(i, 7).Value - Cells(i, 8).Value
    Cells(i, 10).Value = Cells(67, 3).Value

    Cells(i, 12).Value = Cells(67, 8).Value
    Cells(i, 13).Value = Cells(68, 8).Value
    Cells(i, 14).Value = Cells(i, 13).Value + Cells(i, 12).Value + Cells(i, 11).Value

    'limpar formulas, copy past values
    Range("B89:N108").Copy
    Range("B89:N108").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

    Cells(i + nlinhas, 3).Select

    Application.CutCopyMode = False
End Sub

```

```

Sub Fumos_calc_baixo_aux(i)
    TG = Cells(63, 3).Value
    TE = Cells(64, 3).Value
    MergVert = Left(Cells(66, 3).Value, 1)
    AR = Cells(64, 5).Value

    If (TG = "HC" And TE = "T") Then
        Cells(i, 5).Value = -2 'CorrEsp
        If (MergVert = "M") Then
            Cells(i, 6).Value = "=vlookup(D67,'Tabela F1'!A5:K496,6,0)+E" & i 'GEP
        Else
            Cells(i, 6).Value = "=rounddown(vlookup(D67,'Tabela F1'!A5:K496,9,0),0)"
        End If
    End If
    If (TG = "WP" And TE = "T") Then
        If (MergVert = "M") Then
            Cells(i, 6).Value = "=vlookup(D67,'Tabela F1'!A5:K496,6,0)" 'GEP
        Else
            Cells(i, 6).Value = "=rounddown(vlookup(D67,'Tabela F1'!A5:K496,9,0),0)"
        End If
    End If

    If (TE = "T" And AR > 0) Then Cells(i, 11).Value = Cells(65, 8).Value * Cells(64, 6).Value

End Sub

```

```

Sub Fumos_calc_baixo_peso()

    i = 89
    While (Len(Cells(i, 2)) > 0) And (i < 109)
        i = i + 1
    Wend

    Cells(i, 2).Value = Cells(63, 3).Value
    Cells(i, 3).Value = Cells(64, 3).Value
    Cells(i, 4).Value = Cells(65, 3).Value
    Call Fumos_calc_baixo_aux_peso(i)
    Cells(i, 7).Value = Cells(68, 3).Value
    Cells(i, 8).Value = "=round(vlookup(D73,'Tabela F1'!A5:K496,10,0),0)" 'CorrDc
    Cells(i, 9).Value = Cells(i, 7).Value - Cells(i, 8).Value
    Cells(i, 10).Value = Cells(67, 3).Value

    Cells(i, 12).Value = Cells(67, 11).Value
    Cells(i, 13).Value = Cells(68, 11).Value
    Cells(i, 14).Value = Cells(i, 13).Value + Cells(i, 12).Value + Cells(i, 11).Value

'limpar formulas, copy past values
Range("B89:N108").Copy
Range("B89:N108").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

Cells(i + nlinhas, 3).Select
Application.CutCopyMode = False

End Sub

Sub Fumos_calc_baixo_aux_peso(i)
    TG = Cells(63, 3).Value
    TE = Cells(64, 3).Value
    MergVert = Left(Cells(66, 3).Value, 1)
    AR = Cells(64, 5).Value

    If (TG = "HC" And TE = "T") Then
        Cells(i, 5).Value = -2 'CorrEsp
        If (MergVert = "M") Then
            Cells(i, 6).Value = "=vlookup(D73,'Tabela F1'!A5:K496,6,0)+E" & i 'GEP
        Else
            Cells(i, 6).Value = "=rounddown(vlookup(D73,'Tabela F1'!A5:K496,9,0),0)"
        End If
    End If

    If (TG = "WP" And TE = "T") Then
        If (MergVert = "M") Then
            Cells(i, 6).Value = "=vlookup(D73,'Tabela F1'!A5:K496,6,0)" 'GEP
        Else
            Cells(i, 6).Value = "=rounddown(vlookup(D73,'Tabela F1'!A5:K496,9,0),0)"
        End If
    End If

    If (TE = "T" And AR > 0) Then Cells(i, 11).Value = Cells(65, 11).Value * Cells(64, 6).Value

End Sub

```

C.3 – Código de Tiro Iluminante

```
Sub ILL_calc()

    op = ILL_getTE()
    nlinhas = op - 1
    If (op = 3) Then nlinhas = 1

    i = 31
    While (Len(Cells(i, 3)) > 0) And (i < 46)
        i = i + 1
    Wend

    'correcao
    If (Cells(8, 5) = "Ac") Then
        Cells(i, 1).Value = Cells(8, 6)
    Else
        Cells(i, 1).Value = -Cells(8, 6)
    End If

    For lin = 0 To nlinhas
        Cells(i + lin, 3).Value = Cells(7, 4)
        Cells(i + lin, 4).Value = Cells(8, 4)
        Cells(i + lin, 5).Value = Cells(9, 4)
        Cells(i + lin, 7).Value = Cells(11, 4) 'direc
        Cells(i + lin, 10).Value = Cells(10, 4) 'dist
    Next lin

    If (op = 2 Or op = 4) Then
        a = 0
        If (op = 4) Then a = 1
        Cells(i + a, 10).Value = "=round((D10+500)/10,0)*10" 'dist
        Cells(i + a + 1, 10).Value = "=round((D10-500)/10,0)*10" 'dist
    End If

    Call ILL_Gep_Elev(i, op)
    Call ILL_CorrDC(i, op)
    Call ILL_DC(i, nlinhas)

    'Limpa formulas,| copy past values
    Range("F31:K45").Copy
    Range("F31:K45").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

    Cells(i + nlinhas, 11).Select
    Application.CutCopyMode = False

Sub ILL_Gep_Elev(i, op)
    altReb = Cells(10, 6)

    If (altReb = 600) Then
        'Gep
        OP1 = "=vlookup(E10,'Tab ILL'!A5:G25,3,0)"
        OP2L1 = "=vlookup(E10+500,'Tab ILL'!A5:G25,3,0)"
        OP2L2 = "=vlookup(E10-500,'Tab ILL'!A5:G25,3,0)"
        OP3L1e2 = OP1
        'Elevacao
        ELV_OP1 = "=vlookup(E10,'Tab ILL'!A5:G25,2,0)"
        ELV_OP2L1 = "=vlookup(E10+500,'Tab ILL'!A5:G25,2,0)"
        ELV_OP2L2 = "=vlookup(E10-500,'Tab ILL'!A5:G25,2,0)"
        ELV_OP3L1e2 = ELV_OP1
    Else
        'Gep
        OP1 = "=vlookup(E10,'Tab ILL'!A5:G25,3,0)+vlookup(E10,'Tab ILL'!A5:G25,5,0)*(F10-600)/50"
        OP2L1 = "=vlookup(E10+500,'Tab ILL'!A5:G25,3,0)+vlookup(E10+500,'Tab ILL'!A5:G25,5,0)*(F10-600)/50"
        OP2L2 = "=vlookup(E10-500,'Tab ILL'!A5:G25,3,0)+vlookup(E10-500,'Tab ILL'!A5:G25,5,0)*(F10-600)/50"
        OP3L1e2 = OP1
        'Elevacao
        ELV_OP1 = "=vlookup(E10,'Tab ILL'!A5:G25,2,0)+vlookup(E10,'Tab ILL'!A5:G25,4,0)*(F10-600)/50"
        ELV_OP2L1 = "=vlookup(E10+500,'Tab ILL'!A5:G25,2,0)+vlookup(E10+500,'Tab ILL'!A5:G25,4,0)*(F10-600)/50"
        ELV_OP2L2 = "=vlookup(E10-500,'Tab ILL'!A5:G25,2,0)+vlookup(E10-500,'Tab ILL'!A5:G25,4,0)*(F10-600)/50"
        ELV_OP3L1e2 = ELV_OP1
    End If

    'op 1
    If (op = 1) Then
        Cells(i, 6).Formula = OP1
        Cells(i, 11).Formula = ELV_OP1
    End If

    'op 2
    If (op = 2) Then
        'Gep
        Cells(i, 6).Formula = OP2L1
        Cells(i + 1, 6).Formula = OP2L2
        'Elev
        Cells(i, 11).Formula = ELV_OP2L1
        Cells(i + 1, 11).Formula = ELV_OP2L2
    End If
```

```

'op 3, L1=L2
If (op = 3) Then
    Cells(i, 6).Value = OP3L1e2
    Cells(i + 1, 6).Value = OP3L1e2
    'Elev
    Cells(i, 11).Formula = ELV_OP3L1e2
    Cells(i + 1, 11).Formula = ELV_OP3L1e2
End If

'op 4
If (op = 4) Then
    'Gep
    Cells(i, 6).Value = OP3L1e2
    Cells(i + 1, 6).Value = OP2L1
    Cells(i + 2, 6).Value = OP2L2
    Cells(i + 3, 6).Value = OP3L1e2
    'Elev
    Cells(i, 11).Formula = ELV_OP3L1e2
    Cells(i + 1, 11).Formula = ELV_OP2L1
    Cells(i + 2, 11).Formula = ELV_OP2L2
    Cells(i + 3, 11).Formula = ELV_OP3L1e2
End If

End Sub

Sub ILL_CorrDC(i, op)

    If (op = 3) Then
        Cells(i, 8).Value = "D" & Cells(17, 4).Value
        Cells(i + 1, 8).Value = "E" & Cells(17, 4).Value
    End If

    If (op = 4) Then
        Cells(i, 8).Value = "D" & Cells(17, 4).Value
        Cells(i + 3, 8).Value = "E" & Cells(17, 4).Value
    End If

End Sub

End Sub

```

```

Sub ILL_DC(i, nlinhas)
    For lin = 0 To nlinhas
        corrDC = Cells(i + lin, 8).Value
        If Len(corrDC) = 0 Then
            Cells(i + lin, 9).Value = Cells(i + lin, 7).Value
        Else
            a = 1
            If Left(corrDC, 1) = "E" Then a = -1
            v = Right(corrDC, Len(corrDC) - 1)
            Cells(i + lin, 9).Value = Cells(i + lin, 7).Value + v * a
        End If
    Next lin
End Sub

```

```

Function ILL_getTE()
    i = 5
    r = 0
    While (i < 9)
        If (Cells(i, 15) = Cells(15, 4)) Then
            r = i - 4
            i = 10
        End If
        i = i + 1
    Wend

    ILL_getTE = r
End Function

```

C.4 – Código de Ponto Médio de Percussão-Ponto Médio de Tempos

```
Sub PMP_PMT_Calc_aux(l, c, ld, cd, c2)
SO = "Tabela F1"
T = "PMP-PMT"
runw = True
i = 5
While (runw)
If (Worksheets(SO).Cells(i, 4).Value >= Worksheets(T).Cells(l, c).Value) Then
Worksheets(T).Cells(ld, cd).Value = Worksheets(SO).Cells(i, c2).Value
runw = False
End If
i = i + 1
If (Worksheets(SO).Cells(i, 4).Value = "") Then runw = False
Wend
End Sub
```

```
Sub PMP_PMT_Calc()
Call PMP_PMT_Calc_aux(68, 5, 61, 5, 3)
Call PMP_PMT_Calc_aux(68, 5, 75, 5, 6)
End Sub
```

C.5 – Código de Preparação Teórica Subsequente

```
Sub TabB_PTSLinha()  
  
runw = True  
Worksheets("Preparação Teórica Subs").Cells(14, 9).Value = "ERRO"  
i = 5  
v = 0  
While (runw)  
    If (Worksheets("Preparação Teórica Subs").Cells(13, 7).Value = Worksheets("Tabela B (2)").Cells(i, 1).Value) Then  
        v = i  
        runw = False  
    End If  
    i = i + 1  
    If (Worksheets("Tabela B (2)").Cells(i, 1).Value = "") Then runw = False  
Wend  
  
runw = True  
h = 0  
i = 4  
While (runw)  
    If (Worksheets("Tabela B (2)").Cells(4, i).Value = Worksheets("Preparação Teórica Subs").Cells(17, 5).Value) Then  
        h = i  
        runw = False  
    End If  
    i = i + 1  
    If (Worksheets("Tabela B (2)").Cells(4, i).Value = "") Then runw = False  
Wend  
  
If (h * v > 0) Then  
    Worksheets("Preparação Teórica Subs").Cells(14, 9).Value = Worksheets("Tabela B (2)").Cells(v, h).Value  
Else  
    Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(14, 9).Value = "ERRO h:" & h & " v:" & v  
End If  
  
End Sub
```

C.6 – Código de Preparação Teórica Concorrente

```
Sub TabAPTC_Linha()  
Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(14, 9).Value = "ERRO"  
Elv_Reg = Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(8, 5).Value  
For i = 5 To 9  
    If (Worksheets("Tabela A").Cells(i, 1).Value <= Elv_Reg) Then  
        Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(14, 9).Value = Worksheets("Tabela A").Cells(i, 2).Value  
    End If  
Next i  
End Sub
```

```
Sub TabB_CCA()  
runw = True  
Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(22, 5).Value = "ERRO"  
i = 5  
v = 0  
While (runw)  
    If (Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(17, 7).Value = Worksheets("Tabela B").Cells(i, 1).Value) Then  
        v = i  
        runw = False  
    End If  
    i = i + 1  
    If (Worksheets("Tabela B").Cells(i, 1).Value = "") Then runw = False  
Wend  
  
runw = True  
h = 0  
i = 4  
While (runw)  
    If (Worksheets("Tabela B").Cells(4, i).Value = Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(21, 5).Value) Then  
        h = i  
        runw = False  
    End If  
    i = i + 1  
    If (Worksheets("Tabela B").Cells(4, i).Value = "") Then runw = False  
Wend  
  
If (h * v > 0) Then  
    Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(22, 5).Value = Worksheets("Tabela B").Cells(v, h).Value  
Else  
    Worksheets("Preparação Teórica Conc").Cells(22, 5).Value = "ERRO h:" & h & " v:" & v  
End If  
End Sub
```

```
Sub TabI_RotacaoT()  
SO = "Preparação Teórica Conc"  
T = "Tabela I"  
runw = True  
Worksheets(SO).Cells(38, 5).Value = "ERRO"  
i = 5  
v = 0  
While (runw)  
    If (Worksheets(SO).Cells(38, 6).Value = Worksheets(T).Cells(i, 1).Value) Then  
        v = i  
        runw = False  
    End If  
    i = i + 1  
    If (Worksheets(T).Cells(i, 1).Value = "") Then runw = False  
Wend  
  
runw = True  
h = 0  
i = 5  
While (runw)  
    If (Worksheets(T).Cells(4, i).Value = Worksheets(SO).Cells(34, 7).Value) Then  
        h = i  
        runw = False  
    End If  
    i = i + 1  
    If (Worksheets(T).Cells(4, i).Value = "") Then runw = False  
Wend  
  
If (h * v > 0) Then  
    Worksheets(SO).Cells(38, 5).Value = Worksheets(T).Cells(v, h).Value  
Else  
    Worksheets(SO).Cells(38, 5).Value = "ERRO H:" & h & " v:" & v  
End If  
End Sub
```

```

Sub TabH_RotacaoT()
SO = "Preparação Teórica Conc"
T = "Tabela H"

runw = True
Worksheets(SO).Cells(59, 5).Value = "ERRO"
i = 5
v = 0
While (runw)
  If (Worksheets(SO).Cells(60, 5).Value = Worksheets(T).Cells(i, 1).Value) Then
    v = i
    runw = False
  End If
  i = i + 1
  If (Worksheets(T).Cells(i, 1).Value = "") Then runw = False
Wend

runw = True
h = 0
i = 4
While (runw)
  If (Worksheets(T).Cells(4, i).Value = Worksheets(SO).Cells(34, 6).Value) Then
    h = i
    runw = False
  End If
  i = i + 1
  If (Worksheets(T).Cells(4, i).Value = "") Then runw = False
Wend

runw = True
i = 19
v2 = 0
While (runw)
  If (Worksheets(SO).Cells(60, 6).Value = Worksheets(T).Cells(i, 3).Value) Then
    v2 = i
    runw = False
  End If
  i = i + 1
  If (Worksheets(T).Cells(i, 3).Value = "") Then runw = False
Wend

If (h * v * v2 > 0) Then
  Worksheets(SO).Cells(59, 5).Value = Worksheets(T).Cells(v, h).Value * Worksheets(T).Cells(v2, 4).Value
Else
  Worksheets(SO).Cells(59, 5).Value = "ERRO h:" & h & " v:" & v & " v2:" & v2
End If

End Sub

```

```

SUB PTC_Calc_aux(l, c, ld, cd, c2)
SO = "Tabela F1"
T = "Preparação Teórica Conc"
runw = True
i = 5
While (runw)
  If (Worksheets(SO).Cells(i, 4).Value >= Worksheets(T).Cells(l, c).Value) Then
    Worksheets(T).Cells(ld, cd).Value = Worksheets(SO).Cells(i, c2).Value
    runw = False
  End If
  i = i + 1
  If (Worksheets(SO).Cells(i, 4).Value = "") Then runw = False
Wend
End Sub

```

Anexos

Anexo A – Tabela F da Tábua de Tiro Numérica

CHARGE 1G

TABLE F

BASIC DATA

FT 155-Q-4

PROJ, HE, M107
FUZE, PD, M557

1 R A N G E	2 E L E V	3 D ELEV PER 100 M DR	4 FS FOR GRAZE BURST FUZE M564	5 DR PER 1 MIL D ELEV	6 F O R K	7 TIME OF FLIGHT	8 AZIMUTH CORRECTIONS		9
							DRIFT (CORR TO L)	CW OF 1 KNOT	
M	MIL	MIL	FS	M	MIL	SEC	MIL	MIL	
0	0.0	11.7		9	1	0.0	0.0	0.00	
100	11.7	11.7		9	1	0.5	0.3	0.02	
200	23.4	11.8		8	1	1.0	0.5	0.03	
300	35.2	11.9		8	1	1.5	0.8	0.03	
400	47.1	11.9	1.9	8	1	2.0	1.1	0.04	
500	59.1	12.0	2.4	8	2	2.5	1.3	0.04	
600	71.1	12.1	2.9	8	2	3.0	1.6	0.05	
700	83.3	12.2	3.4	8	2	3.5	1.9	0.05	
800	95.6	12.3	3.9	8	2	4.0	2.2	0.06	
900	108.0	12.5	4.4	8	3	4.5	2.4	0.06	
1000	120.5	12.6	4.9	8	3	5.0	2.7	0.07	
1100	133.2	12.7	5.4	8	3	5.5	3.0	0.07	
1200	146.0	12.9	5.9	8	4	6.0	3.3	0.08	
1300	159.0	13.1	6.4	8	4	6.6	3.6	0.08	
1400	172.2	13.3	7.0	8	4	7.1	3.9	0.09	
1500	185.5	13.5	7.5	7	5	7.6	4.2	0.09	
1600	199.1	13.7	8.0	7	5	8.2	4.5	0.10	
1700	212.9	13.9	8.6	7	6	8.7	4.9	0.11	
1800	226.9	14.2	9.1	7	6	9.3	5.2	0.11	
1900	241.2	14.4	9.7	7	6	9.9	5.5	0.12	
2000	255.8	14.7	10.3	7	7	10.4	5.9	0.12	
2100	270.7	15.1	10.9	7	7	11.0	6.3	0.13	
2200	286.0	15.4	11.4	6	8	11.6	6.6	0.14	
2300	301.6	15.8	12.0	6	9	12.2	7.0	0.14	
2400	317.6	16.3	12.7	6	9	12.8	7.4	0.15	
2500	334.2	16.8	13.3	6	10	13.5	7.8	0.15	
2600	351.2	17.3	13.9	6	11	14.1	8.2	0.16	
2700	368.9	18.0	14.6	6	12	14.8	8.7	0.17	
2800	387.2	18.7	15.3	5	13	15.5	9.2	0.17	
2900	406.2	19.5	16.0	5	14	16.2	9.7	0.18	
3000	426.2	20.5	16.7	5	15	16.9	10.2	0.19	
3100	447.3	21.7	17.5	5	17	17.7	10.8	0.20	
3200	469.6	23.1	18.3	4	18	18.5	11.4	0.21	
3300	493.4	24.9	19.1	4	20	19.3	12.1	0.22	
3400	519.3	27.2	20.0	4	23	20.3	12.8	0.23	
3500	547.8	30.3	21.0	3	27	21.2	13.7	0.24	

Figura 37 – Tabela F da Tábua de Tiro Numérica

Fonte: Criado pelo Autor